



## PLIENO X6CRNiTi18-10, EKSPLOATUOJAMO AZOTO RŪGŠTIES TERPĖJE, VIRINTINIŲ JUNGČIŲ TECHNOLOGINIŲ SAVYBIŲ TYRIMAS

Gediminas MIKALAUSKAS<sup>1</sup>, Olegas ČERNAŠĖJUS<sup>2</sup>

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva*  
*El. paštas: <sup>1</sup>g.mikalauskui@gmail.com; <sup>2</sup>olegas.cernasejus@vgtu.lt*

**Santrauka.** Atliekant chemijos pramonės įrenginių remontą, dažnai tenka pakeisti ilgą laiką eksploatuotus vamzdžius ar įvirinti analogiškos cheminės sudėties intarpus. Tyrimo metu suvirintų jungčių bandomieji pavyzdžiai iš korozijai atsparaus plieno X6CrNiTi18-10 buvo suvirinti rankiniu lankiniu būdu glaistytaisiais elektrodais (111 MMA procesas) ir lankiniu suvirinimu volframo elektrodu inertinėse dujose (141 TIG procesas), esant skirtingiems suvirinimo režimų parametrams. Suvirintiems bandiniams buvo atlikta vizualinė, radiografinė, spalvinė kontrolė, nustatytas išsiskyrusio ferito kiekis. Iš suvirintų ruošinių buvo pagaminti skersinio tempimo, lenkimo bandiniai, taip pat atlikti virintinių jungčių makroskopinis ir mikroskopinis tyrimai.

**Reikšminiai žodžiai:** chromnikelinis plienas, suvirintos jungtys, korozija, neardomoji kontrolė, mechaniniai bandymai.

### Įvadas

Chemijos pramonėje plačiai vykdomi remonto darbai, iš jų pagrindinį vaidmenį atlieka suvirinimas. Gera suvirinimo technologija ir kokybiškų medžiagų parinkimas padeda kelti darbo našumą, gerinti produkcijos kokybę, kuriai reikavimai pastaruoju metu žymiai padidėjo. Suvirinimas dažnai taikomas potencialiai pavojingų ir svarbių konstrukcijų gamybos procese, todėl, siekiant užtikrinti reikiamą kokybę ir priežiūrą gamybos metu, reikalaujama koordinuoti visas suvirinimo operacijas (Kumar *et al.* 2015; Valiulis 2007).

Suvirinimas elektra yra plačiai naudojamas įvairiose šalies ūkio srityse, nes tai patikimas metalų sujungimo būdas. Plačiausiai naudojami suvirinimo būdai yra rankinis lankinis suvirinimas lydžiuoju elektrodu (111 MMA) ir lankinis suvirinimas nelydžiuoju volframo elektrodu inertinėse dujose (141 TIG). Šie būdai naudojami vamzdynamics, kurių sienelės storis 6 mm, suvirinti. Tokio storio vamzdynamics elementų chemijos pramonėje naudojama daug, juos paruošti suvirinimui reikia kruopščiai. Vamzdynamics elementus reikia virinti paruošus suvirinimo briaunas. Pagrindinis metalas ir virintinės jungties metalas eksploatuojant turi būti atsparus korozijai, kadangi vamzdynamics eksploatuojamas agresyvioje terpėje. Sudėtingos ir sunkios darbo sąlygos lemia chromnikelinio plieno suvirinimo ypatumus, todėl X6CrNiTi18-10 plienui turi būti parinkti optimalūs suvirinimo parametrai, norint išvengti žalingų veiksnių eksplo-

atuojant (Rao, Deivanathan 2014; Feng *et al.* 2015; Garcia *et al.* 2008).

Gaminiai iš šio plieno naudojami azoto rūgšties vamzdynamics tiesti, šaldytuvams ir kitiems chemijos pramonės įrenginiams.

