

Mechanics, material science, industrial engineering and management
Mechanika, medžiagų inžinerija, pramonės inžinerija ir vadyba

TECHNOLOGINIŲ PARAMETRŲ ĮTAKOS VIRINTINĖS JUNGTIES
SAVYBĖMS TYRIMAI, SUVIRINANT AISI 304 PLIENĄ

Mantvydas SEREIKA, Valentinas VARNAUSKAS, Irmantas GEDZEVIČIUS*

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva

Gauta 2018 m. lapkričio 30 d.; priimta 2018 m. gruodžio 11 d.

Santrauka. Straipsnyje nagrinėjama technologinių parametrų įtaka virintinės jungties savybėms, suvirinant AISI 304 plieną. Siekiant gauti rezultatus, darbai buvo atlikti skaitmeninio modeliavimo baigtinių elementų metodu, taikant programą ANSYS, suvirinti bandiniai, atlikta apžiūrinamoji kontrolė, padaryti siūlės kiekio bandymai. Tyrimo rezultatai pateikiami lentelėse ir pavaizduoti grafiškai, pateikiamos išvados.

Reikšminiai žodžiai: AISI 304, nerūdijantis plienas, suvirinimas, deformacija, siūlės kiekio bandymas, skaitmeninis modeliavimas.

Įvadas

AISI 304 plienas – tai universalusias ir plačiausiai naudojamas nerūdijantis plienas. Jis turi puikių formavimo ir suvirinimo savybių. AISI 304 plienas lengvai suspaudžiamas arba suplakamas į įvairius komponentus, skirtus naudoti pramonės, architektūros ir transporto srityse. Jis taip pat yra gerai atkuriamas, gali būti suformuotas į įvairias formas ir naudojamas neatkaitintas.

AISI 304 tipo nerūdijantis plienas plačiai naudojamas maisto pramonėje. Kitos naudojimo sritys yra architektūra, cheminė tara, šilumokaičiai, kasybos įranga ir veržlės, varžtai ir sraigčiai. 304 tipo nerūdijantis plienas taip pat naudojamas kasybos ir vandens filtravimo sistemose ir dažymo pramonėje (Feramuz, Kac ir Gunduz, 2009; Valiulis, 2007).

Gaminant nerūdijančio plieno dalis dažnai susiduriama su detalių deformacijomis dėl suvirinimo procesų įtakos. Dalis deformacijų būna tik paviršinės. Dėl suvirinimo šilumos šaltinio poveikio metalas perkaista, šilumos poveikio zonoje dažnai atsiranda didesnių kristalinių grūdelių, kurie pablogina metalo savybes.

1. Suvirinamumas

Austenitinio plieno suvirinimas dėl fizikinių plieno savybių gerokai skiriasi nuo feritinio ar martensitinio plieno. Austenitinio plieno šilumos laidumas yra perpus mažesnis

už feritinio plieno, todėl šilumos kiekis, reikalingas tam pačiam įvirinimo gyliui pasiekti, yra daug mažesnis. Austenito plėtimosi koeficientas yra 30–40 % didesnis negu ferito, todėl suvirinant gali susidaryti didesni deformacijų ir liekamųjų įtempių.

Suvirinimo vonelės metalas yra klampesnis negu feritinio ar martensitinio plieno, todėl pablogėja skystojo metalo tekėjimas, jo vilgumas ir dėl nesilydymo gali atsirasti defektų. Suvirinant šiuos plienus, didžiausią rūpestį kelia kristalizaciniai ir likvaciniai įtrūkiai. Šių defektų nebūna, jeigu reguliuojant vonelės metalo cheminę sudėtį siūlėje kristalizacijos metu susidaro daugiau kaip 3 % ferito. Jeigu siūlės metale negali būti ferito, tai, siekiant išvengti įtrūkių, virinama maža tiesine energija, suvirinami gaminiai negali būti įveržti. Elementų, kurie formuoja fazes, pasižyminčias žema lydymosi temperatūra (S, P, B, Nb, Si, Ti), kiekis turi būti minimalus (Naruškevičius, 2010).

