



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

MECHANIKOS FAKULTETAS
MEDŽIAGŲ IR SUVIRINIMO INŽINERIJA

Marijus Kralikas

**ELEKTRODŲ SU VOLFRAMO KARBIDAIŠ, SKIRTŲ APVIRINTI,
SAVYBIŲ TYRIMAS
RESEARCH OF THE PROPERTIES OF TUNGSTEN CARBIDE ELECTRODES
FOR SURFACING**

Baigiamasis magistro darbas

Gamybos inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H70005

Medžiagų ir suvirinimo inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2014



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

MECHANIKOS FAKULTETAS

MEDŽIAGŲ IR SUVIRINIMO KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

(Vardas, pavardė)

(Data)

Marijus Kralikas

**ELEKTRODŲ SU VOLFRAMO KARBIDAIŠ, SKIRTŲ APVIRINTI,
SAVYBIŲ TYRIMAS
RESEARCH OF THE PROPERTIES OF TUNGSTEN CARBIDE ELECTRODES
FOR SURFACING**

Baigiamasis magistro darbas

Gamybos inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H70005
Medžiagų ir suvirinimo inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

dr. doc Vitalijus Rudzinskas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas

dr. Valentinas Varnauskas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Lietuvių kalbos konsultantas

dr. Aušra Žemienė

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2014

ISBN _____ ISSN _____

Egz. sk.

Data-.....-.....

Kalba: lietuvių

Atskirai pridedami darbo priedai

3

Vilnius Gediminas Technical University

Faculty of Mechanics

Department of Materials Science and Welding

ISBN

ISSN

Egz. sk.

Data-....-....

Master Degree Studies **Materials and Welding Engineering** study programme Master

Graduation Thesis 4

Title **Research of the Properties of Tungsten Carbide Electrodes for Surfacing**

Author **Marijus Kralikas**

Academic supervisor **Assoc prof. dr. Vitalijus Rudzinskas**

Thesis

Language: Lithuanian

Annotation

In the final masters degree thesis the characteristics of Ltd. "Anykščių Varis" produced coated electrodes for Surfacing properties. In these new electrodes are used standard UONI-13/55 base filler with tungsten particles. It was made electrodes with different concentrations of tungsten. Welding electrodes were made with low carbon and stainless steel wire. Highlights of this work is to investigate the concentration dependence of tungsten welding process, the weld metal properties and the influence of tungsten metal hardness.

The structure of thesis consists: introduction, literature review, the weld metal properties, test results, conclusions, references.

Thesis consist of: 40 p. text, 24 pictures, 16 tables, 13 bibliographic sources. Appendixes included.

Keywords: welding, tungste, carbide, electrodes

TURINYS

LENTELIŲ SĄRAŠAS.....	6
PAVEIKSLĖLIŲ SĄRAŠAS	7
IVADAS	8
1. VOLFRAMO KARBIDO TEORINĖ LITERATŪROS APŽVALGA.....	10
1.1. Karbidų įtaka aplydyto sluoksnio struktūrai ir savybėms	11
1.2. Elektrodo gamybos žaliavos.....	13
1.3. Glaistytųjų elektrodo glaisto tipai ir savybės	14
1.3.1. Elektrodo glaistai plienams suvirinti	16
1.3.1. Šlakų savybės.....	18
1.4. Išlydyto elektrodo metalo pernešimas į suvirinimo vonelę.....	20
1.5. Suvirinimo technologinių savybių nustatymas	21
1.6. Plieno cheminės sudėties nustatymas spektrine analize	22
1.7. Apvirintų sujungimų mikrokietumo nustatymas.....	22
1.8. Abrazyvinis dilimas	23
2. PRILYDYTO METALO SAVYBIŲ TYRIMAS.....	25
3. TYRIMO REZULTATAI.....	30
IŠVADOS.....	39
LITERATŪRA.....	40
PRIEDAI.....	41

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Karbidų tipai ir jų savybės	12
2 lentelė. Glaistą sudarančios medžiagos	26
3 lentelė. Vielos tipų parametrai.....	28
4 lentelė. Vielos strypų cheminė sudėtis (masė, %)	27
5 lentelė. Planuoti ir faktiškai gauti elektrodų skersmenys, masės ir glaisto masės koeficientai (GMK)..	30
6 lentelė. Elektrodų su mažaaanglio plieno šerdimi cheminės sudėties rodikliai, matricos mikrokietis, kietumas ir suvirinamumas	31
7 lentelė. Elektrodų su nerūdijančiojo plieno šerdimi cheminės sudėties rodikliai, matricos mikrokietis, kietumas ir suvirinamumas.	32

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Karbidų forma poeutektoidiniuose plienuose	12
2 pav. Mikrokietumo nustatymas Vickerso būdu. Skalė.....	23
3 pav. Volframo karbido grūdėliai (0,45–0,63 mm) SEM vaizdas, 50 x; b) EDS spektrograma.....	27
4 pav. Apvirinimo nuoseklumas.....	29
5 pav. Elektrodų su mažanglio (a) ir nerūdijančiojo plieno (b) šerdimis sluoksniuose gaunami XRD spektrai	32
6 pav. Gauta sluoksnių mikrostruktūra su mažanglio plieno šerdies elektrodais	35
7 pav. 19 bandinio mikrostruktūra, gauta su mažanglio plieno vielos elektrodais (a ir b skiriasi priartinimu).	35
8 pav. Mikrostruktūra, gauta su nerūdijančiojo plieno šerdimi elektrodais.	36
9 pav. Volframo ir anglies kiekio sluoksninio suvirinimo elektros lanku priklausomybė	37
10 pav. Lankinio suvirinimo sluoksnių dilimas.....	37

IVADAS

Šiuo metu yra XXI amžius – technologijų ir naujovių amžius. Visose pramonės šakose yra kuriama, konstruojama, išrandama kas nors nauja, atnaujinama. Pasaulyje labai aktuali problema yra metalinių paviršių dilimas. Dėl dilimo įvairiose pramonės srityse atsiranda didelių problemų: gedimai, nesklandus darbas, visiškas gamybos sustojimas. Sudilusias detales galima pakeisti naujomis (tai gali labai daug kainuoti) arba atstatyti jų pradinę formą ir matmenis, taip sustiprinant jų paviršių. Vienas iš paviršiaus sustiprinimo būdų yra apvirinti elektrodais, kurių sudėtyje yra kietų ir atsparių dilimui medžiagų. Šiame darbe tai ir bus nagrinėjama.

Darant magistrinį darbą buvo gaunami tokie rezultatai:

- Sukurta nauja apvirinimo elektrodų glaistų receptūra;
- Ištirti legiruojančiųjų cheminių elementų perėjimo iš elektrodo į prilydomąjį metalą ir šlaką dėsninčiai.
- Ištirta legiruojančiųjų elementų koncentracijos įtaka apvirintų sluoksnių kietumui ir abrazyviniam dilimui.

Darbo tikslas – sukurti naujus apvirinimo elektrodus, kurių glaisto sudėtyje yra volframo karbido dalelių.

Uždaviniai:

1. Atlikti apvirinimo bandymus.
2. Nustatyti paviršių mikrokietumą.
3. Palyginti skirtingą volframo karbido kiekio įtaką po suvirinimo.

Tyrimo objektai:

1. Kuriami eksperimentiniai apvirinimo elektrodai;
2. Sukurtais elektrodais apvirinami detalių paviršiai;
3. Ištiriamos paviršių savybės.

1. VOLFRAMO KARBIDO APŽVALGA

Žodis *volframas* danų arba švedų kalba reiškia „sunkus akmuo“. Jis buvo atrastas 1779 m. chemiko Peterio Woulfe'o, kuris tyrė volframitą. Nuo to laiko volframas tapo neatsiejama mūsų technologijų raidos dalis.

Dėl išskirtinai aukštos lydymosi temperatūros, kietumo ir atsparumo volframas naudojamas paprastose kaitrinėse elektros lemputėse, kurias galime rasti beveik visuose namuose. 1922 m. Vokietijos mokslininkai, siekdami sukurti lydinį, kuris būtų tinkamas plienui ir kitiems tvirtiems metalo gaminiams apdoroti, sukūrė volframo karbidą. Nuo to laiko volframo karbidas labiausiai išpopuliarėjo kaip lydinys, iš kurio gaminami įvairūs metalo šlifavimo, tekinimo, pjaustymo ir kiti įrankiai. Gamyboje volframas pradėtas naudoti visai neseniai, tačiau dėl išskirtinio tvirtumo, atsparumo įgyja vis didesnę populiarumą visame pasaulyje.

Volframo karbido lydinį sudaro volframas, anglis ir papildomas metalas (dažniausiai nikelis, chromas arba kobaltas), kuris suriša visas lydinio dalis. Nikelis ir chromas yra brangesnis, tačiau gerokai tinkamesni, nes kobaltas reaguoja su žmogaus oda ir gali sukelti alergiją.

Moso mineralų kietumo skalėje volframui skiriama tarp 8 ir 9 balų (auksui 2–3, titanui–6). Kiečiausias pasaulyje deimantas įvertintas 10 balų. Ši skalė gali būti naudojama ir atsparumui nustatyti – visos žemesniu balu įvertintos medžiagos yra silpnesnės ir negali įbrėžti volframo karbido, o aukščiau esančios – tvirtesnės. Kadangi labai tvirtų medžiagų Žemėje yra labai nedaug, išvardinsime tas, kurios gali įbrėžti volframo žiedą: deimantas, korundas (priskiriami rubinai, safyrai, paprastas mineralas dažniausiai naudojamas kaip abrazyvas), silicio oksidas (naudojamas kaip abrazyvas).

Volframo karbidas yra atsparus korozijai, oksidacijai. Tai reiškia, kad volframas niekada nepajuoduos, nepakeis spalvos. Volframo karbido lydymosi temperatūra – 2870 °C (*Apie volframą..2014*).

Siekiant sumažinti nusidėvėjimą volframo karbidas (WC) yra naudojamas jau daugiau nei 120 metų. Po sintetinio WC sukūrimo 1914 m., kitas svarbus žingsnis buvo kobalto naudojimas kaip WC matrica. Tai buvo po dalinio ar visiško WC pakeitimo TIC, TAC, NBC ir kitų metalų karbidais.

Volframo karbidas, kaip viena labai veiksminga kompozitinių medžiagų mažinanti, abrazyvinį dilimą naudojama ilgą laiką kalnų kasybos, gręžimo įrankių, darbo daiktų, šampų, metalo pjovimo gamyboje, taip pat ir kitais tikslais norit sustiprinti ar atkurti medžiagą. Kadangi volframo karbido dangos yra veiksmingos jos yra mokslinių tyrimų objektas. Moksliniai tyrimai rodo, kad WC–Co dangos su mažesniu WC kiekiu turi mažesnę kietumą. Šitie tyrimai įrodo, kad karbido dalelės dydžio pakitimas nuo 0,2 iki 6 μm darė įtaką paviršiaus kietumui. Tai galioja kompozitams, kurių WC kiekis yra didesnis nei 90 % likusios Co sumos. Kai volframo karbido koncentracijos buvo mažesnės, karbido dydis neturėjo esminės įtakos dangų kietumui.

Buvo įrodyta, kad ne visada WC tūrio padidėjimas sukelia didesnę dangos kietumą. Pavyzdžiui, NiCrBSi dangų situacija yra priešinga, t.y. didinant WC koncentraciją, kietumas šiek tiek mažėja. Dilimui atsparios dangos buvo formuojamos įvairiais būdais – ir rankinio lankinio suvirinimo, ir suvirinimo lazeriu spinduliu. Kai kurie iš jų yra priimtini dėl savo paprastumo ir prieinamumo kiekvienam vartotojui (pvz., lankinis suvirinimas), kiti metodai yra pramoniniai, produktyvūs (pvz., indukcinis sluoksniavimas, plazminis suvirinimas ir t. t.) (Gruzdis, Meškinis, Juraitis 2009).

Vienas iš didžiausių WC trūkumų yra trapumas, todėl dideli WC elementai yra padaryti iš kobalto miltelių sukepinimo būdu, rečiau – nikelio ar geležies matricos (Lee, Cha, Kim, Hong 2006). Pastaroji matrica dėl prastų korozinių savybių naudojama retai, tačiau ji yra patikima ir nebrangi, todėl dažniau naudojama itin intensyvaus dilimo sąlygomis, kai korozijos procesai nevyksta. Geležies matricos variantas gali būti realizuotas rankiniu lankinio suvirinimo būdu, naudojant elektrodus su plienine arba nerūdijančiojo plieno šerdimi. Iki šiol nebuvo žinoma, kaip maksimali volframo karbido koncentracija gali būti pasiekta šio metodo suvirinimo būdu ir kaip tai paveiktų padengimo ypatybes. Šio tyrimo tikslas – sukurti elektrodus, skirtus rankiniam lankiniam suvirinimui, su skirtingu volframo karbido glaiste kiekiu ir skirtingomis anglinėmis koncentracijomis Fe (plieninėje) matricoje, kad būtų ištirtos jų savybės (Varnauskas, Valiulis, Rudzinskas 2008).

