

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

**BORO ĮTAKOS GLAISTYTAISIAIS ELEKTRODAIS APVIRINTŲ SLUOKSNIŲ
SAVYBĖMS TYRIMAS**

Artūras MASTEBROCKIS, Valentinas VARNAUSKAS , Irmantas GEDZEVIČIUS*,
Giedrius GARBINČIUS

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva

Gauta 2020 m. gruodžio 17 d.; priimta 2021 m. sausio 20 d.

Santrauka. Straipsnyje nagrinėjamos UAB „Anykščių varis“ pagamintų glaistytųjų elektrodų, skirtų metalui apvirinti, savybės. Naujai pagamintuose elektroduose naudojamas standartinis bazinis glaistas su skirtinga feroboro koncentracija. Pagrindiniai šio darbo akcentai yra literatūros šaltinių paieška ir analizė siekiant išsiaiškinti feroboro koncentracijos poveikį apvirinimo procesui, paties eksperimentinio tyrimo atlikimas ir gautų rezultatų analizavimas, siekiant nustatyti geležies borido įtaką prilydyto metalo cheminėms savybėms, kietumui, atsparumui dilimui. Išnagrinėjus teorinius ir praktinius tyrimo aspektus, pateikiamos išvados ir pasiūlymai.

Reikšminiai žodžiai: suvirinimas, apvirinimas, feroboras, kietumas.

Įvadas

Nemažos dalies pramonės ir žemės ūkio mašinų darbinumui atkurti ar jam padidinti išeikvojama daug lėšų. Dyla žemės dirbimo mašinų kaltai, noragai, žemės kasimo mašinų kaušai ir dantys, buldozerių ir greiderių peiliai. Minėtų detalių nudilimas kartais siekia ir kelias dešimtis kilogramų arba kelias dešimtis milimetrų. Todėl taikyti cheminį terminį apdirbimą šioms dalims stiprinti būtų netikslinga ir neefektyvu, nes šiais būdais stiprinamas tik detalių paviršius, o ir stiprinimas tesiekia vos kelias milimetro dalis ar vieną milimetrą. Tokioms detalėms atkurti tikslinga taikyti terminį metalų apdorojimą, t. y. grūdinimą. Tačiau sudilusios detalės turi būti keičiamos naujomis, o tai didina vartotojo išlaidas. Siekiant šiuos kaštus sumažinti, nudilusių detalių darbingumas gali būti atkuriamas jas apvirinant elektros lanku. Taip ne tik atkuriamas detalės geometrija, bet ir pagerinamos atsparumo abrazyviniam dilimui savybės. Apvirinimas elektros lanku gali būti taikomas ir gaminant naujas detales. Atsparumo dilimui savybės gerinamos apvirinant plienus elektrodais, turinčiais Cr, C, B, Mn, Mo, Ti, W ir kitų legiruojančiųjų elementų. Sukurta daug atsparių dilimui medžiagų, tačiau daugeliu atvejų norėta tik padidinti metalų kietumą. Tai ne visada yra tinkamas sprendimas. Taip pat nemaža dalis šių medžiagų turi daug legiruojančiųjų elementų, net daugiau nei 50 %, o tai didina šių medžiagų kainą. Apvirinant

gaunami labai kieti (iki 60 HRC ir kietesni) sluoksniai, kurie jau vien dėl didelio kietumo yra atsparesni dilimui, lyginant su pagrindiniu metalu (Varnauskas, 2008; Varnauskas et al., 2003).

Apvirinimas yra vienas iš labiausiai paplitusių paviršiaus atkūrimo ir detalių atsparumo susidėvėjimui didinimo būdų. Apvirinant restauruojamos susidėvėjusios detalės, jų paviršius gali būti padengiamas įvairios cheminės sudėties medžiagomis. Apvirinimo procesas – tai pridėtinio metalo lydymas dujų liepsna, elektros lanku ar kitais šilumos šaltiniais ir jo sujungimas su pagrindiniu metalu. Apvirinant gaminį, jo paviršius galima padengti atsparesniu dilimui ir karščiui, kietesniu ir galinčiu pasipriešinti terminiam nuovargiui sluoksniu. Pagal apvirinimo tikslą ir apimtį procesą galima suskirstyti į kelias grupes:

1. Apvirinimas pagrindiniam metalui analogiška pridėtine medžiaga. Šiuo atveju atkuriamas susidėvėjusi konstrukcija arba konstrukcija įgauna naują formą.
2. Apvirinimas kitos sudėties ir savybių pridėtiniu metalu. Šiuo atveju konstrukcijai suteikiama naujų savybių: padidinamas atsparumas dilimui, korozijai, karščiui ir t. t.