2. Defektai, atsirandantys suvirinant arba suvirinus

Įtrūkiai. Virinamam plienui greitai kaistant ir auštant, siūlės ir šalia siūlės esančiame metale dažnai atsiranda įtrūkių ar plyšių. Įtrūkius galima skirti į dvi grupes: susidarančius suvirinant ir atsirandančius konstrukciją naudojant. Įtrūkius, naudojant konstrukciją, sukelia virintinės jungties termociklavimas, vibracijos, aplinkos poveikis.

*Autorius susirašinėti. El. paštas irmantas.gedzevicius@vgtu.lt

Korozija – metalų irimas dėl fizikinės ir cheminės sąveikos su aplinka, kai metalas pereina į oksiduotą būklę ir praranda jam būdingas savybes.

Korozinis plieno atsparumas priklauso nuo struktūros fazinio, struktūrinio ir cheminio vienodumo, nes visi šie veiksniai lemia metalo paviršiaus elektrocheminio potencialo tolygumą. Chromo karbidų ar kitokių junginių susidarymas blogina korozinį plieno atsparumą. Ilgą laiką aukštoje temperatūroje eksploatuojamame pliene iš kieto tirpalo ant grūdelių ribų išsiskiria chromo karbidai.

Deformacijos – gaminant nerūdijančiojo plieno dalis dažnai susiduriama su detalių deformacijomis dėl suvirinimo procesų įtakos. Dalis deformacijų būna tik paviršinės. Dėl suvirinimo šilumos šaltinio poveikio metalas perkaista, šilumos paveiktoje zonoje dažnai atsiranda didesnių kristalizacinių grūdelių, kurie pablogina metalo savybes (Wang et al., 2017a, 2017b; Woei-Shyan, Jen ir Chi-Feng, 2004).

Kad būtų užkirstas kelias ir pašalinta neigiama suvirinimo įtaka suvirinamoms dalims, būtina kontroliuoti temperatūrą tarp suvirinimo eigų. Tačiau, norint palaukti, kol siūlė atvės, užtrunka daug laiko, dėl to nukenčia darbo efektyvumas.

Kadangi dalys yra mažos, suvirinimo šiluma negali būti greitai paskirstyta ir dalys iškraipo, o tai labai veikia detalių išvaizdą ir formą (Andersson, 2005; Kondapalli, Chalamalasetti ir Nageswara, 2014; Samantaray, Kumar, Bhaduri ir Dutta, 2013).

3. Tyrimas

Tyrimui atlikti buvo naudojama įranga ir medžiagos (žr. 1 lentelę): modeliavimo programa ANSYS, pusautomatis „KEMPPPI FastMig Pulse 450“ su vielos tiekimo mechanizmu „MXF 65“ ir aušintuvu „FastCool 10“, AISI 304 klasės plokštelės ir pridėtinė viela „Esab OK Autrod 316LSi“, dujos „AGAMIX2“, kietmatis „IIMT-3“, kalibruotas slankmatis.

1 lentelė. Pagrindinės ir pridėtinės medžiagų savybės
Table 1. Properties of base and additional materials

Medžiaga	EN1.4301 / AISI304 (pagrindinė)	EN1.4430 / AISI316LSi (pridėtinė)
Tamprumo modulis	200 GPa	200 GPa
Šiluminio laidumo koeficientas	16 W/m-K	15 W/m-K
Spec. šilumos koeficientas	500 J/kg-K	470 J/kg-K
Temperatūrinis plėtimosi koeficientas	17 pm/m-K	16 pm/m-K
Tankis	7,8 g/cm ³	7,8 g/cm ³
Puasono koeficientas	0,3	0,3

4. Tyrimo rezultatai ir analizė

Tiriant technologinių parametų įtaką virintinės jungties savybėms suvirinant AISI 304 plieną, buvo nustatytos atsirandančios bandinių deformacijos, taip pat atlikti kietumo matavimai siūlėje.