1.1. KARBIDŲ ĮTAKA APLYDYTO SLUOKSNIO STRUKTŪRAI IR SAVYBĖMS

Karbidai didina sluoksnio atsparumą dilimui. Tačiau per didelis jų kiekis duoda neigiamą efektą, nes keičiasi dilimo mechanizmas – karbidai nedyla, o išrupa. Didelę reikšmę turi karbidų pasiskirstymas. Aplydytam metalui kristalizuojantis, pirminiai karbidai gali pasiskirstyti netolygiai ir būti įvairių formų bei dydžio – galimas karbidinis nevienodumas.

Gausiai legiruotuose ledeburitiniuose plienuose dažnai susidaro skeletinės formos eutektinių karbidų tinklelis, tokios struktūros lydiniai yra atsparesni dilimui negu lydiniai su vienodai pasiskirsčiusiais smulkiais karbidais. Plienuose, kuriuose austenito martensito grūdėliai yra apsupti karbido tinklelio, yra gana atsparūs dilimui. Tačiau jie dyla labiau negu lydiniai, kuriuose, yra perteklinių pirminių karbidų (1 pav.).

Karbidai yra kieti, todėl jie sumažina Fe – C lydinių dilimą. Karbido kietumas priklauso nuo anglies ir kitų sudarančių elementų. Karbidų tipai ir savybės pateiktos 1 lentelėje.



1 pav. Karbidų forma poeutektoidiniuose plienuose: a – pertekliniai chromo karbidai, b – pertekliniai volframo karbidai

Karbidai susidaro tam tikru nuoseklumu. Didesnė tikimybė, kad tų pereinamųjų metalų karbidai susidarys plienuose, kurių atomų skersmenys skiriasi daugiau nei geležies atomų ir yra mažesnis jonizacijos potencialas. Volframo ir molibdeno atomų skersmenys mažai skiriasi, tačiau greičiau susidaro molibdeno karbidas, nes molibdeno jonizacijos potencialas yra mažesnis. Eilėje nuo chromo iki vanadžio ir titano, chromo karbidai susidaro susidarius titano ir vanadžio karbidams.

Geležies anglies lydiniuose karbido patvarumas priklauso nuo legiravimo elemento ir anglies santykio. Kai šis santykis didesnis, karbide legiravimo elemento yra daugiau, jis patvaresnis. Fe – Cr – C lydiniuose priklausomai nuo chromo ir anglies santykio, gali susidaryti kelių tipų karbidai:

- kai $Cr/C < 0,5$ susidaro M_3C karbidas;
- kai Cr/C yra nuo 0,5 iki 2, gali susidaryti Fe_3C karbidas arba Fe_3C ir Cr_7C_3 karbidai;
- kai $Cr/C > 2$, cementinio tipo karbidas nesusidaro. Kai Cr/C yra nuo 2 iki 5, susidaro vienas Cr_3C_3 karbidas arba/ir $Cr_{23}C_6$ karbidas;
- Kai $Cr/C > 5$, paprastai susidaro $Cr_{23}C_6$ karbidas (Ambroza, Kazlauskaitė 2012).

1 lentelė. Karbidų tipai ir jų savybės

Struktūrinė formulė	Gardelės tipas	Atomų kiekis narvelyje	Mikrokietumas, <i>MPa</i>	Lydomosi temperatūra °C	Tankis, <i>g/cm³</i>	Maksimalus karbide ištirpusio elemento kiekis
Fe_3C	Rombinė	16	8400 – 8600 9500 – 10500	1650	7,62	Mn – neribotai Cr – iki 30 %, V – iki 2 % W – iki 0,5 %, Ti, Mo, Nb, - nelabai tirpūs

Cr_7C_3	Heksagoninė	80	10500 – 12500 21000	1665	6,92	Fe – 60 %
M_{23}C_6	Sudėtinga kubinė	116	10000 – 11000	1550	6,97	Fe – iki 35 % Visi elementai išskyrus Nb, Ti, Ta, tirpūs
W_2C	Heksagoninė	3	30000	2850	17,2	
M_6C	Kūbinė	112	14950 – 181200 10 – 11000	-	12,0	V – iki 2 % Cr – iki 3-5 %
WC	Heksagoninė	2	17000 – 17500	2600	15,7	Fe, Ni, Cr blogai ištirpsta
VC	Kubinė centruoto paviršiaus	8	27000 – 29900	2830	5,6 – 5,9	Cr iki 30 % W, Mo – iki 50 % Fe – labai mažai tirpūs
TiC	Kubinė centruoto paviršiaus	8	32000	3100	-	0,7 % Ni
Mo_2C	Heksagoninė tankios sanglaudos	3	16000	2700	-	-
MoC	Heksagoninė tankios sanglaudos	2	-	2690	-	-

1.2. ELEKTRODŲ GAMYBOS ŽALIAVOS

Pagrindinė žaliava, kuri sudaro net 70 % viso elektrodo – viela. Viela gaminama įvairių markių ir įvairaus skersmens.

Viela gaminama partijomis. Partiją sudaro tos pačios markės, vieno lydymo, vienodo skersmens, vienodo paviršiaus ir tos pačios paskirties viela. Viela tiekama ritėmis ne daugiau kaip po 80 kg. Prie kiekvienos ritės tvirtinama metalinė lentelė, kurioje nurodomas gamintojo pavadinimas arba

prekinis ženklas, sąlyginis vielos žymėjimas ir partijos numeris. Kartu su kiekviena partija pateikiamas vielos kokybės sertifikatas, kuriame nurodoma jos cheminė sudėtis. Vielos paviršius turi būti švarus ir lygus. Prieš vielos naudojimą, nuo jos reikia nuvalyti tepalus, rūdis, purvą, gali reikėti pervynioti į specialias kasetes arba rites, taip pat reikia ją išlyginti specialiose staklėse.

Plieninė suvirinimo viela gaminama pagal standartą LST EN 440. Šis standartas klasifikuoja elektrodines vielas pagal jų cheminę sudėtį ir, esant reikalui, pagal siūlės metalo takumo ribą, stiprumo ribą ir santykinį pailgėjimą. Siūlės metalo takumo ir stiprumo ribų santykis paprastai yra didesnis nei pagrindinio metalo. Vartotojas turėtų žinoti, kad siūlės ir pagrindinio metalo lygiareikšmės takumo ribos dar negarantuos siūlės ir pagrindinio metalo vienodų stiprumo ribų.

Reikia pažymėti, kad mechaninės savybės siūlės metalo bandinių, naudotų elektrodams klasifikuoti, skirsis nuo gamybinių sujungimų mechaninių savybių dėl suvirinimo procedūrų skirtingumų, tokių kaip elektrodo skersmuo, vedžiojimo plotis, suvirinimo padėtis ir medžiagos cheminė sudėtis.

Cheminė sudėtis – vienas iš pagrindinių parametrų, nulemiantis vielos kokybę. Ji nustatoma atliekant bandymą spektroanalizatoriumi BELEC-compact-lab-N.

Pagaminto elektrodo prilydyto metalo cheminė sudėtis priklauso nuo vielos cheminės sudėties ir naudojamų glaisto komponentų bei gamybos procesų.

Glaistą sudarančių medžiagų kokybė, cheminė sudėtis ir kiekis jame, apsprendžia glaisto savybes ir suvirinimo kokybę. Dauguma žaliavų gaunama jau paruoštų gamybai, tačiau kai kurios gaunamos stambiais akmenimis (magnezitas, ferosilicis ir kt.). Jos turi būti susmulkinamos malūnuose. Iš pradžių smulkinama iki 10–25 cm dydžio, vėliau dar iki 3–5 cm. Ir galiausiai malama iki 0,3–0,5 cm. Stambesniems gabaliukams naudojamas persijojamas, kad neliktų itin stambių akmenų. Jei reikia susmulkintos medžiagos gali būti džiovinamos būgninėse arba kamerinėse krosnyse. Dėl to svarbu žinoti kiekvienos medžiagos savybes bei patikrinti jų kokybę.

Medžiagos, kurios naudojamos glaistytų elektrodų glaisto gamybai yra labai įvairios tai: klintys, kalcio karbonatas, fluoro špatas, kaolinas, aliuminio oksidas, žerutis, feromanganas, ferotitanas, magnezitas, ferosilicis, rutilas, celiuliozė, kvarcinis smėlis, geležies milteliai, natrio silikatas, kalio silikatas (skystam stiklui virti), marmuras ir įvairios kitos. Kiekviena žaliava, įeinanti į glaisto gamybą atlieka savo funkciją, suvirinimo proceso metu bei prilydyto metalo kokybei užtikrinti.

Šlaką sudarančios – beveik visų dangų pagrindinė dedamoji. Lauko špatas, kaolinas, magnezitas, marmuras, mangano oksidas, talkas, hematitas ir kt. Šie komponentai išsilydę sudaro šlaką, kuris apsaugo elektrodo lašus ir suvirinimo vonios metalą nuo tiesioginio kontakto su oru. Legiruojantys priedai (priemaišos), apsaugo nuo išdegimo, o geležis bei geležies milteliai, patenka į metalą ir didina jo kokybę, taip pat atitinkamai koreguoja išsilydžiusio metalo cheminę sudėtį.

Lanką stabilizuojantys junginiai turi būti pakankamai mažo jonizavimosi potencialo, tai K_2O , Na_2O , kai kuriais atvejais CaO ir kt. Stabilizuojančios – šie komponentai į elektrodinės dangos

sudėti įvedami su šarminių metalų (kalio, natrio, kalcio, bario) junginiais, pvz., Natrio ir kalio silikatai, potašas, kalciuota soda, kreida, marmuras. Šie komponentai turi gana žemą jonizacijos potencialą.

Rišančios medžiagos – natrio, kalio arba natrio – kalio skystas stiklas, tačiau yra atvejų, kuomet jų sudėtį būtina papildyti ir kitomis medžiagomis, pavyzdžiui, potašu (kalio karbonatu), putnagu, granitu.. Tai labai paplitę užsienio firmų praktikoje. Dar naudojamas degstrinas komponentų įeinančių į glaisto sudėtį surišimui.

Dujas sudarančios tai organinės medžiagos: krakmolos, medžio miltai, dekstrinas, celiuliozė ir neorganinės medžiagos: marmuras, magnezitas, dolomitas, kalkės, kreida ir kt. Šie komponentai kaisdami skyla ir sudaro dujas, kurios atskiria orą lanko zonoje ir apsaugo išlydytą vonios metalą.

Išoksidinančios medžiagos į dangos sudėtį įvedamos ferolydinių pavidalu t.y. feromanganas, ferosilicis, ferotitanas. Suvirinimo proceso metu išlydytas metalas kontaktuoja su šlaku, o kartais net ir su oru ir oksiduoja. Norint gauti geros kokybės siūlės metalą būtina jį išoksidinti.

Glaisto dangos plastiškumą padidina dedami plastifikatoriai, tai betonitas, celiuliozė, kaolinas, talkas.

Dauguma glaisto komponentų atlieka keletą funkcijų, pvz., marmuras, magnezitas, dolomitas yra ir šlaką sudarančios, ir dujas sudarančios medžiagos, o ferolydiniai yra ir išoksidintojai, ir legiruojančios siūlės metalą medžiagos (Varnauskas, 2008).

1.3. GLAISTYTŲJŲ ELEKTRODŲ GLAISTO TIPAI IR SAVYBĖS

Gaminama labai daug įvairios paskirties elektrodų, todėl pasirinkti tinkamiausių savybių elektrodą būna nelengva, nes reikia įvertinti elektrodo cheminę sudėtį ir technologines savybes, siūlės metalo mechanines savybes, turimą suvirinimo įrangą, elektrodų kainą ir kt. Elektrodų, naudojamų mažai ir gausiai legiruotiems plienams suvirinti ar apvirinti, glaisto paskirtis yra daugiafunkcinė, todėl į jo sudėtį įeina lanko degimą stabilizuojantys, šlaką sudarantys, dujinantys, deoksiduojantys, legiruojantys ir glaisto medžiagas rišantys komponentai. Glaistytojo elektrodo savybės, tai yra tiek suvirinimo charakteristikos, tiek siūlės metalo mechaninės savybės labai priklauso nuo glaisto. Šis homogeninis medžiagų mišinys paprastai susideda iš tokių šešių, pagrindinių komponentų:

- šlakus sudarančių medžiagų;
- deoksiduojančių medžiagų;
- dujinę apsaugą sudarančių medžiagų;
- jonizuojančių medžiagų;
- rišamųjų medžiagų jei reikia;

- legiruojančių elementų. Kai kurios glaiste esančios medžiagos gali atlikti ne vieną, bet kelias funkcijas.