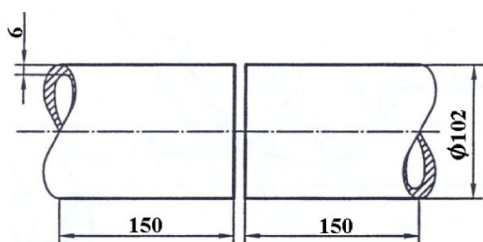
### Tyrimų eiga

Virintinių jungčių kokybės tyrimą apibrėžia standartas ISO 15614-1:2004. Tyrimams panaudotas eksperimentinis stendas (indas) ir suvirinimo bandiniai pagaminti iš plieno X6CrNiTi18-10. Šiame chromnikeliniam plienui yra iki 0,08 % anglies, silicio iki 1,0 %, mangano iki 2,0 %, chromo 17,0 – 19,0 %, fosforo iki 0,045 %, sieros iki 0,015 %, nikelio 9,0 – 12,0 %, titano iki 0,7 %.

Norint įsitikinti, kad mūsų naudojamo chromnikelinio plieno cheminė sudėtis atitinka standartą LST EN 10027-1, buvo atlikta cheminė analizė, naudojant spektroanalizatorių „ARC-MET 8000“ ir vadovaujantis standartu LST CR 10320:2006.

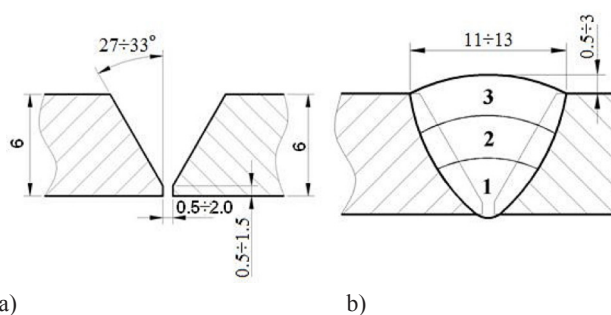
Tiriama plieno mechaninėms savybėms nustatyti iš vamzdynamics ruošinio, buvo išpjauti bandiniai. Bandiniai pagaminti remiantis standartais LST EN ISO 377:2013 ir LST EN ISO 6892-1:2009.

Suvirinimo bandiniai paruošti pagal standartą LST EN ISO 15614-1:2004 (1 pav.).



1 pav. Suvirinimo bandinio schema (matmenys mm)  
Fig. 1. The scheme of welding sample (dimensions in mm)

Bandiniai buvo suvirinti UAB „Irems“ bazėje. Vamzdžių paviršius 20 mm atstumu nuo elementų briaunų kraštų buvo nušlifluotas iki metalinio blizgesio, nuvalyti nešvarumai ir riebalai. Vamzdyno bandinių paruošimo ir suvirinimo schema pateikta antrame paveiksle.



2 pav. Jungties paruošimo (a) ir suvirinimo (b) schema (matmenys mm): 1, 2, 3 – suvirinimo ėjimų eiliškumas  
Fig. 2. The scheme of joint preparation (a) and welding (b) (dimensions in mm): 1, 2, 3 – steps of welding

Ruošiniai, kurių skersmuo  $\varnothing 102 \times 7$  mm, ir indas buvo suvirinti panaudojant 111 ir 141 suvirinimo procesus.

**Bandinys Nr. 1.** Suvirinimo padėtis žemutinė (PA), suvirintas 141 procesu, suvirinimo viela BÖHLER SAS IG, virinta trim ėjimais, vielos skersmuo  $\varnothing 2,0$  mm, srovės poliškumas DC (+), suvirinimo srovė  $104 \pm 200$  A, įtampa 10–13 V.

**Bandinys Nr. 2.** Suvirinimo padėtis žemutinė (PA), suvirintas kombinuotu būdu (MMA+TIG), suvirinimo viela BÖHLER SAS IG, suvirinimo elektrodai BÖHLER FOX SAS 2-A, virinta trim ėjimais, vielos skersmuo  $\varnothing 2,0$  mm, o elektrodai  $\varnothing 2,5$  mm, srovės poliškumas DC (+), suvirinimo srovė  $57 \pm 112$  A, įtampa 10–21 V.