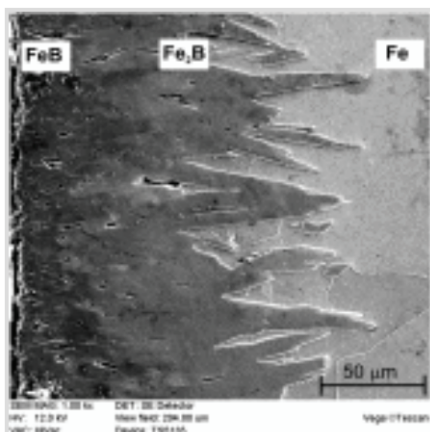
Vienas iš šios technologijos pranašumų yra paprastumas. O paprastumas atitinkamai reiškia ir santykinai mažesnę kainą. Prieš aplydant elektros lanku, tereikia gerai nuvalyti pagrindinį aplydomą metalą. Tam, kad aplydytas sluoksnis taptų tvirtas ir atsparus abrazyviniam dilimui,

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

svarbus ir elektrodų parinkimas. Aplydžius netinkamos cheminės sudėties metalu galima gauti priešingą efektą ir atsparumą dilimui net sumažinti (Višniakas ir Rudzinskas, 2012). Apvirinant lanku, naudojami glaistytieji elektrodai. Glaistas saugo suvirinimo vonelę nuo atmosferinio deguonies, azoto ir vandenilio, legiruoja siūlę, padeda susidaryti šlakinei ir dujinei šlakinei apsaugai. Glaistas lydosi palei elektrodą ir aplink jį susidaro vamzdelio pavidalo ertmė. Ja metalų garai ir dujos teka kaip tūta ir apiplauna suvirinimo vonelę. Be to, atitrūkę nuo elektrodo galo ir praėję lanką skysto metalo lašai pasidengia šlako plėvele, o nuo elektrodo galo nutekantis šlakas suvirinimo vonelės paviršiuje sudaro izoliacinį sluoksnį.

Praktinę reikšmę turi boro junginiai su azotu (boro nitridas), su anglimi (boro karbidas), su vandeniliu (boranai), boro rūgštis ir jos druskos boratai, kompleksiniai boro junginiai. Daug boro junginių naudojama stiklo, sintetinių ploviklių, keramikos, pesticidų, metalurgijos pramonėje. Boru gerinamos plieno ir kitų lydinių mechaninės savybės, juo išdrintas paviršius tampa tvirtesnis, atsparesnis korozijai. Boras yra sudėtinis medžiagų, naudojamų aviacijoje ir kosmonautikoje, komponentas. Boridai – tai boro junginiai su metalais. Metalo ir boro atomų kiekybinis santykis boridų molekulėje įvairuoja – kinta nuo 4:1 iki 1:12. Tas pats metalas gali sudaryti kelis skirtingus boridus (1 pav.). Boridų kristalinė sandara kol kas nepakankamai ištirta. Kai kurie boridai yra įtarpos junginiai. Kovalentinę ryšį turintys boridai panašūs į metalus – sunkūs (tankis iki 16 000 kg/m³), kieti (mikrokietumas 21–34 GPa), laidūs elektrai, atsparūs kaitrai (hafnio boridas lydosi 3380 °C). Cheminės savybės taip pat įvairios: vienos rūšies boridai skyla veikiami vandens, kiti nesuyra net veikiami rūgščių, tačiau dauguma metalų boridų yra chemiškai inertiški.