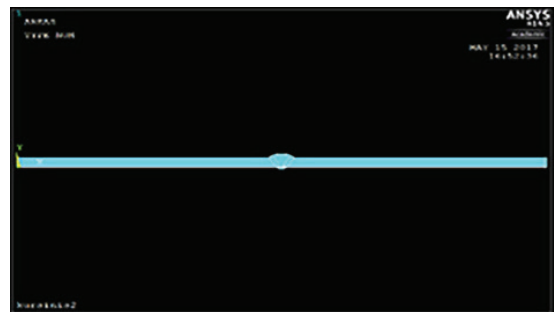
Prieš pradėdant virinti bandinius, atlikti skaičiavimai pasitelkiant programą. Modelis (1 paveikslas) nubraižytas naudojant baigtinių elementų skaičiavimo programą ANSYS pagal padarytą suvirinimo procedūrų aprašą (SPA). Atlikti skaičiavimai, kurie suteikia galimybę stebėti, kokie pokyčiai vyksta virintinėje siūlėje apkrovus jėgomis.

Modeliavimas parodė, kurioje vietoje yra didžiausi įtempiai (2, 3 paveikslai) ir poslinkiai (4 paveikslas). Tame kampe, kuriame susikerta briaunos, jis nusklembiamas ir tampa bukas, susidaro didžiausi įtempiai.

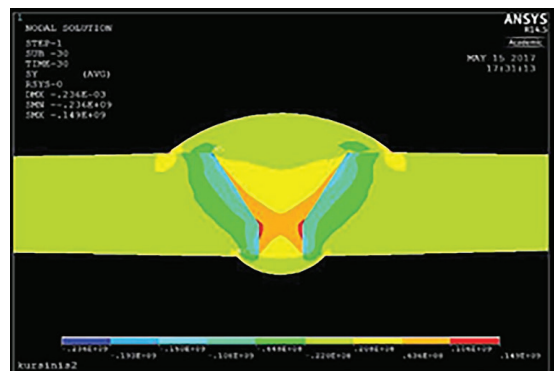
Atlikus kompiuterinį modeliavimą, kitas žingsnis yra AISI 304 plieno plokštelių paruošimas suvirinti, suvirinimas (5 paveikslas), bandinių vizualinė apžiūra ir deformacijų nustatymas.

Suvirinus atlikta virintinių siūlių apžiūrimoji kontrolė pagal LST EN ISO 5817:2014 standartą.

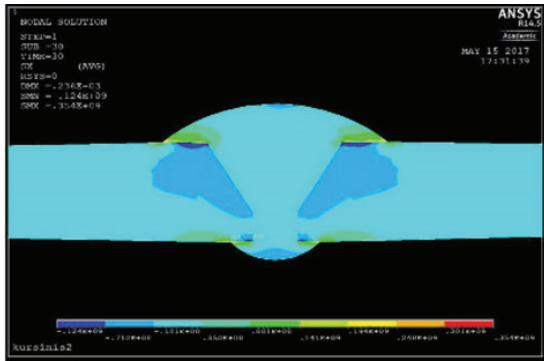
Suvirinant buvo keičiama srovė ir vielos tiekimo greitis. Keičiami parametrai turėjo įtakos virintinės siūlės pločiui ir bandinių deformacijų dydžiui. Naudoti parametrai ir gauti rezultatai suvirinus pateikti 2 lentelėje. Deformacijos yra išmatuotos naudojant elektroninį slankmatį BMI su kalibravimo patikra.



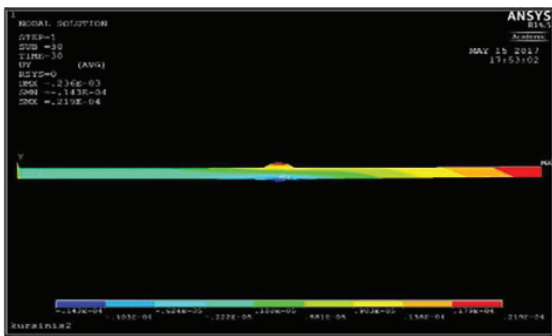
1 paveikslas. Virintinės siūlės modelis, sudarytas iš baigtinių elementų
Figure 1. Finite elements model of welding seam