Glaiste būna nuo 6 iki 12 medžiagų. Šios medžiagos atlieka įvairias funkcijas:

- oksiceliuliozė, krakmolos, karbonatai (marmuras, magnезitas), lanko zonoje skildami į sudedamąsias dalis, sukuria redukcinę dujų apsauginę atmosferą;
- metalų karbonatai padeda sureguliuoti šlako pH ir sukuria redukcinę atmosferą. Kad susidarytų šlakas, į glaistus pridedama mangano rūdos, lauko špato, lauko špato, marmuro, rutilo ir kt. Šlakas apsaugo išlydytą metalą nuo oro poveikio ir sudaro terpę, per kurią prilydytas metalas deoksiduojamas ir legiruojamas;
- feromanganas ir ferosilicis deoksiduoja skystąjį siūlės metalą ir didina Mn bei Si kiekį prilydytame metale;
- titano dioksidas gerina lanko labai takų, tačiau jonizaciją ir sudaro greitai stingstantį šlaką;
- kalcio fluoridas (CaF_2) kuria lanko apsauginę atmosferą, reguliuoja šlako pH, veikia metalų oksidų takumą ir tirpumą;
- silikatai sudaro šlaką ir stiprina elektrodo glaistą;
- geležies ir mangano sulfidai reguliuoja šlako takumą ir kitas savybes. Maži geležies oksido kiekiai stabilizuoja lanko degimą;
- legiravimo elementai (Ni, Mo, Cr ir kiti) pereina į siūlės metalą ir suteikia jam reikiamų savybių. Legiruojantys glaisto komponentai yra ferochromas, feromolibdenas, ferotitanas ir kt.;
- geležies milteliai didina suvirinimo proceso našumą, nes ta pati lanko šiluma prilydo didesnį kiekį metalo;
- molis ir kitos rišamosios medžiagos suteikia ekstruzijos būdu gaunamam elektrodo glaistui plastiškumo ir didina glaisto stiprumą;
- stabilizavimo komponentai lengvina lanko tarpelektrodinio tarpo jonizavimą, todėl jis stabiliau dega. Stabilizuojančios medžiagos – tai kalio, natrio, kalcio, bario junginiai (natrio ir kalio silikatai, potašas, kreida, marmuras).

Keičiant glaisto medžiagas bei jų kiekius, galima sukurti neribotą elektrodų glaistų įvairovę. Elektrodų glaisto medžiagos dažniausiai surišamos natrio silikatu (Na_2SiO_2), kuris, chemiškai sąveikaudamas su kitomis medžiagomis ir kietėdamas, suteikia glaistui mechaninio stiprumo (Valiulis, 2007).

1.3.1. Elektrodo glaistai plienams suvirinti

Suvirinant lanku, naudojami glaistyti elektrodai. Glaistas saugo suvirinimo vonią nuo atmosferinio deguonies, azoto bei vandenilio, legiruoja siūlę, padeda susidaryti šlakinei ir dujinei – šlakinei apsaugai. Glaistas lydosi palei elektrodą, ir aplink pastarąjį susidaro vamzdelio pavidalo ertmė. Ja metalų garai ir dujos teka kaip tūta ir apiplauna suvirinimo vonią. Dėl to gerokai sumažėja deguonies ir azoto parcialinis slėgis lanko zonoje. Be to, atitrūkę nuo elektrodo galo ir praėję lanką, skysto metalo lašai apsidengia šlako plėvele, o nutekantis nuo elektrodo galo šlakas suvirinimo vonios paviršiuje (už lanko dėmės zonos) sudaro izoliacinį sluoksnį. Glaistui lydantis, susidaro šlakas. Jis reaguoja su skystu metalu. Sąveikos intensyvumas priklauso nuo šlako ir metalo vonios sudėties. Kiek glaisto yra ant elektrodo nusako jo glaisto masės koeficientas:

Padidinus glaisto masės koeficientą virš tam tikros ribos, jo apsauginis veikimas nepadidėja. Vien šlaką sudarantis glaistas nesumažina azoto kiekio metale tiek, kad jo liktų mažiau kaip 0,04 – 0,05%. Norint apsaugoti suvirinimo vonią nuo atmosferos poveikio, tikslinga į glaistą įdėti šlaką ir dujas sudarančių komponentų. Daugumą šiuo metu naudojamų glaistų plienams virinti lankiniu būdu pagal jų metalurginį veikimą galima suskirstyti į kelias pagrindines grupes:

A – rūgštus;

B – bazinis;

C – celiuliozinis (organinis);

R – rutilo;

BA, BR– mišrus ir kt.

Gali būti ir išskiriamos ir kitos grupės.

Elektroduose, su *rūgštiniu* glaistu šlaką sudaro geležies ir magnio rūda bei silicio žemė. Dujinę išlydyto metalo apsaugą sukuria organiniai komponentai (krakmolas, dekstrinas) ir karbonatai, skylantys įkaistant ir lydantis elektrodui. Išlydytas metalas išoksidinamas feromagniu. Siūlės metale būna daug deguonies (iki 0,12 %) ir vandenilio (iki 15 cm³/100 g. metalo). Siūlės metalas neatsparus kristalizaciniams įtrūkimams kai pagrindiniame metale daug sieros ir anglies ir labai linkęs senėti, tačiau nesusidaro poros, kai ant suvirinamų briaunų yra nuodegų arba rūdžių bei suvirinant ilgu lanku arba forsuotais režimais. Suvirinant šiais elektrodais ramaus stingimo plienus, kuriuose yra daug silicio, gali susidaryti poros. Pagrindiniai šių elektrodų trūkumai: ištaškoma labai daug išlydyto metalo ir suvirinant išsiskiria daug nuodingų aerozolių (labai smulkių magnio ir silicio dulkelių), turinčių labai daug kenksmingų medžiagų. Siūlės metale daug vandenilio. Šiais elektrodais galima suvirinti nuolatine ir kintama srove. Pastaruoju metu šių elektrodų panaudojimas ribotas, nes naudojami elektrodai su rutilo glaistu.

Elektroduose su *baziniu* glaistu šlaką sudaro karbonatai (pavyzdžiui, marmuras) ir fluoritas. Dujinę išlydyto metalo apsaugą sudaro angliarūgštė ir anglies oksidas, susidarantys vykstant karbonatų disociacijai. Išlydytas metalas išoksidinamas feromagniu, ferosiliciu, kartais ferotitanu ir feroaliuminiu.

Šiais elektrodais prilydytame metale yra nedaug deguonies (mažiau už 0,05%) ir vandenilio ($4\text{--}10\text{ cm}^3/100\text{g}$ metalo). Siūlės metalas turi geras mechanines savybes – didelį plastiškumą, smūginį tįsumą kambario ir žemoje temperatūroje, mažai linkęs senėti, atsparus kristalizaciniams įtrūkimams. Su šiais glaistais galima suvirinti bet kokio legiruotumo siūles. Šiais elektrodais paprastai rekomenduojama suvirinti atsakingas konstrukcijas.

Elektrodų su baziniais glaistais trūkumai: nerekomenduojama virinti, jeigu ant suvirinamų briaunų yra tepalo, nuodegų ar rūdžių, pailginus suvirinimo lanką arba sudrėkus glaistui, siūlės metale susidaro poros. Šiais elektrodais galima virinti tik nuolatine atvirkščio poliškumo srove. Kai kurių markių elektrodais galima virinti ir kintama srove. Šiuo tikslu į glaistą dedama kalio junginių, kurie stabilizuoja lanką.

Elektrodai su *celiulioziniu* glaistu. Glaisto pagrindą sudaro celiuliozė, kuri suvirinant skyla ir sudaro išlydyto metalo dujinę apsaugą. Šlaką sudaro rutilas, karbonatai, aliumosilikatai ir kitos medžiagos. Metalas išoksidinamas feromagniu. Pagal siūlės metalo savybes šie elektrodai artimi elektrodams su rutilo glaistais. Deguonies kiekis metale neviršija 0,03 %, vandenilio kiekis toks pats, kaip suvirinant elektrodais su rutilo glaistu, t.y. iki $30\text{ cm}^3/100\text{ g}$ metalo. Suvirinant elektrodais su celiulioziniais glaistais, ištaškoma labai daug išlydyto metalo, netgi virinant nuolatine srove (iki 20 % išlydyto metalo). Kadangi, perkaitinus glaistą, išdega organiniai komponentai, labai svarbu šiuos elektrodus tinkamai džiovinti. Prieš suvirinimą šie elektrodai džiovinami $80\text{--}110\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūroje. Elektrodais su celiulioziniais glaistais negalima virinti didelėmis srovėmis, nes perkaista glaistas, išdega organiniai komponentai ir gaunama skirtinga metalo cheminė sudėtis siūlės ilgyje. Šiais elektrodais tik ribotai galima suvirinti vamzdynus (dujotiekius) ir kitas konstrukcijas iš mažai anglingų ir mažai legiruotų plienų.

Elektrodai su *rutilo* glaistu, pagal prilydyto metalo savybes užima tarpinę padėtį tarp elektrodų su rūgštiniais rūdos ir fluoro kalcio glaistais. Šlakus sudaro rutilas, aliumosilikatai ir karbonatai. Naudojamas rutilo koncentratas, kuriame daug titano dioksido – ne mažiau 92 % (daugelyje elektrodų markių) arba koncentratas, kuriame titano dioksido yra mažiau 38–60 % Siūlės metalas išoksidinamas feromagniu. Prilydytame metale būna 0,06–0,09 % deguonies, t.y. truputį daugiau, negu suvirinant elektrodais su fluoro kalcio glaistais. Vandenilio po suvirinimo gali būti iki $30\text{ cm}^3/100\text{ g}$ metalo. Tai esminis trūkumas, dėl kurio šiuos elektrodus galima tik ribotai naudoti mažai legiruotų konstrukcinių plienų suvirinimui, kadangi gali atsirasti šaltieji įtrūkimai.

Elektrodai su rutilo glaistais pasižymi geromis suvirinimo technologinėmis savybėmis – lankas dega stabiliai virinant tiek nuolatine tiek kintama srove, išlydytas metalas nedaug taškosi ($4\text{--}5$

kartus mažiau, negu virinant elektrodais su rūgštiniais rūdos glaistais), siūlė gerai formuojasi visose erdvinėse padėtyse, gaunamas geras siūlės išorinis vaizdas. Siūlės metale susidaro nedaug porų kintant suvirinimo lanko ilgiui bei suvirinant padengtus oksidu arba užterštus paviršius. Porėtumas siūlės metale gali pasireikšti suvirinant didelėmis srovėmis, suvirinant tėjinius sujungimus su tarpais bei suvirinant plonasienį metalą didelio skersmens elektrodais. Porėtumas sumažinamas užtikrinant reikalingą glaisto drėgnumą. Rekomenduojama sudrėkusius elektrodus džiovinti vieną valandą 180–200 °C temperatūroje.

Siekiant pagerinti elektrodų suvirinimo technologines savybes, į kai kurių markių elektrodų glaistus pridedama 15 % geležies miltelių. Siekiant padidinti aplydymo koeficientą, geležies miltelių pridedama iki 35 %.

Suvirinant elektrodais su rutilo glaistais, siūlės metalo atsparumas kristalizaciniam įtrūkimams šiek tiek didesnis, negu suvirinant elektrodais su rūgštiniais glaistais. Elektrodais su rutilo glaistais daugiausia suvirinamos konstrukcijos iš mažai legiruoto plieno. Šie elektrodai pasižymi geromis higieninėmis savybėmis, todėl gerai tinka suvirinti uždaroje ir blogai vėdinamuose patalpose. Kadangi rutilo glaistas mažai oksidantis, magnio oksidų aerozoliuose suvirinant būna 3–5 kartus mažiau, negu suvirinant elektrodais su rūgštiniais glaistais (Gedzevičius, 2007).

1.3.2 Šlakų savybės

Metalurgijoje šlakais vadinama nemetalinė danga virš skysto metalo vonios. Tai įvairių metalų ir metaloidų oksidų lydiniai. Be oksidų juose būna sulfidų, fluoridų ir kt. Šlakų oksidai tarp savęs sudaro cheminius junginius, kietus ir skystu tirpalus ir mechaninius mišinius, (eutektiką). Šlakinių sistemų būseną ir sandarą įvairioje temperatūroje galima nustatyti iš būsenos diagramų, sudaromų taip pat kaip ir metalinėms sistemoms.

Suvirinant šlakai atlieka daug svarbių funkcijų: mechaniškai padengia krintantį skysto metalo lašą, saugo skysto metalo vonią nuo atmosferos ir t.t. Jie veikia metalą fiziškai ir chemiškai: tirpdo arba suriša FeO ir sulfidus į cheminius junginius, gerina suvirinimo šiluminį režimą. Šlakas su stabilizuojančiaisiais komponentais stabilizuoja suvirinimo lanką.

Suvirinant kokybiškais elektrodais, metalas padengiamas šlaku. Jo sudėtis priklauso nuo glaisto, taip pat nuo šlake ir metale vykstančios cheminės reakcijos. Šlako oksidai gali būti dviejų rūšių: rūgštiniai ir baziniai. Tačiau yra ir tokių, kurie gali būti mišrūs. Jie sudaro atmosferinių šlakų grupę. Dažnai šlake randama ir kitų junginių: silikatų, fosfatų, aluminatų, feritų ir kt. Pagrindinės šlako savybės, turinčios daug įtakos metalurginiams procesams, yra šios: 1) šiluminės konstantos: suminkštėjimo ir lydymosi temperatūra, oksidų susidarymo šiluma, šiluminė lydymosi temperatūra; 2) klampumas, jo priklausomybė nuo temperatūros ir šlako sudėties; 3) skysto šlako specifinis svoris; 4) gebėjimas

ištirpdyti metalus, sulfidus ir kitus junginius; 5) ilgėjimo (linijinio plėtimosi) koeficientas ir kitos kieto šlako savybės, nuo kurių priklauso šlako atsiskyrimas nuo prilydyto metalo; 6) šlako baziškumas ir komponentų savybės, nuo kurių priklauso šlako gebėjimas sudaryti junginius ir disocijuoti.