Boridai gaunami 1500–2000 °C temperatūroje vakuumu kaitinant metalo oksidus su boro karbidu arba boro ir anglies mišiniu, metalo terminiu būdu redukuojant metalo oksidų ir boro mišinį, reaguojant metalų ir boro junginiams žemos temperatūros plazmoje, rečiau – tiesiogiai sąveikaujant metalui su boru. Boridai naudojami elektroliizeriams iškloti, neutronams sugerti, kaitrai atspariems



1 paveikslas. Geležies boridų pasiskirstymas apvirintame pliene
Figure 1. Distribution of iron borides in welded steel

gaminiami gaminti (dujų turbinų mentėms, reaktyvinių variklių detalėms, elektroninių vamzdžių katodams). Boridai, susidarę borinant metalus, padidina paviršiaus kietumą, atsparumą dilimui ir korozijai (Valiulis, 2007; Višniakas, 2008). Taigi, taupant išlaidas mašinų medžiagoms, mašinų gamybai naudojamos vis kokybiškesnės, labiau legiruotos medžiagos ir įvairiausios dangos. Tai leidžia sumažinti mašinų masę, tačiau mašinų elementų darbiniam paviršiams tenka vis didesnės lyginamosios apkrovos.

1. Tyrimo objektas ir medžiagos

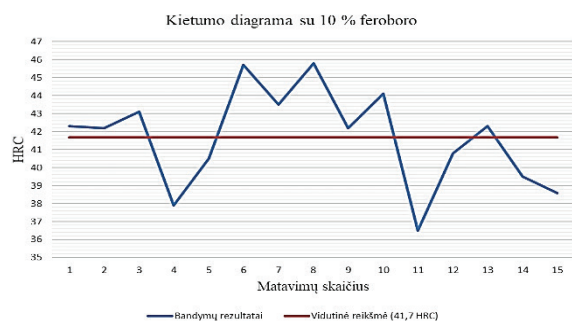
Tyrimai atlikti apvirinant glaistytaisiais elektrodais, pagamintais UAB „Anykščių varis“. Elektrodų šerdims panaudoti neanglingojo plieno vielos strypai (Sv-08A, GOST 2246, skersmuo – 3,21 mm, ilgis – 352 mm, masė – 22,48 g). Tyrimui pagaminti penkių rūšių bazinio glaisto elektrodai su skirtingu feroboro (FeB) kiekiu. Glaisto pagrindu pasirinktas standartinių bazinių UONI-13/55 markės elektrodų glaistas, papildomai legiruotas 1 % grafito, 2 % anglingojo feromangano, 1 % feromolibdeno ir atitinkamai 10 %, 20 %, 30 %, 40 % bei 50 % feroboro. Standartinį UONI-13/55 markės elektrodų glaistą sudaro marmuras ir klintis (CaCO₃), fluoro špatas (CaF₂), kvarcinis smėlis (SiO₂), žėrutis ir 16,3 % metalinių medžiagų – feromanganas (FeMn), ferosilicis (FeSi) bei ferotitanas (FeTi).

Nurodytais elektrodais apvirintos nelegiruotojo konstrukcinio plieno S235J 8×80×40 (mm) matmenų plokštelės. Suvirinimo srovė – 110 A, lanko įtampa – 24 V, šilumos įterpimas – 2,5 KJ/mm.

2. Tyrimų rezultatai ir analizė

Baigus apvirinimo procesą, prieš matuojant paviršiaus kietumą, plokštelių paviršiai nuvalyti šlifavimo disku ir išlyginti. Apvirintų sluoksnių kietumo matavimų rezultatai surašyti į lentelę „Excel“ programa. Remiantis matavimų rezultatais sudarytos ir pateiktos kiekvienos rūšies elektrodais apvirintų sluoksnių kietumo diagramos. Išvesta kietumo kreivės priklausomybė nuo feroboro kiekio elektroduose.

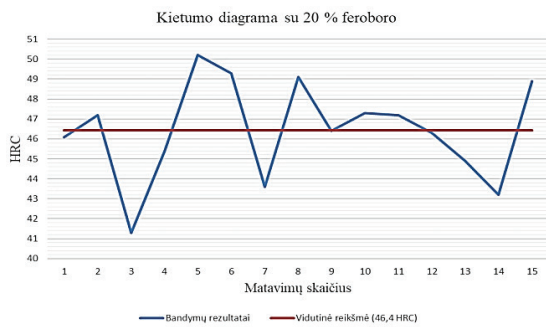
Apvirinus nelegiruotojo konstrukcinio plieno S235J plokštelę elektrodais su 10 % feroboro kiekiu glaiste, nustatyta, kad vidutinis paviršiaus kietumas (2 pav.) padidėjo