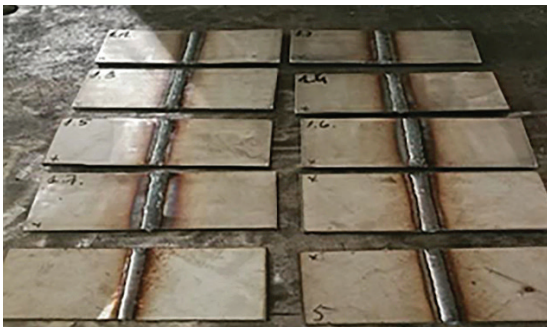
2 paveikslas. Įtempiai siūlėje pagal y ašį
Figure 2. Stress of seam in y axis



3 paveikslas. Įtempiai siūlėje pagal x ašį
Figure 3. Stress of seam in x axis



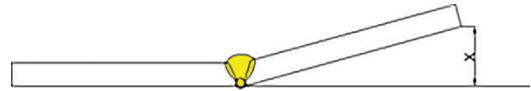
4 paveikslas. Poslinkiai pagal x ašį
Figure 4. Displacement in x axis



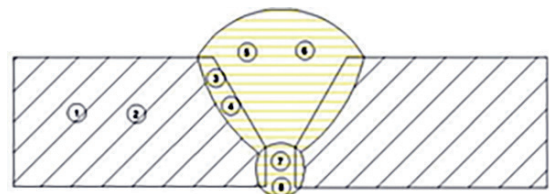
5 paveikslas. AISI 304 plieno suvirinti bandiniai
Figure 5. Welded specimens of AISI 304 steel

Rezultatai parodo, kad suvirinimo deformacija (6 paveikslas) yra didžiausia, kai virinama maža srove arba labai didele, bet virinant maža srove tuo pačiu metu buvo ir mažas suvirinimo vielos tiekimo greitis.

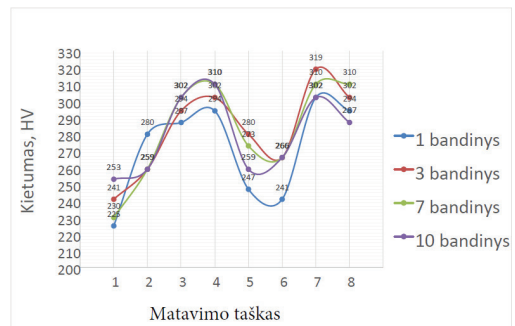
Kitas bandymas buvo kietumo matavimas siūlėje. Kietumo matavimai, atsižvelgiant į standartą LST EN ISO 9015-1:2001, atliekami siūlėje, terminio poveikio srityje ir pagrindiniame metalo (7 paveikslas). Pasirinktas kietumo matavimo būdas atskiromis įspaudomis. Iš viso buvo parinkti keturi bandiniai. Kiekvienam bandiniui buvo padarytos aštuonios įspaudos skirtingose vietose (8 paveikslas).



6 paveikslas. Deformacijos matavimo schema
Figure 6. Measurement of deformation



7 paveikslas. Įspaudų išdėstymas
Figure 7. Location of impressions



8 paveikslas. Bandinių kietumo matavimo grafikas
Figure 8. Specimens hardness measurements diagram

2 lentelė. Suvirinant naudoti parametrai ir suvirinusi gauti rezultatai
Table 2. Welding parameters and results

Nr.	Suvirinimo srovės stiprumas, A	Suvirinimo vielos greitis, m/min	Virintinės jungties išlinkis, mm	Siūlės plotis, mm
1	68	2,8	7,47	11,05
2	90	4,3	3,78	12,50
3	100	4,8	5,32	10,55
4	103	4,6	3,27	10,60
5	106	5,2	5,31	10,60
6	108	4,3	3,64	13,39
7	110	4,7	2,99	13,40
8	112	5,3	4,34	11,15
9	117	5,4	4,13	12,22
10	120	5,1	6,06	13,71

Išvados

Modeliavimas parodė, kurioje vietoje yra didžiausi įtempiai. Didžiausi įtempiai susidarė ten, kur susikerta briaunos, nusklembiamas ir tampa bukas kampas. Norint sumažinti įtempius ir siekiant tolygesnio jų pasiskirstymo, reikia kampą dar labiau suapvalinti.