1.4. IŠLYDYTO ELEKTRODO METALO PERNEŠIMAS Į SUVIRINIMO VONELĘ

Metallų suvirinimo šilumos šaltinis dažniausiai būna elektros lanko šiluma, kuria išlydoma sujungiamųjų detalių paviršiai ir pridėtinis metalas. Tokiu būdu suvirinto sujungimo siūlės metalas susideda iš pagrindinio ir elektrodo metalo lydinio. Kadangi išlydytas metalas yra elektros lanko plazmoje, tai suvirinimo siūlės kokybei didelę įtaką turi ne tik pagrindinio ir elektrodo metalo sudėtis, bet ir sąlygos, kuriomis elektrodo metalas pernešamas į suvirinimo vonią.

Kaip pernešamas metalas išlydyto elektrodo į suvirinimo vonią priklauso nuo suvirinimų metallų rūšies, suvirinimo būdo ir režimo. Jis gali būti dviejų pagrindinių tipų: pernešimas lašais ir trumpuoju jungimu. Trumpu jungimu dažniausiai pernešama, kai yra nedidelė suvirinimo srovė. Išlydytas elektrodo metalas patenka į suvirinimo vonią, kai elektrodas tiesiogiai kontaktuoja su pagrindiniu metalu. Išlydyto elektrodo metalas lašais pernešamas tada, kai suvirinama stipria elektros srove. Tokiu atveju elektrodo gale susiformavęs metalo lašas atitrūksta nuo elektrodo ir krinta į suvirinimo vonią. Lašo dydis priklauso nuo suvirinimo būdo, srovės stiprumo, elektrodo metalo rūšies (Gedzevičius, 2007).

Elektrodo metalo pernešimo būdas daro didelę įtaką suvirinimo siūlės formai ir kokybei. Kad suvirinimo procesas būtų stabilus reikia kontroliuoti lašo susiformavimo, perėjimo per lanko tarpą ir nukritimo į suvirinimo vonią laiką, susiformavusio lašo didumą, elektrinių parametrų kitimo greitį.

Metalo lašą elektrodo gale visada veikia tam tikros jėgos. Nuo jų priklauso lašo susidarymas ir pernešimas į suvirinimo vonelę. Šių jėgų pobūdis ir veikimo intensyvumas priklauso nuo elektrodams lydyti naudojamos energijos rūšies, galios ir koncentracijos, suvirinimo būdo ir metalo rūšies. Dabar plačiau naudojamas elektros lankas, taigi jame veikiančios jėgos: gravitacinė, paviršiaus įtempimo, lanko slėgio jėga, elektrodinaminė jėga, dujų srautų reaktyvinė jėga.

Gravitacinė – atsiranda dėl žemės gravitacijos. Jos didumas priklauso nuo lašo masės ir apskaičiuojamas taip :

$$F_{gr} = ma ; \quad (1)$$

čia m – lašo masė; a – laisvojo kritimo pagreitis.

Paviršinio įtempimo jėga atsiranda dėl skirtingų tarpatominių ryšių metalo viduje ir paviršiuje. Ji suteikia lašui formą. Nuo jos priklauso lašo didumas. Ji priklauso nuo elektrodo medžiagos ir jo skersmens ir apskaičiuojama taip:

$$F_{pav.it} = 2\pi R\alpha ; \quad (2)$$

čia R – elektrodo spindulys; α – paviršiaus įtempimo koeficientas.

Lanko slėgio jėga atsiranda susidarius elektros lanko potencialų skirtumo veikiamų įelektrintų dalelių dinaminiam slėgiui. Ji apskaičiuojama:

$$F_{l.sl} = Vm_e ; \quad (3)$$

čia V – įelektrintų dalelių greitis; m_e – šių dalelių masė.

Elektrodinaminė jėga atsiranda, kai laidininkas, kuriuo teka elektros srovė, sąveikauja su savuoju magnetiniu lauku. Ji apskaičiuojama:

$$F_{elektrodinaz} = \frac{\mu I^2}{4\pi} \ln \frac{R_1}{R_{el.sp}} ; \quad (4)$$

čia μ – skysto metalo magnetinė skvarba; I – suvirinimo srovė; R_1 – elektros lanko spindulys; $R_{el.sp}$ – elektros spindulys.

Dujų srautų reaktyvinė jėga atsiranda, intensyviai garuojant išsilydžiusiam elektrodo metalui, kai jų elektros lanko temperatūra aukštesnė už metalo virimo temperatūrą. Šios jėgos didumas priklauso nuo garų kiekio:

$$F_{d.r} = m_g \frac{V_g}{S} ; \quad (5)$$

čia m_g – garų masė; V_g – garų judėjimo greitis; S – garavimo plotas.

Įvairiais būdais valdant elektrodo metalo pernešimą į metalo pernešimą į suvirinimo vonią, analizuojamos išlydytą metalą veikiančios jėgos, t.y. jos didinamos arba mažinamos (Bendikas, 2007).

1.5. SUVIRINIMO TECHNOLOGINIŲ SAVYBIŲ NUSTATYMAS

Gaminant glaistytus elektrodus reikia stengtis kiek galima labiau pagerinti šias savybes:

- lengvą pradinį ir pakartotinį elektros lanko uždegimą;
- pastovų ir tolygų elektros lanko degimą;
- tolygų pridėtinio metalo lydymąsi ir pernešimą į suvirinimo vonelę;
- patikimą išlydytos pridėtinės suvirinimo medžiagos ir suvirinimo vonelės metalo apsaugą nuo atmosferos poveikio;
- siūlės metalo pageidaujamos cheminės sudėties ir mechaninių savybių gavimą;

- gerą suvirinimo vonelės valdymą ir siūlės formavimą, minimalius metalo ištaškymo ir garavimo nuostolius;
- galimai didelį suvirinimo proceso našumą;
- tolygų siūlės metalo pasidengimas šlaku;
- lengvą šlako atsiskyrimą ir nuvalymą nuo suvirintos siūlės paviršiaus;
- neįvirinimo, įtrūkių ir porų nebuvimas siūlės metale;
- minimalų suvirinimo metu išsiskiriančių toksinių dujų kiekį;
- sanitarines – higienines suvirinimo sąlygas.

Specialiosios suvirinimo technologinės savybės nustatomos atliekant metalografinį tyrimą ir kitus mechaninių savybių bandymus, tokius kaip smūginio tūsumo, tempimo, lenkimo ir kt. bandymus.

1.6. PLIENO CHEMINĖS SUDĖTIES NUSTATYMAS SPEKTRINE ANALIZE

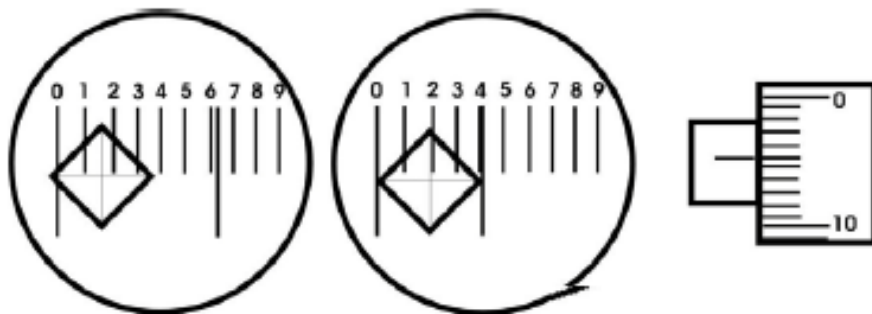
Medžiagos cheminės sudėties nustatymą, remiantis linijiniais spektrais, vadiname spektrine analize. Jei nustatome tik medžiagą sudarančių elementų rūšis, atliekame kokybinę spektrinę analizę.

Spektrinės analizės metodai pagrįsti tuo, kad tiriamosios medžiagos atomai ar molekulės skleidžia elektromagnetines bangas. Pagal analizuojamos sistemos kvantų spinduliavimą arba absorbavimą galima spręsti apie kokybinę ir kiekybinę medžiagos sudėtį. Spinduliavimo dažnis priklauso nuo medžiagos, o spinduliavimo intensyvumas nuo jos kiekio. Spektrinės analizės metodais galima tyrinėti medžiagas įvairiose elektromagnetinio spektro dalyse: gama, rentgeno, ultravioletinių, regimųjų ir infraraudonųjų spindulių, taip pat mikrobangų ir radijo bangų srityse. Išvardintų spinduliavimo rūšių kvantų energijos gali būti nuo 10⁸ iki 10⁻⁶ eV arba nuo 10²¹ iki 10³ Hz dažnių diapazone. Praktiškai nebūtina ištirti visą elemento linijinį spektrą – užtenka stebėti vieną ar keletą šiam elementui būdingų linijų. Norint gauti tiriamosios medžiagos spektrą, reikia medžiagos pavyzdėli patalpinti šviesos šaltinyje, kur ji įkaista ir pradeda garuoti. Garų būsenoje molekulės disocijuoja į atomus, kurie susidurdami su elektronais susižadina, t.y. pereina į sužadintą būseną. Sužadintos būsenos būna labai trumpai (10⁻⁷, 10⁻⁸ s). Savaime grįždami į normalią ar tarpinę būseną, jie išspinduliuoja energijos perteklių, t.y. šviesos kvantą. Gaunamas linijinis spektras. Bandinių cheminės sudėties nustatymas atliktas UAB „Anykščių Vario“ turimu Spectrotest serijos spektromentu 20 °C temperatūroje.

1.7. APVIRINTŲ SUJUNGIMŲ MIKROKIETUMO NUSTATYMAS

Nustatant metalų ir jų lydinių kietumą Vickerso metodu į paviršių įspaudžiama keturbriaunė deimantinė piramidė, kurios viršūnės kampas – 136° . Kietumo vienetai HV apskaičiuojami, spaudimo jėgą dalinant iš įspaudos paviršiaus ploto. Matuojant kietumą Vickerso metodu, tikslesni rezultatai gaunami matuojant kietus metalus. Panaudojant mažą apkrovą metodas labai patogus plonų (0,3–0,5 mm), negiliai užgrūdintų detalių sluoksnių kietumo matavimui bei termocheminio detalių sustiprinimo (cementavimo, azotavimo ir kt.) sluoksnių kietumui matuoti.

Bandant mikrokietumą, įspaudos gali būti daromos eilutėmis (R) arba atskiromis įspaudomis (E). Jei nenurodyta kitaip, bandymas atliekamas aplinkos temperatūroje (23 ± 5) °C. Bandiniai išpjaunami mechaniniu būdu skersai suvirinto sujungimo. Bandinių pjovimo ir kitos paviršiaus paruošimo operacijos atliekamos kruopščiai aušinant vandeniu, kad tiriamasis paviršius nebūtų termiškai paveiktas. Paviršius, kurio kietumą numatyta matuoti yra paruošiamas darant mikrošlifą 320, 500 ir 800 μm abrazyvinių dalelių dydžio šlifavimo popieriais ir po to nupoliruojant su medžiaga sudrėkinta aliuminio oksido tirpalu. Atlikus šlifavimo ir poliravimo operacijas bandinys nuvalomas medicininiu spiritu ir ultragarsinio (35 kHz) valymo vonelėje, nusausinamas ir išsodinamas 6 % HNO_3 spirito tirpale tam, kad būtų galima tiksliai išmatuoti įspaudų įstrižaines įvairiose suvirinto sujungimo srityse. Matuojant Vickerso metodu, naudojamos mažesnės apkrovos (5, 50, 100 N), todėl gaunamas labai mažas įspaudas. Naudota 200 g. apkrova HV0,2.



2 pav. Mikrokietumo nustatymas Vickerso būdu. Skalė

Svarbiausia prietaiso dalis yra pasukama kombinuota matavimo galvutė, joje įmontuotas antgalis su piramide (įspaudui padaryti) ir optinis mikroskopas (įspaudos dydžiui matuoti). Bandinys dedamas ant stalelio. Stalelio viršus keičiamas priklausomai nuo bandinio formos. Padedant smagračiui stalelis keliamas (nuleidžiamas) tol kol bandinys atsiremia į atramą. Prieš paleidžiant prietaisą reikia žinoti apkrovos dydį. Prietaisas paleidžiamas rankena paspaudus svirtį po smagračiu. Prietaisas automatiškai uždeda ir nuima apkrovą nuo antgalio. Kai svirtis pasiekia viršutinę padėtį (sustoja) ją reikia

vėl nulenkti žemyn iki galo (užsifiksuoja). Bandymas baigtas. Stalelis nuleidžiamas sukant smagratį prieš laikrodžio rodyklę, tada pasukamasis įtaisas atsukamas taip, kad ties įspaudu būtų mikroskopo objektyvas. Žiūrint pro mikroskopo okuliarą stalelis leidžiamas (arba keliamas) tol kol išryškėja metalo paviršiaus vaizdas su padarytu įspaudu. Mikroskopo okuliare (optiniame mikrometre) yra dvi ilgesnės juostelės – kairioji ir dešinioji. Matuojant įspaudo įstrižainių ilgį sraigto sutapatiname vienas kitas juosteles. Mikrometrinio sraigto skalė turi būti ties "0" padala. Tada sraigto juostelės pastatome ties įspaudu kairiojo kampo viršūne (kuo tiksliau). Sukdami mikrometro sraigtą vieną iš juostelių pastatome ties dešiniu įspaudu kampu. Viršutinėje okuliario dalyje įbrėžta liniuotė. Įspaudų dydis nustatomas naudojantis šia liniuote ir mikrometriniu sraigto.