2 paveikslas. Elektrodais su 10 % feroboro apvirinto sluoksnio kietumo diagrama
Figure 2. Hardness diagram of weld layer effected with 10% ferrobore

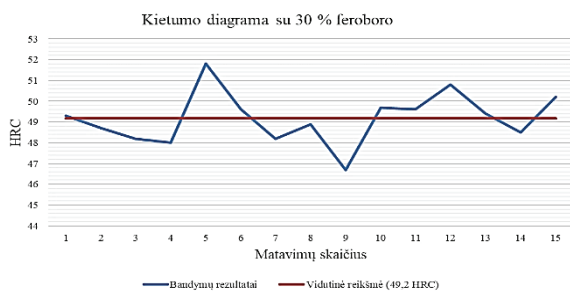
iki 42 HRC. Aplydytame sluoksnyje nepastebėta įtrūkių. Kietumo reikšmių pasiskirstymas 20 HRC intervale rodo, kad priklausomai nuo dangos eksploatacijos sąlygų galima tikėtis nevienodo išdilimo.

Apvirinus plokštelę elektrodais su 20 % feroboro kiekiu glaiste, vidutinis paviršiaus kietumas padidėjo iki 46 HRC. Kietumo matavimų reikšmės pasiskirstė plačiame diapazone (3 pav.), tai rodo, kad suformuotoje dangoje liko didelių vidinių įtampių. Paviršiuje taip pat nepastebėta įtrūkių, o elektros lankas suvirinimo metu buvo stabilus, prilydomas metalas formavosi tolygiai.



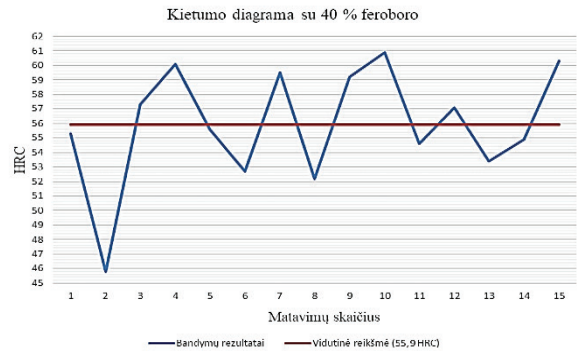
3 paveikslas. Elektrodais su 20 % feroboro apvirinto sluoksnio kietumo diagrama
Figure 3. Hardness diagram of weld layer effected with 20% ferboride

Apvirinus plokštelę elektrodais su 30 % feroboro kiekiu glaiste, nustatyta, kad vidutinis paviršiaus kietumas (4 pav.) padidėjo iki 49 HRC. Reikšmės pasiskirstė mažesniame intervale. Galima teigti, kad gauta danga pasižymi stabiliomis kietumo reikšmėmis.



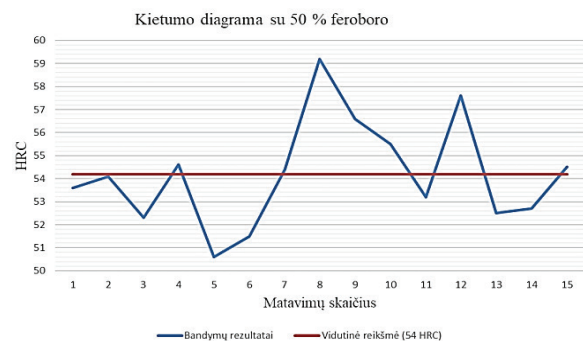
4 paveikslas. Elektrodais su 30 % feroboro apvirinto sluoksnio kietumo diagrama
Figure 4. Hardness diagram of weld layer effected with 30% ferboride

Apvirinus nelegiruotojo konstrukcinio plieno plokštelę elektrodais su 40 % feroboro kiekiu glaiste, vidutinis paviršiaus kietumas padidėjo iki 56 HRC (5 pav.). Gautas didžiausias kietumo reikšmės. Deja, apvirinimo elektrodas pasižymi tik vidutinėmis technologiskumo savybėmis, todėl siekiant juo suformuoti kokybišką dangą reikia gero suvirinimo šaltinio ir patyrusio suvirintojo.