**Bandinys Nr. 3.** Suvirinimo padėtis žemutinė (PA), suvirintas 111 procesu, elektrodai BÖHLER FOX SAS 2-A, virinta trim ėjimais, elektrodo skersmuo  $\varnothing 2,5$  mm, srovės poliškumas DC (+), suvirinimo srovė  $80 \pm 90$  A, įtampa 23–24 V.

**Bandinys Nr. 4.** Suvirinimo padėtis žemutinė (PA), suvirintas 111 procesu, elektrodai BÖHLER FOX SAS 2-A, virinta trim ėjimais, elektrodo skersmuo  $\varnothing 2,5$  mm, srovės poliškumas DC (+), suvirinimo srovė 50 A, įtampa 21 V.

**Bandinys Nr. 5.** Suvirinimo padėtis žemutinė (PA), suvirintas 141 procesu, suvirinimo viela BÖHLER SAS IG, virinta trim ėjimais, vielos skersmuo  $\varnothing 2,0$  mm, srovės poliškumas DC (+), suvirinimo srovė  $90 \pm 115$  A, įtampa 10–13 V.

Eksperimentinio stendo elementai (žiedo forma) buvo suvirinti pagal tuos pačius suvirinimo režimus, kaip ir suvirinimo bandiniai.

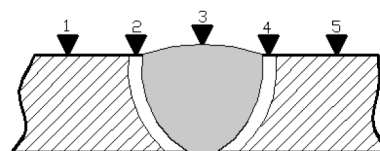
Norint užtikrinti aukščiausią virintinių jungčių kokybę, buvo parengtas kokybės kontrolės planas, pagal kurį buvo atlikti ardomieji ir neardomieji tyrimai. Virintinių jungčių (bandinių) technologijai patikrinti buvo atlikti šie tyrimai: apžiūrimoji kontrolė (kontrolės apimtis 100 %), spalvinė kontrolė skverbikliais (kontrolės apimtis 100 %), radiografinė kontrolė (kontrolės apimtis 100 %), ferito kiekio nustatymas (5 taškai kiekvienai virintinei jungčiai), skersinio tempimo bandymai (po 2 bandinius kiekvienai virintinei jungčiai), skersinio lenkimo bandymai (po 2 bandinius kiekvienai virintinei jungčiai), makroskopinis ir mikroskopinis tyrimai (po 1 bandinį kiekvienai virintinei jungčiai).

**Apžiūrimoji kontrolė.** Po suvirinimo, bandiniams buvo atlikta apžiūrimoji kontrolė (VT) pagal standartą LST EN ISO 17637:2011, o defektų įvertinimas pagal standarto LST EN ISO 6520-1:2007 lygmenį B.

**Spalvinė kontrolė skverbikliais.** Suvirinimo jungčių kokybei ir defektams nustatyti buvo atlikta spalvinė defektoskopija skverbikliais (PT). Spalvinė defektoskopija skverbikliais buvo atlikta pagal standartą LST EN ISO 3452-1:2013, o įvertinimas pagal standartą LST EN ISO 23277:2010 lygmenį 2.

**Radiografinė kontrolė.** Vidinių defektų kontrolei buvo atlikta radiografinė kontrolė (RT). Radiografinis metodas buvo atliktas pagal standarto LST EN ISO 17636-1:2013 klasę B, o įvertinimas pagal LST EN ISO 10675-1:2013 lygmenį 1.

**Ferito kiekio matavimai.** Suvirintuose bandiniuose buvo matuojamas ferito kiekis feritometru FISHER FMP30 pagal kalibravimo etalonus WRC 0,3/80 (3 pav.). Matavimai buvo atlikti vadovaujantis standartu LST EN ISO 8249:2000.