Žinant apkrovos dydį apskaičiuojamas kietumas HV: Čia, F - piramidės apkrova kg; d - vidutinis aritmetinis atspaudų įstrižainių vidurkis mm. Matuojant Vickerso metodu krūviai parenkami atsižvelgiant į bandinio storį arba sustiprinto sluoksnio (dangos) storį. Kietumo bandymo rezultatai turi tenkinti LST EN ISO 15614–1 standarto nustatytus reikalavimus. Įvairiais metodais nustatytą kietumą galima palyginti, arba vienus vienetus paversti į kitus, galima naudojant specialias lenteles arba grafikus, yra sudaromos specialios lentelės (Bendikas, 2007).

Kietumo matavimas Brinerio metodu

Matuojant metalų kietumą Brinelio metodu, į juos įspaudžiamas tam tikro skersmens plieninis rutuliukas. Kietumo reikšmė nustatoma spaudimo jėgą F dalinant iš spaudo paviršiaus ploto S :

$$HB = \frac{F}{S}, \text{ MPa} \quad (5)$$

Kietumo vienetų dimensija MPa, tačiau dažniausiai jie duodami be dimensijos: HB 400, HB 250. Brinelio metodas tinka tik minkštų metalų ($HB \leq 450$) – atkaitintų plienų, spalvotųjų metalų kietumui matuoti. Bandant kietesnius metalus, plieninis rutuliukas gali deformuotis

1.8. ABRAZYVINIS DILIMAS

Abrazyvinio dilimo tyrimams paplitęs tyrimas pagal ASTM G65–94 standartą, pagal kurį bandomas paviršius yra vertikalus, abrazyvas į mėginio ir darbo rato tarpą tiekiamas vertikaliai. Keičiant darbo rato medžiagą, šiuo tyrimu galima modeliuoti tiek didelį, tiek mažą kontaktinį slėgį įvairių medžiagų trinties porose, tačiau modeliuoti dilimo į įtvirtinta abrazyvą, kuomet agresyviai ardomas

paviršius – negalima, nes abrazyvinės dalelės gali suktis, ir ardymo procesas nutrūksta arba yra mažiau intensyvūs [9]. Be to, jei abrazyvo masė tiekiamą netolygiai, tyrimo rezultato paklaida gali siekti 17 % [10]. Labai svarbu yra tai, kad abrazyvinių dalelių didesnių už 300 μm kiekis tesiekia tik apie 10 % [6], o pagal ASTM G65-94 standartą bandoma su panašios (200–425 μm) frakcijos kvarciniu smėliu. Laboratoriniais bandymais vykdomi palyginamieji dilimo tyrimai, todėl dilimo aplinkos agresyvinimas tyrimus trumpina, tačiau yra prasmingas tik nekintant paviršių sąveikos (dilimo) mechanizmui. Todėl šio metodo naudojimas gali iš esmės pakeisti rezultatus.

Vienas iš seniausių dilimo vertinimo būdų yra dilimas į įtvirtinta abrazyvą, pradėtas taikyti dar 1910 metais, o XX a. viduryje labai išvystytas dėl jo privalumų. Tiriant šiuo būdu yra tiksliai žinomas mėginio dilimo kelias abrazyvo paviršiumi, šios dalelės nepasisuka, nerieda ir į mėginį gali tik įsigilinti arba sulūžti. Šiuo metodu galima tirti ir vertinti darbo greičio, apkrovos, skirtingų savybių metalų ir kitų parametru įtaka dilimui.

Nudilusių detalių darbingumas dažnai didinamas jas apvirinant elektrolankiniu būdu. Tokiu būdu atkuriami ne tik detalės matmenys ir geometrinė forma, tačiau gali būti pagerintas ir atsparumas abrazyviniam dilimui. Tai daroma apvirinant plienus elektrodais su Cr, C, B, Mo, V, Ti, W ir kitais legiruojančiais elementais. Atlikti laboratoriniai tyrimai rodo, kad apvirinus atsparumą abrazyviniam dilimui galima padidinti iki 50 ir daugiau procentų. Remiantis atliktais tyrimais, kur buvo tiriamas grynų metalų atsparumas dilimui, nustatyta, kad dilimo intensyvumas tiesiogiai priklauso nuo metalų mikrokietumo. Didėjant kietumui didėja ir atsparumas abrazyviniam dilimui. Taip pat ištirta, kad lydinio atsparumas dilimui buvo mažesnis už to paties kietumo grynųjų metalų. 31 Termiškai neapdorotų plienų atsparumas dilimui buvo toks pat kaip ir grynųjų metalų. Grūdintų plienų atsparumas dilimui didėja didėjant jų kietumui. Atsižvelgiant į atliktus tyrimus matome, kad vien tik lydinio kietumas vienareikšmiškai nelemia atsparumo abrazyviniam dilimui, todėl kiekvienam lydinio turi būti atliekami dilimo tyrimai.

Dilimo, taip pat ir abrazyvinio, tyrimai vykdyti ir Lietuvoje: pavyzdžiui įrankių darbinės briaunos, apvirindami miltelinėmis kompozicijomis formavo ir jų dilimą vertino doc. P. Ambroza su bendradarbiais, doc. V. Serapinas tyrė mašinų kinematinėse porose vykstančius procesus, prof. J. Padgurskas – trinties paviršių neabrazyvinį antifrikinį baigiamąjį apdirbimą, fluoro oligomerų ir kitų medžiagų įtaką trinties porų darbui. Daugiausia nuopelnų tribologijos mokslui Lietuvoje turi prof. V. Vekteris, kuriam už darbų ciklą „Mechatroninės mašinų inžinerijos tribologinių sistemų tyrimai“ buvo paskirta 2007 m. Lietuvos mokslų premija.

Vertinant abrazyvinį dilimą tyrinėjama ir abrazyvų (abrazyvo rūšies, abrazyvo dalelių dydžio ir jų formos), ir dylančios medžiagos (keramikos, metalų, ir kitų konstrukcinių medžiagų bei jų lydinio sudėties, kietumo, struktūros, grūdėtumo ir kt.) charakteristikų ir aplinkos (dalelių greičio ir jų kontaktinės apkrovos, temperatūros, drėgnumo ir kt.) veiksnių įtaka dilimui.

Tyrimė volframo kiekis svyravo intervale 0,11–40 %, su mažanglio arba nelegiruotojo plieno matrica. Elektrodo buvo sukurti suvirinimo bandinių vertinimui suvirinamumui, kietumui, sudėties analizės ir mikrostruktūros tyrimui. Šie elektrodai yra nuo vidutinio iki labai gerų suvirinimo savybių. Gali būti daroma prielaida, kad dangas, gaunamas iš mažanglio plieno elektrodų ir turi didelę matricos kietumą (iki 8,59 GPa) užtikrins puikias tribunometrines savybes, t.y. atsparumo dilimą (Jankauskas, 2008).

2. PRILYDYTO METALO SAVYBIŲ TYRIMAS

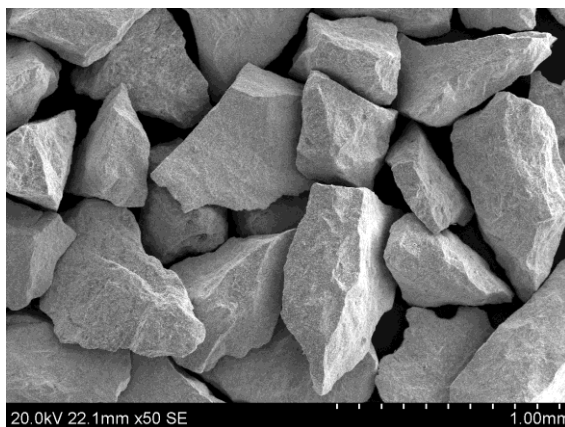
Glaistytieji elektrodai buvo pagaminti UAB „Anykščių varis“. Suvirinimo vonelės apsaugai, deoksidacijai ir legiravimui buvo naudojamas bazinis UONI-13/55 standartinis glaisto tipas. Dangą sudarė šios medžiagos: mineralai – marmuras, klintis ($\text{Ca}_2\text{CO}_3 > 93 \%$), fluoritas ($\text{CaF}_2 > 97 \%$), kvarcinis smėlis ($\text{SiO}_2 > 99 \%$) žėrutis ($\text{SiO}_2 (\sim 48 \%) + \text{Al}_2\text{O}_3 (\sim 36 \%) + \text{K}_2\text{O} (> 8 \%)$) ir ferolydinių – feromanganas (Mn – 82 %), ferosilicis (Si – 46 %) ir ferotanas (Ti – 33 Si – 3 %, Al – 8 %). Šios medžiagos buvo sumaišytos, surištos natrio skystuoju stiklu, išdžiovintos ir sumaltos. Šių medžiagų mišinys pavadintas „Šlako medžiagomis“ ir naudotas eksperimentinių apvirinimo elektrodų su volframo karbidu gamybos procesui. Mineralinės medžiagos ir skystojo stiklo sausas likutis ($\text{SiO}_2 + \text{Na}_2\text{O}$) mišinyje sudarė 82,9 %, ferolydiniai – 17,1 %. Reikalingam anglies kiekiui prilydomo metalo matricoje gauti naudotas grafitas, glaistui armuoti – celiuliozė. Volframo karbidas (0,4 –0,63 mm grūdėtumo, TYY 24.6-33876998-001-2006) į glaistą įvairiomis koncentracijomis įvestas kaip apvirinamų sluoksnių procesą gerinantis komponentas. Glaistą sudarančios medžiagos pateiktos 2 lentelėje.

2 lentelė. Glaistą sudarančios medžiagos

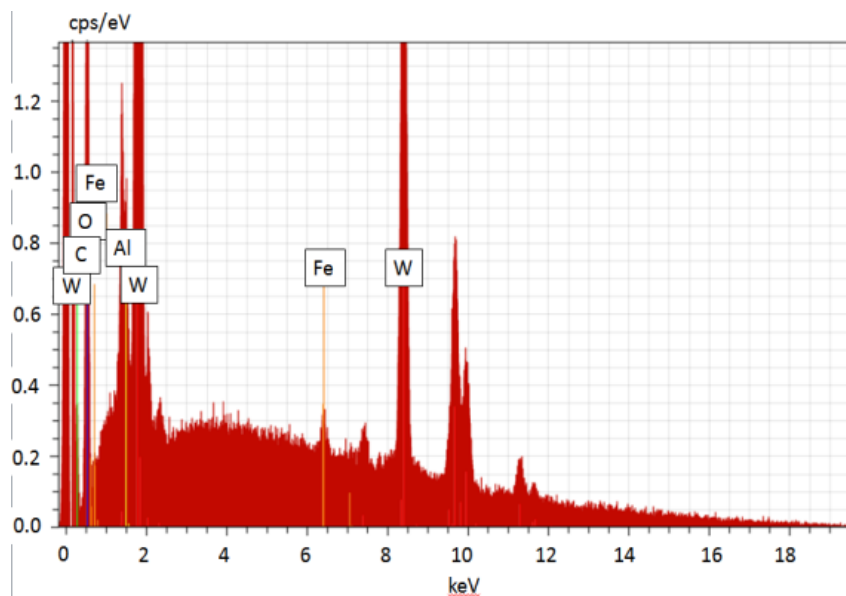
Maišymo nr.	Glaisto sudėtis				Skystas stiklas, %	Bandinio Nr.
	Šlako medžiagos	Grafitas	Celiuliozė	Volframas		
1	34,7	2,7	1,0	61,7	22,5	4, 5, 6
2	61,6	2,4	1,0	35,0	23,5	7, 8, 9, 10, 11
3	75,5	3,5	1,0	20,0	28,8	12, 13, 14, 15, 16
4	91,8	7,2	1,0	0,0	36,4	17, 18
5	56,0	3,0	1,0	40,0	29,5	19
6	46,5	2,5	1,0	50,0	26,7	20

7	0,0	3,0	1,0	96,0	17,0	21*, 22*
8	34,7	2,7	1,0	61,6	21,8	23
9	58,2	2,5	1,0	38,3	28,8	24
10	57,0	3,7	1,0	38,3	28,8	25

*7 Maišymas dėl nedidelės WC koncentracijos (didelio mišinio piltinio tankio) negautas. Planuoti bandiniai Nr. 21 ir Nr. 22 nepagaminti.



a)



b)

3 pav. Volframo karbido grūdeliai (0,45–0,63 mm) SEM vaizdas, 50 x; b) EDS spektrograma.

Sudėtis nustatyta EDS analize (%): W – 83,34, O – 8,54, C – 0,43, Al – 6,35, Fe – 1,34 (WC grūdų ir jų spektrograma, 3 pav.

Cheminės sudėtys ir kiti parametrai mažanglio ir nerūdijančiojo plieno vielos gamybai skirtų strypų, naudojamų suvirinimo elektrodams gaminti, yra pateikti 2 ir 3 lentelėse.