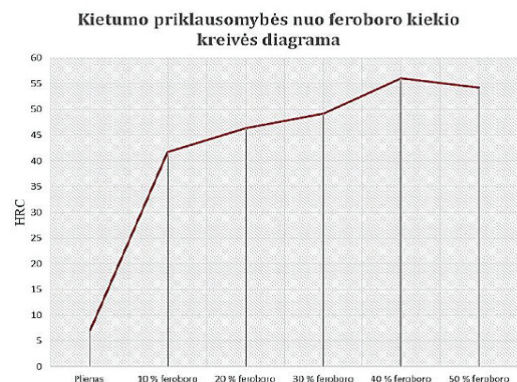
5 paveikslas. Elektrodais su 40 % feroboro apvirinto sluoksnio kietumo diagrama
Figure 5. Hardness diagram of weld layer effected with 40% ferboride

Apvirinus nelegiruotojo konstrukcinio plieno plokštelę elektrodais su 50 % feroboro kiekiu glaiste (6 pav.), nustatyta, kad paviršiaus kietumas sumažėjo iki 54 HRC lyginant su rezultatais, gautais matuojant paviršius, apvirintą elektrodais su 40 % feroboro kiekiu glaiste.



6 paveikslas. Elektrodais su 50 % feroboro apvirinto sluoksnio kietumo diagrama
Figure 6. Hardness diagram of weld layer effected with 50% ferboride

Šis rezultatas patvirtina mokslinėje literatūroje aprašytus tyrimus, kad naudojant daugiau kaip 40 % boro kiekio paviršiaus tvirtumas ne didėja, o netgi mažėja. 7 paveiksle pateikta kietumo priklausomybės nuo feroboro kiekio elektroduose kreivės diagrama tai akivaizdžiai parodo.



7 paveikslas. Kietumo kreivės priklausomybė nuo feroboro kiekio
Figure 7. Dependence of ferboride content on hardness

Išvados

1. Atlikti apvirinto paviršiaus kietumo matavimai patvirtina faktą, kad boro kiekio didinimas pliene turi didelę reikšmę jo kietumui. Nelegiruotojo konstrukcinio plieno plokštelės paviršiaus kietumas nuo 7 HRC, apvirinus elektrodais su 40 % feroboro kiekiu glaiste, padidėja iki 55 HRC.
2. Boras glaiste blogina technologines suvirinimo elektrodo savybes. Prilydyti dangą įmanoma tik žemutinėje padėtyje, paviršiaus formavimas tampa sudėtingesnis, reikalauja įgūdžių.
3. Atlikti tyrimus su didesniu boro kiekiu tikslinga sukuriant papildomą apvirinamo sluoksnio apsaugą inertinėmis dujomis.

Literatūra

- Valiulis, A. V. (2007). *Legiruotieji plienai ir jų suvirinimas*. Technika. <https://doi.org/10.3846/906-S>
- Varnauskas, V., Rudzinskas, V. ir Černašėjus, O. (2003). Suvirinimo elektrodų savybių tyrimas. *Mechaninė technologija: mokslo darbai*, 31, 8–14.
- Varnauskas, V. (2008). *Atsparių dilimui apvirintų paviršių formavimas ir tyrimas* [Daktaro disertacijos santrauka]. Technika.

Višniakas, I. ir Rudzinskas, V. (2012). *Suvirintinių jungčių kokybės kontrolė, valdymas ir optimizavimas*. Technika. <https://doi.org/10.3846/1278-S>

Višniakas, I. (2008). *Metalu apvirinimas, paviršių restauravimas*. Technika. <https://doi.org/10.3846/983-S>

RESEARCH ON ATTRIBUTES OF WELDED LAYERS OF COATED ELECTRODES INFLUENCED BY BORON

A. Mastebroekis, V. Varnauskas, I. Gedzevičius,
G. Garbinčius

Abstract

The article deals with the properties of coated electrodes for metal welding produced by UAB Anykščių varis. The newly manufactured electrodes use a standard base putty with a different feroboron concentration. The main highlights of this work are the search and analysis of literature sources to elucidate the effect of feroboron concentration on the welding process, the performance of the experimental study and analysis of the obtained results to determine the influence of iron boride on the hardness and abrasion resistance of welded metal.

Keywords: welding, surfacing, ferroboration, hardness.