3 pav. Suvirintų bandinių ferito kiekio matavimo schema:  
1 – pagrindinis metalas, 2 – terminio poveikio zona, 3 – suvirinimo siūlė, 4 – terminio poveikio zona, 5 – pagrindinis metalas

Fig. 3. The scheme of ferrite content measurement of welded samples: 1 – base metal, 2 – heat-affected zone, 3 – the weld, 4 – heat-affected zone, 5 – base metal

**Skersinio tempimo bandymas.** Suvirintiems bandiniams buvo atliktas skersinio tempimo bandymas pagal LST EN ISO 4136:2013. Šis standartas nurodo skersinio tempimo bandinių matmenis ir bandymo procedūrą suvirintų sandūrinių jungčių skersinio tempimo stiprumui ir trūkio vietai nustatyti. Iš nagrinėjamų vamzdžių buvo išpjautos juostelės 12×6 mm skersai suvirintos jungties po 2 bandinius tempimo bandymams. Virintinių jungčių šaknies ir rumbelės metalas buvo pašalintas iš abiejų pusių. Skersinio tempimo bandiniai pateikti 4 paveiksle.



4 pav. Skersinio tempimo bandiniai  
Fig. 4. The specimens of transverse tensile test

**Skersinio lenkimo bandymas.** Buvo atlikti skersinio lenkimo bandymai pagal standartą LST EN ISO 5173:2013. Iš nagrinėjamų vamzdžių buvo išpjautos juostelės 12×6 mm skersai suvirintos jungties po 4 bandinius lenkimo bandymams. Virintinės jungties šaknies ir rumbelės metalas buvo pašalintas iš abiejų pusių (5 pav.).



5 pav. Lenkimo bandymo bandiniai  
Fig. 5. The samples of bending test

**Makroskopinis ir mikroskopinis tyrimas.** Virintinių jungčių makroskopinį ir mikroskopinį tyrimą reglamentuoja standartas LST EN ISO 17639:2013. Šis standartas nurodo makroskopiniam ir mikroskopiniam tyrimui taikomus bandinių ruošimo metodus ir procedūras. Makroskopinio ir mikroskopinio tyrimo bandymas buvo atliktas su bandiniais, išpjautais statmenai siūlės ašiai ir apimančiais siūlę bei terminio poveikio sritį iš abiejų siūlės pusių. Bandiniai buvo šlifuojami, poliruojami, po to ęsdinami ęsdikliu HNO<sub>3</sub> + HCl (konc. 1:3). Korozinis atsparumas buvo tiriamas azoto rūgšties terpėje, esant darbinei 60–100 °C temperatūrai.

## Tyrimų rezultatai

Atlikus spektrinę analizę, buvo nustatyta tiriamo chromnikelinio plieno cheminė sudėtis. Tyrimo rezultatai pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė. Chromnikelinio plieno cheminės sudėtis tyrimo rezultatai

Table 1. The test results of the chemical composition of chromium-nickel steel

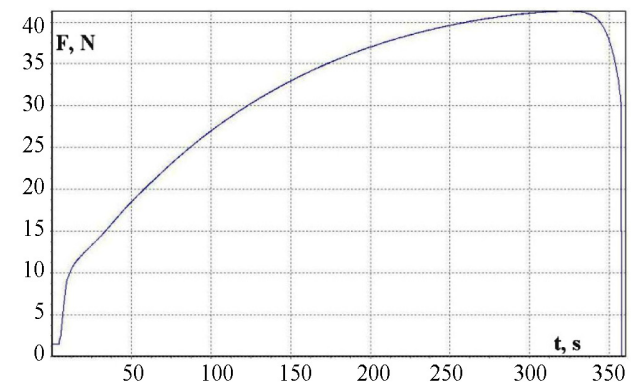
Cheminis elementas	%
Anglis (C)	0,087
Silicis (Si)	0,524
Manganas (Mn)	1,273
Chromas (Cr)	18,28
Nikelis (Ni)	10,02
Molibdenas (Mo)	0,172
Varis (Cu)	0,155
Titanas (Ti)	0,597
Aliuminis (Al)	0,085
Siera (S)	0,016
Fosforas (P)	0,035
Geležis (Fe)	likusi dalis