Įvairių WC ir anglies koncentracijų dangos įvairių WC ir anglies koncentracijų, gaunamos dėl tam tikro pasirinktos dangos formavimo įvorės skersmens (5,00, 5,50, 6,15, 6,80, 7,30, 7,80 mm). Grafito kiekis dangoje pasirinktas siekiant gauti didesnę matricą, kuri tinkama grūdinti (apie 0,7–1,0% anglies) (Jankauskas, 2014).

3 lentelė. Vielos tipų parametrai

Šerdies tipas (plienas)	Markė	Skersmuo, mm	Ilgis, mm	Masė, g
Mažanglis	Sv-08A, GOST 2246	3,21	3,52	22,48
Nerūdijantis	ER308L, AWS A5.9	3,23	3,50	22,17

Vielos strypų cheminė sudėtis pateikta 3 lentelėje.

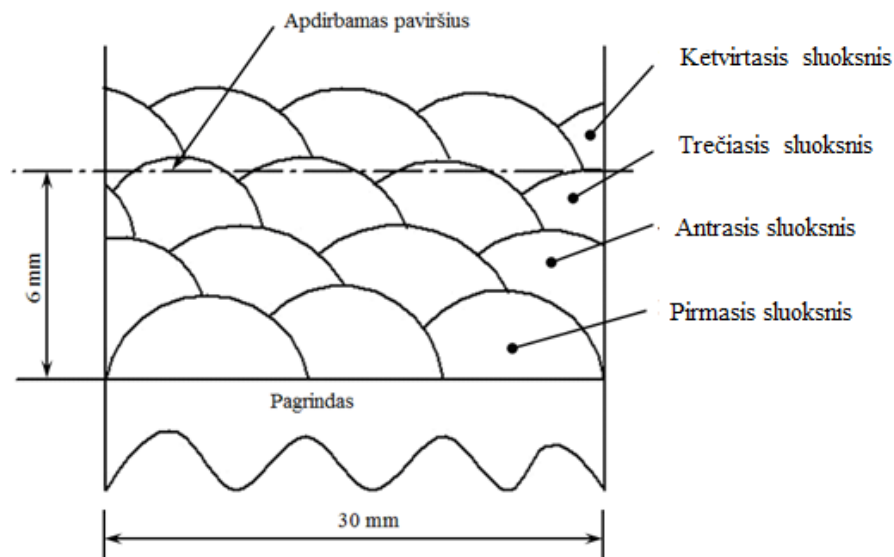
4 lentelė. Vielos strypų cheminė sudėtis, masės %

Markė	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Mo	Ni	W
Sv-08A	0,10	0,02	0,45	0,019	0,018	0,04	0,04	0,00	0,02	0,04
ER308L	0,03	0,03	1,90	0,022	0,08	0,013	19,54	0,11	9,9	0,00
*likęs kiekis - Fe										

Glaistas ruoštas eksperimentinėje 5 dm³ talpos maišyklėje. Mišinio homogeniškumui gauti komponentai 5 min sausai sumaišyti. ir 3 min. maišant surišti su natrio–kalio skystu stiklu. Elektrodai formuoti pramoniniu Oerlikon firmos presu 200–500 vnt./min. greičiu (priklauso nuo išorinio elektrodo skersmens). Pagaminti elektrodai aplinkos temperatūroje išlaikyti 24 val., kad nesukietėtų glaistas, po to elektrinėje džiovyklėje 1 val. 30 min. džiovinti 300 °C temperatūros sąlygomis, šią temperatūrą pasiekiant per 2 val.

Prilydyto metalo cheminei sudėčiai nustatyti, ant plieno SJ355 užvirinti 5 sluoksniai bandinių, kurie šlifuoti P60 rūpumo abrazyviniu popieriumi. Bandiniai apvirinti „Fronius MW2600“ nuolatine 115 A srove, naudojant elektrodus su nerūdijančiojo plieno šerdimi ar storesniu glaistu – 125 A.

Sukurtų elektrodų apvirinamumas vertintas 10 balų sistema (1 – neapvirinamas [gausu porų, šlako intarpų, nutrūkstanti siūlė, nestabilus lanko degimas, krateriai], 10 – puikiai suvirintas pagrindas, nėra porų). Apvirinimo nuoseklumas atliktas pagal schemą pateiktą 3 pav.



4 pav. Apvirinimo nuoseklumas

Prilydytų bandinių cheminė analizė buvo atliekama su „BELEC–compact–Lab–N“ spektroanalizatoriumi. Gautų dangų mikrostruktūra analizuota invertuotu medžiagotyuriniu mikroskopu „Eclipse MA – 100 (Nicon)“. Pagrindo mikrostruktūra analizuota „SEM Quanta 200 FEG“. Cheminė sudėtis patvirtinta X-ray energijos dispersiniu spektrometru „Bruker Xflash 5040 QUAD Detector“, sluoksnių kristališkumas X-ray difrakciometru „Bruker D8 su Cu K – alpha“.

Sluoksnių kietumas matuotas mikrokietmačiu „Micro combi tester“ ir Rokvelo kietmačiu „TK – 2M“. Bandiniai SEM, XRD tyrimams paruošti pagal standartines metodikas, nupoliruoti deimantine 3 μm pasta. Plieno matricos mėginiai ryškinti HCl-HNO₃ mišiniu (40 cm³ druskos rūgšties, 30 cm³ azoto rūgšties, 40 cm³ distiliuoto vandens), nerūdijančio plieno matricos – HNO₃-HF mišiniu (8 cm³ azoto rūgšties, 4 cm³ fluoro vandenilio rūgšties, 100 cm³ distiliuoto vandens)

Abrazyvinis suvirintų paviršiaus atsparumas dilimui buvo atliekamas pagal ASTM G132-96 (2007). Dilimas į nuolatinį abrazyvą buvo padarytas pagal standartą (taikant „kaištis – ant – cilindro“ schemą, su 28 N apkrova). Pagrindiniai buvo šie rodikliai: padavimas nuo 0,55 mm/aps su cilindru apsisukantis 63 min⁻¹ nudilusios trajektorijos 100 m. Cilindras, padengtas švitriniu popieriumi „Olympus“ abrazyvai Co, tipo KX167, P100 grūdų (vidutinis abrazyvinių Al₂O₃ dalelių dydis 160 mkm). Nusidėvėjimas yra vertinamas pasveriant bandinius su svarstyklėmis KERN EG 420-3nM (tikslumas 0,001 g) (Jankauskas, 2014).

2.2. TYRIMO REZULTATAI

Elektrodų gamybos rezultatai – skersmenys, masės ir glaisto masės koeficientai (GMK), pateikti 4 lentelėje. Suvirinti metalo mišiniai pateikiami 5 ir 6 lentelėse. Lankinio suvirinimo sluoksnių anglies kiekio kitimo diapazonas – 0,5 – 1,2 %. Didžiausias kiekis su grafito kiekiu (17 ir 18 mėginiai, 1 lentelė) neužtikrino maksimalios anglies koncentracijos lankinio suvirinimo sluoksniuose.

5 lentelė. Planuoti ir faktiškai gauti elektrodų skersmenys, masės ir glaisto masės koeficientai (GMK)

Pavyzdžio Nr.	Šerdis*	Elektrodo skersmuo		Elektrodo masė, g		Elektrodo GMK, %	
		Planas	Faktas	Planas	Faktas	Planas	Faktas
4	M	7,30	7,11	62,2	65,8	162	173
5	M	6,16	6,38	51,4	57,6	118	140
6	N	6,16	5,89	51,4	47,4	118	104
7	M	6,16	6,07	46,2	44,1	97	86
8	N	6,16	6,35	46,2	44,8	97	91
9	N	7,80	7,57	59,0	62,4	149	162
10	M	7,80	7,60	59,0	62,5	149	159
11	M	5,02	4,92	37,3	34,5	60	48
12	M	5,02	4,90	35,2	33,0	51	41
13	N	5,02	5,35	35,2	32,4	51	40
14	N	7,20	6,18	49,6	53,4	111	123
15	M	7,20	7,06	49,6	52,4	111	116
16	M	5,54	5,33	38,7	36,4	66	54
17	N	5,04	4,91	30,2	30,5	30	32
18	M	5,04	4,93	30,2	30,7	30	31
19	M	6,18	6,41	48,7	49,8	104	106
20	M	6,83	6,66	58,7	54,2	144	124
21	M	6,83	-	67, 7	-	186	-
22	N	6,83	-	67,8	-	186	-
23	N	6,83	6,66	61,3	61,7	156	159
24	N	6,83	6,63	55,8	50,3	132	111
25	N	5,37	5,37	41,7	38,4	76	64

M – Mažaanglio plieno vielos šerdis. N – nerūdijančiojo plieno vielos šerdis.

Dalis mėginių (4, 6, 10, 11, 16) dėl aplydomojo metalo sudėties panašumo į kitas dangas į tolimesnę tyrimų dalį neįtraukti.

Gryno prilydyto metalo sudėties rodikliai pateikti 5 ir 6 lentelėse. Apvirintų sluoksnių anglingumas kito nuo 0,5 iki 1,2 %. Kitimo priežastis buvo skirtinga volframo karbido koncentracija glauiste (didesnis WC kiekis didino įanglinimą).

6 lentelė. Elektrodo su mažanglio plieno šerdimi cheminės sudėties rodikliai, matricos mikrokietis, kietumas ir suvirinamumas

Bandinys	Cheminė sudėtis, %							H ₅₀ , GPa	H, HRC	Suvirinamumas
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	W			
5	<u>1,39</u> 0,91	1,26	0,55	0,18	0,11	0,05	<u>40,1</u> 35,7	7,04	57 (54–62)	6
20	<u>1,13</u> 1,0	1,41	0,84	0,11	0,04	0,05	<u>30,6</u> 33,9	4,64	59 (57–60)	7
19	<u>1,14</u> 1,0	1,32	0,92	0,10	0,04	0,04	<u>25,0</u> 23,3	8,59	57 (53–59)	7
7	<u>0,77</u> 0,85	1,60	1,02	0,10	0,04	0,05	<u>18,8</u> 20,6	6,1	60 (59–61)	7
15	<u>0,80</u> 1,45	2,32	1,48	0,29	0,19	0,06	<u>12,5</u> 14,0	5,93	57 (55–59)	6
12	<u>0,40</u> 0,81	0,79	0,76	0,07	0,03	0,02	<u>6,7</u> 7,6	4,09	30 (29–30)	10
18	<u>0,45</u> 1,0	0,82	0,89	0,07	0,02	0,03	<u>0,11</u> 0,0	5,21	22 (18–25)	10
<u>1,13</u> 1,0	skaitiklyje gautas, vardiklyje planuojamas anglies ir volframo kiekis									
P – 0,014–0,032 %; S – 0,021–0,077 %										

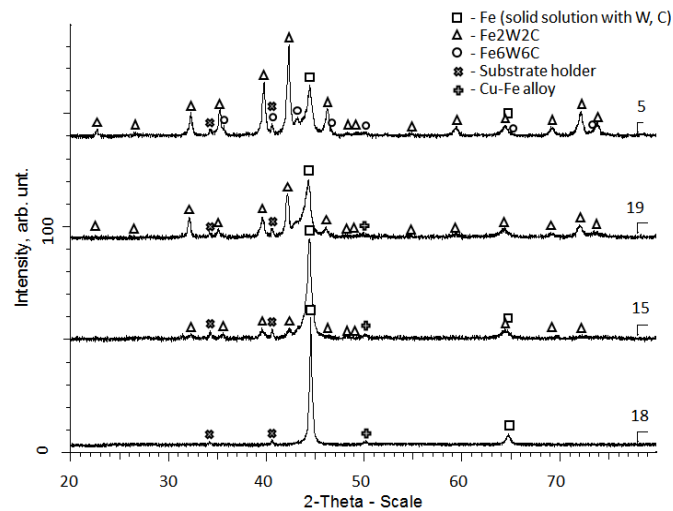
7 lentelė. Elektrodo su nerūdijančiojo plieno šerdimi cheminės sudėties rodikliai, matricos mikrokietis, kietumas ir suvirinamumas.