Suvirinus bandinius ir pamatavus deformacijas, rezultatai parodė, kad suvirinimo deformacija yra didžiausia, kai virinama maža srove arba labai didele, bet virinant maža srove tuo pačiu metu buvo ir mažas suvirinimo vieles tiekimo greitis.

Kietumo matavimas Vikerso metodu atskleidė, kad visų bandinių kietumo matavimo rezultatai yra panašūs. Kietumas HV padidėja terminio poveikio zonoje ir apatinėje siūlėje, o viršutinės siūlės ir pagrindinio metalo srityse panašūs. Kadangi visų bandinių kietumo matavimai pagrindiniame metalo ir siūlėje panašūs, vadinasi, pridėtinė viela buvo parinkta gerai.

Literatūra

- AISI 304 material properties. (2017). Prieiga per internetą: <http://www.makeitfrom.com/material-properties/AISI-304-1.4301-S30400-Stainless-Steel>
- Andersson, R. (2005). *Deformation characteristics of stainless steels* (132 p.). Lulea University of Technology.
- Feramuz, K., Kac, R., & Gunduz, S. (2009). The effect of process parameter on the properties of spot welded cold deformed AISI304 grade austenitic stainless steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 209(8), 4011-4019. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2008.09.030>
- Kondapalli, S. P., Chalamalasetti, S. R., & Nageswara, R. D. (2014). A Review on welding of AISI 304L austenitic stainless steel. *Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 1-11.
- LST EN ISO 9015-1:2001 *Metallų virintinių siūlių ardomieji bandymai. Kietumo bandymai. 1 dalis. Lankinio suvirinimo jungčių kietumo bandymas.*
- Mahdavinejad, R. A., & Saeedy, A. (2011). Investigation of the influential parameters of machining of AISI 304 stainless

- steel. *Indian Academy of Sciences, Sadhana*, 36(6), 963-970. <https://doi.org/10.1007/s12046-011-0055-z>
- Naruškevičius, J. (2010). *Suvirinimas*. Senoja (236 p.).
- Samantaray, D., Kumar, V., Bhaduri, A., & Dutta, P. (2013). Microstructural evolution and mechanical properties of type 304 L Stainless Steel Processed in Semi-Solid State. *International Journal of Metallurgical Engineering*, 2(2), 149-153.
- Valiulis, A. V. (2007). *Legiruotieji plienai ir jų suvirinimas*. Vilnius: Technika. <https://doi.org/10.3846/906-S>
- Wang, H., Jing, H., Zhao, L., Han, Y., Lv, X., & Xu, L. (2017a). Dislocation structure evolution in 304L stainless steel and weld joint during cyclic plastic deformation. *Materials Science & Engineering: A*, 690, 16-31. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2017.02.090>
- Wang, H., Jing, H., Zhao, L., Han, Y., Lv, X., & Xu, L. (2017b). Uniaxial ratcheting behavior of 304L stainless steel and ER308L weld joints. *Materials Science & Engineering: A*, 708, 21-42. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2017.09.109>
- Woei-Shyan, L., Jen, C., & Chi-Feng, L. (2004). Deformation and failure response of 304L stainless steel SMAW joint under dynamic shear loading. *Materials Science and Engineering: A*, 381, 206-215. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2004.04.034>

RESEARCH OF THE TECHNOLOGICAL PARAMETERS INFLUENCE ON THE WELD PROPERTIES OF WELDED STEEL AISI 304

M. Sereika, V. Varnauskas, I. Gedzevičius

Abstract

The article analyzes the influence of technological parameters on the properties of welded joints by welding AISI 304 steel. In order to get the results was carried out computer modeling with the finite element modeling program ANSYS, welded samples performed visual inspection, hardness testing to make a seam. Results of the study are presented in tabular and graphic representation, the conclusions.

Keywords: AISI 304 stainless steel, welding, deformation, weld hardness testing, numerical simulation.