Įsitikinus, kad tiriamo chromnikelinio plieno cheminė sudėtis atitinka keliamus reikalavimus ir galimas atitinkmuo yra X6CrNiTi18-10, buvo atlikti šio plieno standartinių bandinių mechaniniai bandymai. Tyrimo rezultatai pateikiami 2 lentelėje ir 6 paveiksle.

2 lentelė. Chromnikelinio plieno mechaninių savybių tyrimo rezultatai

Table 2. The test results of the mechanical properties of chromium-nickel steel

Stiprumo riba R <sub>m</sub> , MPa	Takumo riba R <sub>e</sub> , MPa	Santykinis pailgėjimas po trūkio A, %
592,1	230	44,1

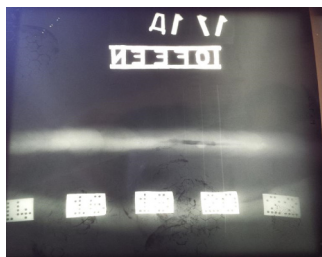


6 pav. Chromnikelinio plieno statinio tempimo bandymo grafikas

Fig. 6. The diagram of the static tensile test of chromium-nickel steel

Atlikus suvirintų bandinių vizualinę apžiūrą, buvo pastebėta, kad virinant didesnių srovių režimu išskyla sunkumų bandant suformuoti tinkamą siūlės šaknį ir rumbelę dėl labai tokios suvirinimo vonelės ir galimo pagrindinio metalo pradeginimo (ar įpjovų susidarymo). Neleistinų defektų nebuvo surasta, todėl, vadovaujantis kokybės kontrolės planu, bandinių kokybės kontrolė buvo tęsiama kitu būdu. Atlikus suvirintų bandinių spalvinę kontrolę skverbikliais, nepastebėta jokių paviršinių defektų (įtrūkimų, porų ir t. t.).

Taikant radiografinę defektoskopiją, buvo atlikta virintinių jungčių vidinių defektų kontrolė. Vidiniai defektai buvo aptikti bandinyje Nr. 3 (7 pav.). Buvo nustatyta, kad yra nepakankamas siūlės įvirinimas (402 defektas pagal LST EN ISO 5817:2007).



7 pav. Bandinio Nr. 3 rentgenograma  
Fig. 7. The radiography of specimen No. 3

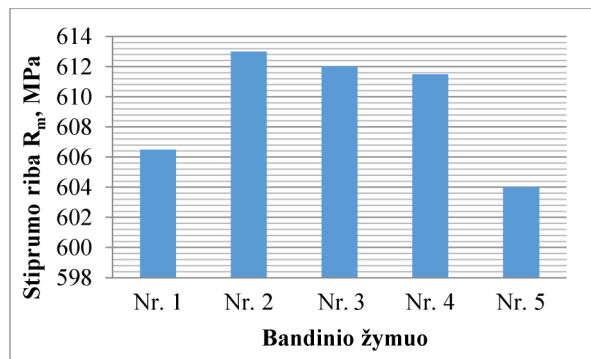
Atlikus virintinių jungčių metalo  $\delta$ -ferito kiekio tyrimus pastebėta, kad mažiausias  $\delta$ -ferito kiekis yra pagrindiniame metalo, o didžiausias – siūlės metalo (4 lentelė). Siūlės metalo daugiausiai  $\delta$ -ferito susiformuoja TIG būdu suvirintuose bandiniuose (nuo 8,8 iki 9,3 %), o mažiausiai – MMA būdu suvirintuose bandiniuose (nuo 5,9 iki 7 %).