Bandinys	Cheminė sudėtis %							H ₅₀ , GPa	H, HRC	Suvirinamumas
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	W			
23	<u>1,67</u> 1,0	1,18	1,03	<u>10,7</u> 9,8	<u>7,9</u> 4,9	0,05	<u>39,3</u> 40,7	3,84	48 (46–53)	4
9	<u>0,97</u> 1,09	2.14	1.89	<u>11,6</u> 11,4	<u>5,8</u> 6,0	0,05	<u>32,8</u> 27,3	5,72	42 (41–43)	6
24	<u>0,94</u> 1,0	1,62	1,56	<u>13,0</u> 12,2	<u>8,6</u> 6,1	0,04	<u>24,6</u> 26,3	3,38	37 (32–42)	6
8	<u>0,84</u> 0,83	1,69	1,36	<u>14,0</u> 13,3	<u>6,6</u> 7,0	0,05	<u>21,4</u> 20,6	4,7	33 (28–40)	5
25	<u>0,90</u> 1,0	1,27	1,51	<u>14,5</u> 14,4	<u>8,9</u> 7,3	0,04	<u>16,3</u> 18,0	3,98	32 (27–35)	7
14	<u>1,18</u> 1,42	1,83	2,06	<u>14,0</u> 13,8	<u>7,1</u> 7,3	0,06	<u>11,9</u> 14,0	3,73	34 (34–35)	5
13	<u>0,48</u> 0,78	1,13	1,75	<u>17,3</u> 16,2	<u>8,1</u> 8,5	0,03	<u>8,1</u> 7,6	3,14	29 (20–37)	7
17	<u>0,63</u> 1,0	1,17	2,06	<u>18,4</u> 18,4	<u>10,2</u> 9,3	0,04	<u>0,3</u> 0,0	2,25	20 (17–25)	8
<u>1,67</u> 1,0	skaitiklyje gautas, vardiklyje planuojamas anglies ir volframo kiekis									
P – 0,012–0,045 %; S – 0,024–0,044 %										

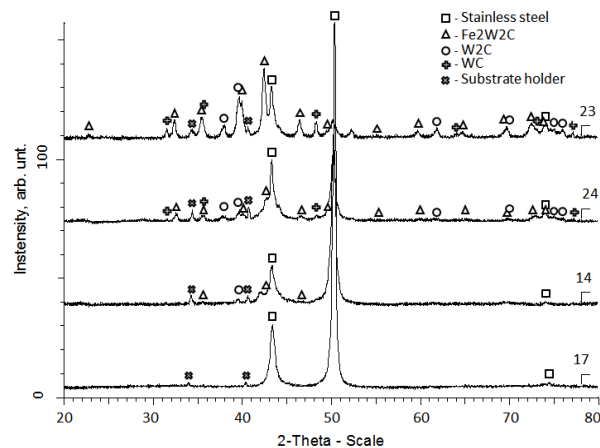
Atlikus cheminės sudėties tyrimą matosi, kad kai kurių elektrodo sluoksniuose buvo žemesnis anglies ir volframo karbido kiekis. Didelis WC kiekis lemia grafito tirpinimą išlydytame metale. Mažaanglio ir nerūdijančiojo plieno šerdies elektrodais privirintose dangose WC kiekis buvo apie 16–33 %, anglies kiekis – 0,8–1,2 %. Didelis volframo karbido kiekis greičiau absorbavo anglį iš grafito, dėl to anglies kiekis buvo šiek tiek didesnis nei reikalaujama. WC grūdelių kietumas buvo nuo 19,6 iki 24,4 GPa. Suvirinamumas blogėjo tada, kai buvo didinamas elektrodo skersmuo (dangos storis), WC koncentracija dangoje ar šerdis buvo pagaminta iš nerūdijančiojo plieno vielos.

Stipresne suvirinimo srove reikėjo lydyti elektrodus su didesnio storio danga ir (arba) su didesniu WC kiekiu. Rezultatas – perkaitinta elektrodo šerdis buvo, padididėjęs ištaškymas ir netinkamas elektros lankas. Be to, stipresnės suvirinimo srovės reikėjo nerūdijančio plieno vielai, nes ji yra atsparesnė kaitai, todėl buvo daugiau perkaitinta, palyginti su neanglingojo plieno viela. Suvirintų sluoksnių X-spindulių difrakcijos, gautos su skirtingomis vielomis, ir WC kiekiai pristatomi 5 pav. (a ir

b). Padidinus WC kiekį elektroduose su mažaanglio plieno viela, suvirintuose sluoksniuose padidėja geležies volframo karbido ($\text{Fe}_2\text{W}_2\text{C}$ ir $\text{Fe}_6\text{W}_6\text{C}$), bet taip pat sumažėja geležies su volframo ir anglies kietojo tirpalo ($\text{Fe}_{0,95}(\text{WC})_{0,05}$) lygis (Jankauskas, 2014).



a)



b)

5 pav. Elektrodų su mažaanglio (a) ir nerūdijančiojo plieno (b) šerdimis sluoksniuose gaunami XRD spektrai:

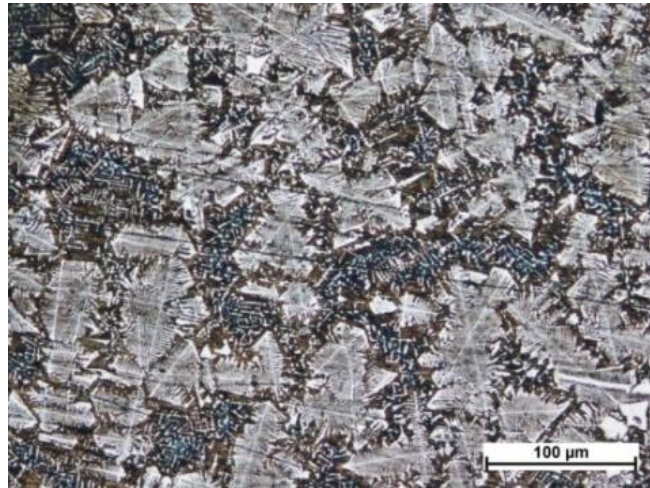
a) □ – kietasis Fe tirpalas su W ir C ($\text{Fe}_{0,95}\text{W}_{0,05}$), Δ – $\text{Fe}_2\text{W}_2\text{C}$, ○ – $\text{Fe}_6\text{W}_6\text{C}$

b) □ – nerūdijančiojo plieno ($\text{FeCr}_{0,29}\text{Ni}_{0,16}\text{C}_{0,06}$)

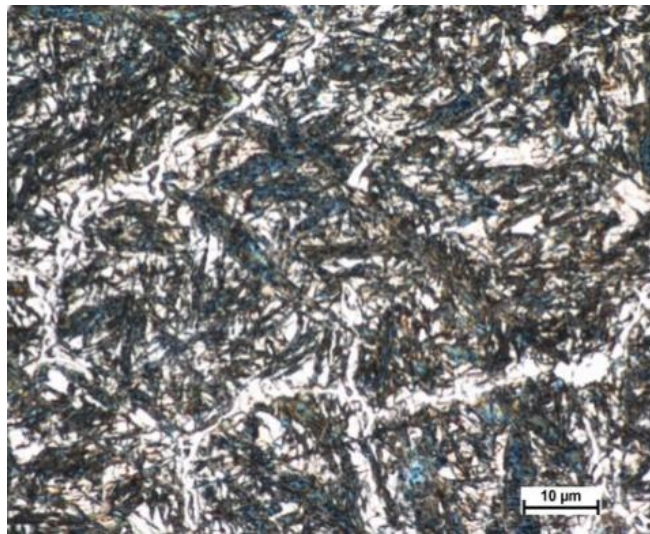
Δ – $\text{Fe}_2\text{W}_2\text{C}$, ○ – W_2C , ⊕ – WC.

Nerūdijančiojo plieno vielos mikrokietumas, suvirinus elektros lanku, sluoksniuose buvo nuo 2,25 iki 5,72 GPa. WC ir C buvimas turėjo didelę įtaką sluoksnių suvirinimui elektros lanku, elektroduose su mažaanglio plieno viela, matricos mikrokietumui. Matrica su didžiausia koncentracija šių elementų (5 bandinio) buvo 7,04 GPa mikrokietumo, o matrica su mažiausiu kiekiu (18 bandinys) turėjo 5,21 GPa mikrokietumą (5 ir 6 lentelėse). Didesnis 5 bandinio mikrokietis gali būti paaiškinamas

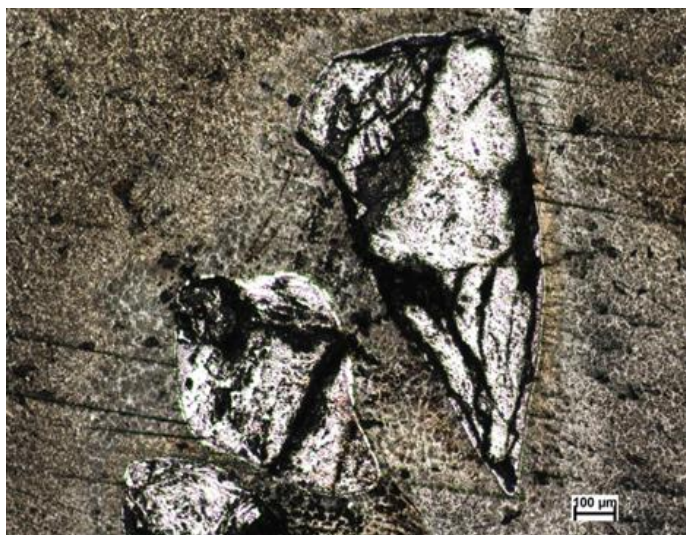
susiformavusių smulkių dendritų ir daug mažų, tolygiai paskirsčiusių karbidų mikrostruktūromis. Mikrostruktūros sluoksniai, gauti su mažo anglio plieno vielos pagrindu elektrodais (optinės mikroskopijos) pateikiamos 3 paveikslė. Jei suvirintame sluoksnyje yra daugiau WC, tada jis turi didesnę karbido fazę. WC dalelės turi gerą kontaktą su matrica – nes yra apsupti 10 – 15 μm lydymosi / difuzijos zonos (6 pav. c ir d). 15 bandinyje yra gauta labai plona adatinė struktūra – kaip martensitinė struktūra (3 pav., b). Visaapimantis mikrostruktūros dydis turėjo įtakos panaikinant Mn.



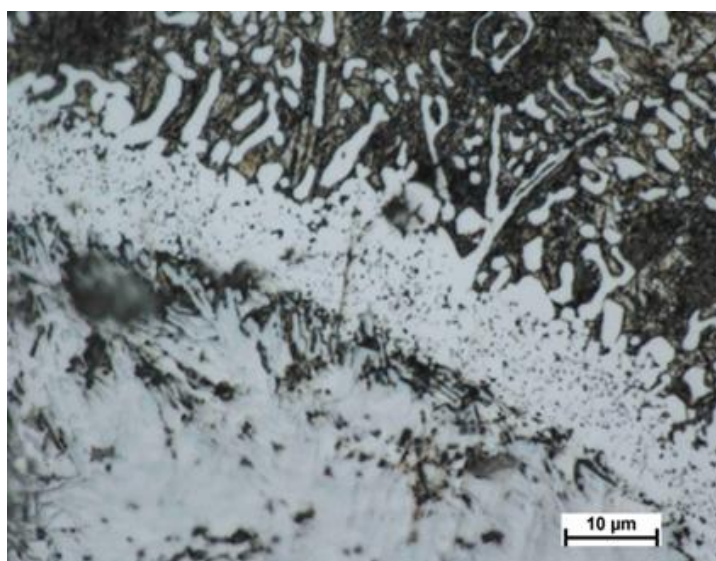
a)



b)



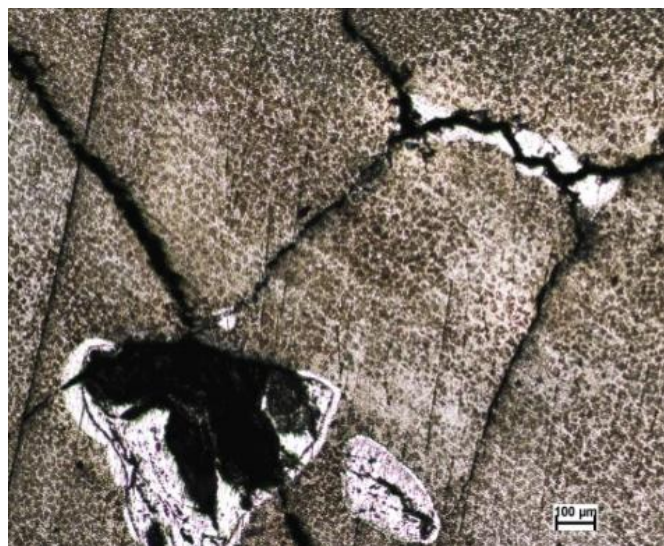
c)



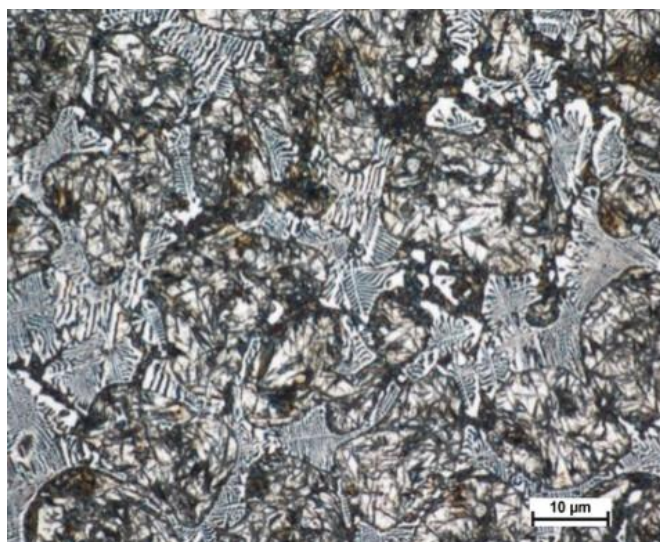
d)

6 pav. Gauta sluoksnių mikrostruktūra su mažanglio plieno šerdies elektrodais: a) 5 bandinio matrica; b) 15 bandinio; c) 15 bandinio WC dalelės; d) 19 bandinio WC dalelės ir matrica 10–15 μm, suvirinimo / difuzijos zona.