4 lentelė. Suvirintų bandinių siūlės ir pagrindinio metalo ferito kiekio matavimų rezultatai

Table 4. The results of the ferrite content measurements of weld and base metal

Bandinio žymuo	Ferito kiekis %				
	Matavimo taškas				
	1	2	3	4	5
Nr. 1	<0,10	0,41	8,80	0,58	<0,10
Nr. 2	<0,10	0,31	4,90	0,23	<0,10
Nr. 3	0,14	0,30	5,90	0,25	0,17
Nr. 4	0,13	0,23	7,00	0,39	<0,10
Nr. 5	<0,10	0,20	9,30	0,20	<0,10

Atlikus tempimo bandymus (suvirintų bandinių ir pagrindinio metalo), pastebėta, kad virintinių jungčių ir pagrindinio metalo mechaninių savybių reikšmės yra panašios, o virinant kombinuotu būdu (šaknis TIG, perdengimas MMA, bandinys Nr. 2) buvo gauti geriausi skersinio tempimo rezultatai ( $R_m = 613$  MPa) (8 pav.).

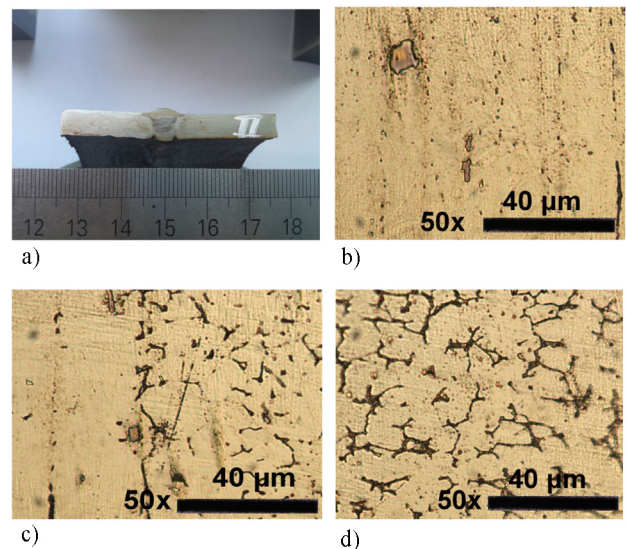


8 pav. Suvirintų bandinių skersinio tempimo bandymo rezultatai

Fig. 8 The results of the transverse tensile test of welded samples

Atlikus lenkimo bandymus, visuose bandiniuose neleistinų defektų ar įtrūkimų nebuvo pastebėta, todėl galima sakyti, kad srovės stipris technologinio suvirinamumo nepablogina.

Atlikus korozinio atsparumo tyrimą, buvo nustatyta, kad X6CrNiTi18-10 plieno bandiniai, suvirinti TIG būdu, buvo patys neatspariausi koroziniam atžvilgiu. Išmatavus terminio poveikio zonos išgraužų gylius, pastebėta, kad stipriausiai korozijos paveikti yra tie bandiniai, kurie buvo suvirinti TIG būdu (esant didesnių srovių režimui, bandinys Nr. 1 – išgraužimo gylis 1,8–2,0 mm; esant mažesnių srovių režimui, bandinys Nr. 5 – išgraužimo gylis 1,4–1,5 mm). Bandiniai, kurie buvo suvirinti MMA būdu, buvo mažiau korozijos paveikti (esant didesnių srovių režimui, bandinys Nr. 3 – išgraužimo gylis 1,0–1,2 mm; esant mažesnių srovių režimui, bandinys Nr. 4 – išgraužimo gylis 0,5–0,7 mm).



9 pav. Suvirinto bandinio Nr. 2 makro ir mikrostruktūra: a) makrošlifas, b) pagrindinio metalo sritis, c) sulydymo linijos sritis, d) suvirinimo siūlės sritis

Fig. 9. The macro- and microstructure of welded sample No. 2: a) the macrostructure b) the area of base metal, c) the area of fusion line, d) the area of welded joint

Atlikus virintinių jungčių makroskopinius tyrimus buvo pastebėta, kad plačiausia terminio poveikio (1,4–1,7 mm pločio) yra zona gaunama virinant bandinį Nr. 2 (kombinuotas suvirinimas), o siauriausia (0,6–0,8 mm pločio) virinant bandinį Nr. 4 (MMA būdu, esant mažoms srovėms) (9 pav. a).

Suvirintų X6CrNiTi18-10 plieno bandinių mikrostruktūros tyrimo metu buvo nustatyta, kad pagrindinio metalo mikrostruktūrą sudaro austenitas su nedideliu iki 1 %  $\delta$ -ferito kiekiu (9 pav. b). Siūlės metalė formuojasi dendritai, kurie lemia dendritinės likvacijos atsiradimą (9 pav. c, d).

## Išvados

1. Tiriamų suvirintų bandinių neardomosios kontrolės metu nebuvo pastebėta jokių virintinių jungčių paviršinių defektų. Vidiniai defektai (neįvirinimai) buvo aptikti tik bandinyje Nr. 3.
2. Atlikus tempimo bandymus buvo nustatyta, kad virintinių jungčių ir pagrindinio metalo mechaninių savybių reikšmės yra panašios, o virinant kombinuotu būdu buvo gauti geriausi skersinio tempimo bandymo rezultatai ( $R_m = 613$  MPa). Atlikus virintinių jungčių lenkimo  $180^\circ$  kampu bandymą, visuose bandiniuose įtrūkių ar išsiskuosiavimo nebuvo pastebėta.
3. Virintinių jungčių metalo  $\delta$ -ferito kiekio tyrimo metu buvo nustatyta, kad mažiausias  $\delta$ -ferito kiekis yra pagrindiniame metalė, o didžiausias – siūlės metalė.
4. Suvirintų bandinių korozinio atsparumo tyrimo metu buvo nustatyta, kad bandiniai, suvirinti TIG būdu, buvo patys neatspariausi azoto rūgšties poveikiui, o išgraužimo gylis siekė iki 2 mm.
5. Atlikus virintinių jungčių makroskopinius ir mikroskopinius tyrimus buvo nustatyta, kad plačiausia terminio poveikio zona yra virinant kombinuotu suvirinimu, o siauriausia virinant rankiniu suvirinimu glaistytais elektrodais, esant mažoms srovėms. Pagrindinio metalo mikrostruktūrą sudaro austenitas su nedideliu iki 1 %  $\delta$ -ferito kiekiu, o siūlės metalė formuojasi dendritai.

## Literatūra

- Feng, Y., et al. 2015. Keyhole gas tungsten arc welding of AISI 316L stainless steel, *Materials & Design* 85: 24–31.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2015.07.011>
- Garcia, C., et al. 2008. Pitting corrosion of welded joints of austenitic stainless steels studied by using an electrochemical micell, *Corrosion Science* 50: 1184–1194.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.corsci.2007.11.028>
- Kumar, M., et al. 2015. Stress corrosion cracking behaviour of gas tungsten arc welded super austenitic stainless steel joints, *Defence Technology* 11: 282–291.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.dt.2015.05.009>