Iš dalies ištirpus WC dalelėms išlydytoje metalinėje suvirintų sluoksnių vonelėje, susidarė geležies ir volframo karbidai ($\text{Fe}_2\text{W}_2\text{C}$ ir $\text{Fe}_6\text{W}_6\text{C}$). Pati geriausia mikrostruktūra buvo suformuota 19 bandinio (7 pav.). Šios struktūros mikrokietis yra didžiausias iš visų bandinių – 8,59 GPa. Pagrindiniai šios struktūros defektai yra labai dideli mikroįtrūkimai (7 pav., a). Tarp įtrūkimų (matricoje) susiformavo mišri struktūra, sudaryta iš adatinio martensito ir dendrito (7 pav., b). Tokie struktūriniai elementai paaiškina aukštą 19 bandinio mikrokietį. Dendritai susiformavo dėl didesnio volframo kiekio lydinyje (Jankauskas, 2014).



a)



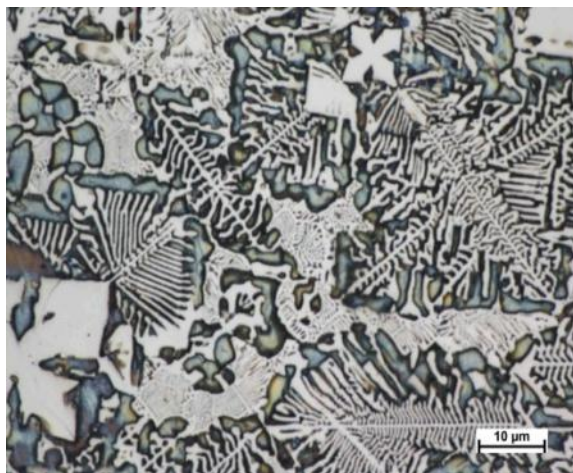
b)

7 pav. 19 bandinio mikrostruktūra, gauta su mažanglio plieno vielos elektrodais (a ir b skiriasi priartiniu).

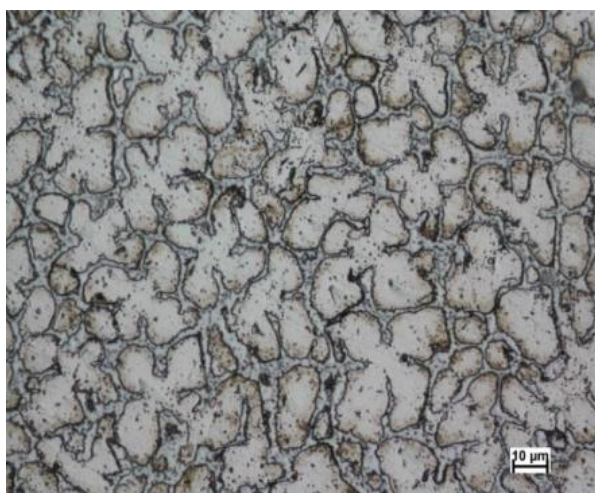
Elektrodai su nerūdijančiojo plieno branduolio viela lėmė matricinių sluoksnių, susidedančių iš austenitinio plieno (8 pav.) sudarymą. 23 pavyzdžio mikrostruktūra buvo dendritas, turintis savyje sudarytas iš įvairaus dydžio karbidų, tikėtina priežastis – dėl didelio W turinio matricioje / tirpale. Šios struktūros kietumas yra daug mažesnis negu analogiškų volframo kiekių struktūrose, nes Cr ir Ni kiekis matricioje yra didelis. Pagrindinis šios struktūros defektas – didelis skaičius įtrūkimų.

Grafito kiekis glaiste skyrėsi apie tris kartus (2 lentelė). Nustatyta tiesioginė priklausomybė tarp volframo ir anglies kiekio mikrostruktūroje – ir mažanglio plieno, ir nerūdijančiojo plieno viela suvirintuose sluoksniuose (8 pav.). Įvykdytas abrazyvinis dilimo testas parodė tiesioginę įtaką volframo kiekio bandomajame sluoksnyje (9 pav.). Buvo nustatyta, kad mažanglio plieno dilimą žymiai sumažina vos 10–13 % didėjantis volframo kiekis. Įdomu, kad didesnis volframo kiekio padidėjimas beveik neturi

jokios įtakos dilimui. Ištirti nerūdijančiojo plieno sluoksniai parodė dilimo mažėjimą: sumažėjęs dilimas gali būti pasiektas su 20 % volframo kiekiu, o didelis atsparumas dilimui nuo 40 % W. (Jankauskas, 2014).

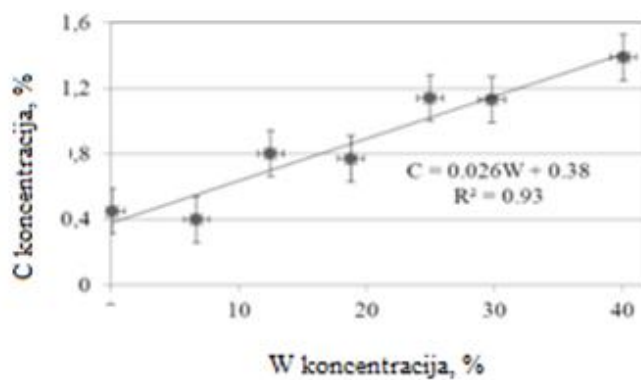


a)

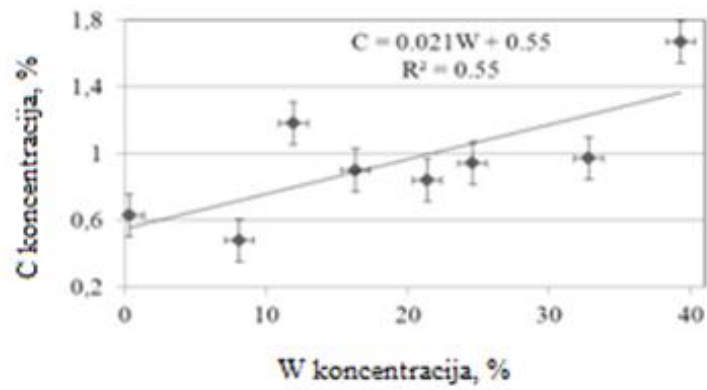


b)

8 pav. Mikrostruktūra, gauta su nerūdijančiojo plieno šerdimi elektrodais: a) 23 bandinys, b) 8 bandinys.

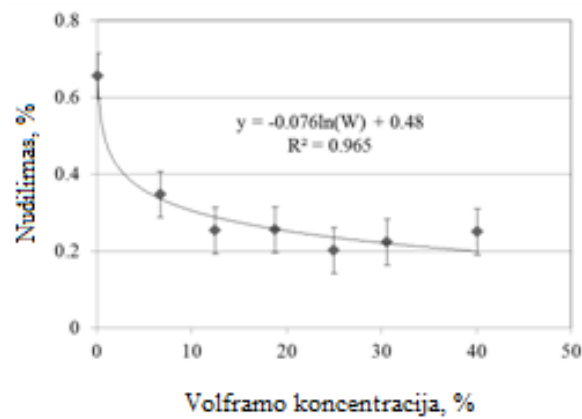


a)

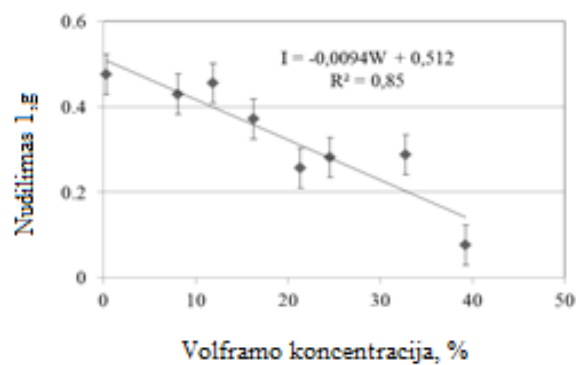


b)

9 pav. Volframo ir anglies kiekio sluoksninio suvirinimo elektros lanku priklausomybė: a) mažaanglio plieno, (b) nerūdijančiojo plieno



a)



b)

10 pav. Lankinio suvirinimo sluoksnių dilimas: (a) mažaanglio plieno viela, (b) nerūdijančiojo plieno viela

IŠVADOS

Magistro darbe sukurtų Fe–C–WC ir Fe–C–Cr–Ni–WC elektrodų suvirinamumo savybės yra vidutiniškos arba labai geros.

Naudojant rankinius elektrolankinius suvirinimo elektrodus su WC milteliais buvo pagaminti sudėtiniai sluoksniai, kuriuose didžiausia volframo koncentracija – 40 %. Taip buvo pagaminti sudėtiniai sluoksniai, kurių didžiausia volframo koncentracija 40 % masės (pagal spektrinę analizę), arba apie 20 % WC (pagal optinį mikroskopą), naudojant rankinius suvirinimo elektrodai su WC milteliais.

Geras sukibimas buvo pasiektas tarp matricos fazės ir WC grūdų difuzijos zonos formavimosi vietoje. Dangos pagamintos iš didelės koncentracijos WC dalelių ir anglies plieno matricos buvo sudarytos iš geležies kietojo tirpalo ($\text{Fe}_{0.95}(\text{WC})_{0.05}$), ($\text{Fe}_2\text{W}_2\text{C}$ and $\text{Fe}_6\text{W}_6\text{C}$) buvo labai kieti (4,1–8,6 GPa). Dangose, pagamintose iš nerūdijančiojo plieno sluoksnių matricos, turinčiose karbidų ($\text{Fe}_2\text{W}_2\text{C}$, W_2C ir WC) turėjo mažesnį mikrokietumą 3,4–3,8 GPa.

Gali būti daroma prielaida, kad dangos, gaunamos iš mažaanglio plieno vielos elektrodų ir turinčios aukštą matricos kietumą (iki 8,59 GPa), užtikrins puikias tribunometrines savybes, t. y. atsparumo dilimą. Nikelio kiekis turi būti padidintas matricoje dėl tikėtino karbidų sudarymo su Cr ir C matricoje. Atsižvelgiant į kubinės paviršiaus centruotą (KPC) struktūrą, Ni yra palyginti minkštesnis. Šiuo atveju, nikelio būvimas nėra pageidautinas, išskyrus Cr matricoje. Didelis W kiekis taip pat gali būti problemos šaltinis.

LITERATŪRA

Apie volframo karbidą [interaktyvus], [žiūrėta 2014-05-02] Prieiga per internetą <<http://ogrings.blogas.lt/apie-volframo-karbida-nuo-a-iki-z-45.html>>

Ambroza, P.; Kazlauskaitė L. 2012. *Medžiagų sandaros ir savybių tyrimas*. Kaunas: Technika.

Bendikas, J. 2007. *II.2.02 Pagrindinio metalo ir suvirintųjų jungčių bandymai*. Suvirinimo darbų koordinatorių kvalifikacinių reikalavimų ir mokymo programa. Modulis 2: Medžiagos, jų savybės ir suvirinamumas. Vilnius. 33 p.

Jankauskas, V.; Varnauskas, V.; Skirtkus, R.; 2014 Composite Surface Coatings Produced By Manual Arc Welding Electrodes Containing Tungsten Carbide. *Materials science*.

Detalių restauravimas ir jų kietinimas panaudojant antrines žaliavas [interaktyvus], [žiūrėta 2013-11-02] Prieiga per internetą <<http://www.structum.lt/susid278v278jusi370-detali370-restauravimas-ir-kietinamasis-aplydymas-panaudojant-antrines-381aliavas.html#.UpMLx9IW3Kg>>.

Gruzdis, E.; Meškinis, Š.; Juraitis, A.: 2009 *Influence of WC / Co Concentration on Structure and Mechanical Properties of the Thermally Sprayed WC / Co-NiCrBSi Coatings*. *Materials Science* 15:35–39.

Influence of Covering Components of Welding Electrodes on Chemical Composition and Mechanical Properties of Fused Metal. 2004 *Materials science*. Vol 10, No. 1.

Jankauskas, V.: 2008. *Trinties porų dilimo procesai habilitacijos procedūrai teikiamų mokslų darbų apžvalga*. Kaunas: Technika.

Kompozitinių medžiagų su volframo karbidu, gaunamų rankiniu elektrolankiniu metodu, kūrimas ir tyrimas. 2013 *Materials science*.

Lee, K. H.; Cha, S. I.; Kim, B. K.; Hong, S. H.; 2006 Effect of WC/TiC Grain Size Ratio on Microstructure and Mechanical Properties of WC–TiC–Co Cemented Carbides. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials* 24:109–114.

Gedzevičius, I.; 2007. *I.1.09 MMA suvirinimas*. Suvirinimo darbų koordinatorių kvalifikacinių reikalavimų ir mokymo programa. Modulis 1: Suvirinimo procesai ir įranga. Vilnius. 23 p.

Valiulis, A. V.: 2007. *Legiruotieji plienai ir jų suvirinimas*. Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius: Technika.

Varnauskas, V. 2008. *Atsparių dilimui apvirintų paviršių formavimas ir tyrimas. Daktaro disertacijos santrauka*. Vilnius: Technika.

Varnauskas, V.; Valiulis, A. V.; Rudzinskas, V.: 2008 *Investigation of Alloy Elements Transfer in Arc Facing by High Carbon and Chromium Content Electrodes*. Solid State Phenomena: Mechatronic Systems and Materials II 144:257–260

PRIEDAI