- LST EN ISO 15614-1:2004. *Metallų suvirinimo procedūrų aprašas ir patvirtinimas. Suvirinimo procedūros bandymas. 1 dalis. Plieno lankinis ir dujinis suvirinimas, nikelio ir nikelio lydinių lankinis suvirinimas.*
- LST EN 10027-1:2005. *Plienu žymėjimo sistemos. 1 dalis. Plieno markės.*
- LST CR 10320:2006. *Mažai legiruotų plienų optinė emisinė analizė (įprastinis metodas). C, Si, S, P, Mn, Cr, Ni ir Cu nustatymo metodas.*
- LST EN ISO 377:2013. *Plienas ir plieno gaminiai. Ėminių ir bandinių paėmimo vieta ir paruošimas mechaniniams bandymams.*
- LST EN ISO 6892-1:2009. *Metalai. Tempimo bandymai. 1 dalis. Bandymo kambario temperatūroje metodas.*
- LST EN ISO 15614-1:2004. *Metallų suvirinimo procedūrų aprašas ir patvirtinimas. Suvirinimo procedūros bandymas. 1 dalis. Plieno lankinis ir dujinis suvirinimas, nikelio ir nikelio lydinių lankinis suvirinimas.*
- LST EN ISO 17637:2011. *Virintinių siūlių neardomieji bandymai. Lydomojo suvirinimo jungčių apžiūrimasis tikrinimas (ISO 17637:2003).*
- LST EN ISO 6520-1:2007. *Suvirinimas ir panašūs procesai. Metallų suvirinimo geometrinių defektų klasifikavimas. 1 dalis. Lydomasis suvirinimas.*
- LST EN ISO 3452-1:2013. *Neardomieji bandymai. Bandymas skverbikliais. 1 dalis. Bendrieji principai.*
- LST EN ISO 23277:2010. *Neardomieji virintinių siūlių bandymai. Siūlių bandymas skvarbiaisiais dažalais. Priėmimo lygmenys (ISO 23277:2006).*
- LST EN ISO 17636-1:2013. *Neardomoji suvirinimo siūlių kontrolė. Radiografinė kontrolė. 1 dalis. Rentgeno ir gama būdai, naudojant plėveles.*
- LST EN ISO 10675-1:2013. *Neardomoji suvirinimo siūlių kontrolė. Priėmimo lygiai taikant radiografinę kontrolę. 1 dalis. Plienas, nikelis, titanas ir jų lydiniai (ISO 10675-1:2008).*
- LST EN ISO 8249:2000. *Suvirinimas. Austenitinių ir duplexinių feritinių-austenitinių Cr-Ni nerūdijančiųjų plienų siūlės metalo ferito skaičiaus (FN) nustatymas (ISO 8249:2000).*
- LST EN ISO 4136:2013. *Metallų suvirinimo siūlių ardomieji bandymai. Skersinio tempimo bandymas (ISO 4136:2012).*
- LST EN ISO 5173:2013. *Metallų virintinių siūlių ardomieji bandymai. Lenkimo bandymai (ISO 5173:2009).*
- LST EN ISO 17639:2013. *Metallinių medžiagų suvirinimo siūlių ardomieji bandymai. Suvirinimo siūlių makroskopinis ir mikroskopinis tyrimas.*
- LST EN ISO 5817:2007. *Suvirinimas. Plieno, nikelio, titano ir jų lydinių lydomojo suvirinimo (išskyrus pluoštinių suvirinimą) jungtys. Defektų kokybės lygmenys.*
- Rao, V.; Deivanathan, R. 2014. Experimental investigation for welding aspects of stainless steel 310 for the process of TIG welding, *Procedia Engineering* 97: 902–908.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.365>
- Valiulis, A. V. 2007. *Legiruotieji plienai ir jų suvirinimas.* Vilnius: Technika. 247 p. <http://dx.doi.org/10.3846/906-S>

**RESEARCH OF TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF  
STEEL X6CRNITI18-10 WELDED JOINTS EXPLOITED  
IN NITRIC ACID MEDIUM**

**G. Mikalauskas, O. Černašėjus**

Abstract

The repair of chemical industry equipments often requires to replace long time operated pipes or welded inserts with the similar chemical composition. During the study the joints from corrosion resistant steel X6CrNiTi18-10 were welded by manual metal arc welding with covered electrodes (MMA process 111) and tungsten inert gas welding (TIG process 141) at different welding parameters. The visual, radiographic, penetrant control and ferrite content analysis were carried out. The transverse tensile and bending samples were produced from welded samples; also the macroscopic and microscopic analyse were carried out.

**Keywords:** chromium-nickel steel, welded joints, corrosion, non-destructive control, mechanical tests.