



ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ОДРЕЂИВАЊЕ УТИЦАЈА ОКСИДНИХ ТОПИТЕЉА НА ТИГ ПОСТУПАК ЗАВАРИВАЊА

EXPERIMENTAL EXAMINATION OF THE INFLUENCE OF OXIDE FLUXES ON GTAW WELDING METHOD

Драган Перановић, Себастиан Балаш, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – МАШИНСТВО

Кратак садржај- У раду је извршено експериментално испитивање оксидних топитеља на дубину увара код ТИГ заваривања. Испитан је ефекат оксидних топитеља на бази нано и микро честица титан-диоксида при заваривању аустенитног нерђајућег челика. Показано је да су нано честице ефикасније у повећању дубине увара у односу на микрочестице, као и да је највећа дубина увара добијена код мешавине микро и нано честица. Основни механизам за повећање дубине увара је обрнута Марангонијева конвенција. При томе, материјал метала шава уместо да тече од центра метала шава према ивицама, тече од ивица према средини и према доле, што резултује смањењу ширине и повећању дубине увара.

Кључне речи: ТИГ заваривање, оксидни премаз, повећање увара

Abstract: In this paper, the experimental examination of the oxide fluxes influence on penetration depth in GTAW welding was done. The effect of oxide fluxes based on nano and micro titanium-dioxide particles on austenitic stainless-steel welding was studied. It was shown that nano particles are more effective than micro particles, as well as that the mixture of the two results in the highest penetration. The basic mechanism that influences the increase in penetration depth is the reversal of Marangoni convection. That means, the melt of the weld metal flows from the edges to the center and towards the depth of the base material, instead of from the center to the edges, resulting in a narrower weld of the higher penetration.

Keywords: GTAW welding, oxide layer, penetration increase

1. УВОД

Заваривање представља технологију помоћу које се врши спајање два или више, сродних или разнородних материјала [1]. У новије време све се више користе поступци заваривања који омогућавају да се изврши заваривање материјала у различитим, специфичним условима. Такође, у данашње време примена ТИГ (tungsten inert gas) поступка је знатно већа, највише

због врхунског квалитета споја, који се, између осталог, постиже бољом контролом унесене топлоте и додатног метала захваљујући раздвајању улога додатног метала и електроде. Заваривање ТИГ поступком је могуће и без додатног материјала, што је посебно важно код танких лимова [2]. Основни недостатак ТИГ поступка је релативно мали увар. То значи, да је за добијање заварених спојева код лимова већих дебљина потребно заваривање из више пролаза, што узрокује велику потрошњу додатног материјала и заштитних гасова. Тренутно најпогодније решење за повећање дубине увара код ТИГ поступка је примена активних топитеља.

2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РАД

Експериментални део обухватао је заваривање плоча од нерђајућег челика уз присуство активног топитеља са различитим односима TiO_2 честица нано и микро величине. Основни материјал је нерђајући челик AISI 304 (X5CrNi18-10) дебљине 10 и ширине 50 mm. Циљ експеримента био је да се уз помоћ активног топитеља оствари промена геометрије зава на тај начин што ће завар имати већу дубину увара уз истовремено смањење ширине.

Хемијски састав основног материјала приказан је у наставку:

- <0,03 % C
- 0,4 % Si,
- 1,6 % Mn,
- <0,0006 % S,
- 17,73 % Cr,
- 0,03 % P,
- 0,011 % Al,
- 0,38 % Cu,
- 8,88 % Ni,
- 0,26 % Mo,
- 0,012 % Sn,
- 0,07 % V,
- Fe - остатак

За потребе експеримента заваривање је обављено са два уређаја. Први уређај је извор струје за заваривање *Alfain Pegas 200 AC/DC Pulse PFC* са максималном снагом уређаја од 200 А, а други уређај је трактор за

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Себастиан Балаш, ванр. проф.

заваривање *Lorch Track Wheel*, помоћу којег се оставарује уједначено кретање пиштоља за заваривање током процеса.

Први део експеримента који је обухватао припрему и заваривање узорака извршен је у фирми Proficut d.o.o у Бачком Петровцу док је други део који чини карактеризација завареног споја обављен у Лабораторији за испитивање материјала на Факултету техничких наука у Новом Саду.

Припрему материјала обухватало је чишћење материјала помоћу медицинског алкохола, етанола (C_2H_5OH). Након чишћења површине материјала уследило је обележавање материјала тј. укупна дужина плоче од 350 mm подељена је на седам једнаких делова од по 50 mm. На шест од седам делова наносени су активни топитељи са различитим односима микро и нано TiO_2 честица (номиналне величине 0,3 μm и 20 nm) док је последњи, седми, део плоче имао је улогу контролног узорка. Припремљено је шест различитих мешавина активног топитеља при чему свака садржи 5 масених % честица растворених у ацетону ($(CH_3)_2CO$):

1. 5 % нано честица, са ознаком (5Н)
2. 4 % нано и 1 % микро честица (4Н1М),
3. 3 % нано и 2 % микро честица (3Н2М),
4. 2 % нано и 3 % микро честица (2Н3М),
5. 1 % нано и 4 % микро честица (1Н4М)
6. 5 % микро честица (5М)
7. контролни узорак на којем нема активног топитеља (0)

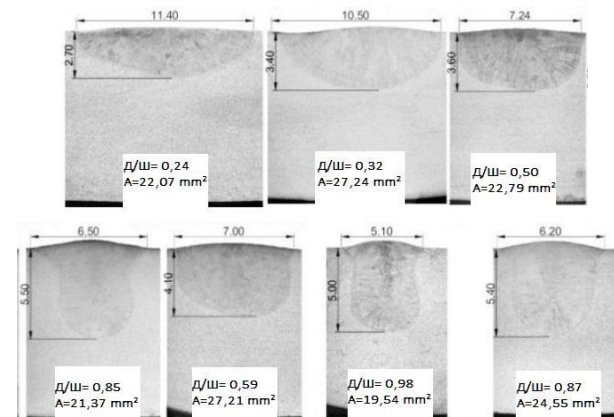
За мерење масе употребљена је аналитичка вага *Tehtnica Type 2615* тачности 0,01 mg, док је за мешање честица са растварачем употребљена магнетна мешалица *Tehtnica MM530*. Дужина мешања компоненти износила је десет минута. Активни топитељ је наносен на узорке ручним путем уз помоћ четкице ширине 10 mm, а након сушења активног топитеља уследило је заваривање. Заваривање је извршено дуж радног комада прелазећи при том све делове узорка на који је нанет активни топитељ као и контролни узорак. Заваривање је обављено једносмерном струјом директне поларности. Пречник млазнице на пиштољу за заваривање износио је $\varnothing 12,7$ mm. Размак између електроде и основног материјала је износио 2 mm. Процес заваривања одвијао се са нетопљивом волфрамовом електродом са 2 % оксида торијума (црвена ознака), док је пречник електроде био $\varnothing 2,4$ mm. При процесу заваривања употребљена је затупљена електрода са углом врха од 90° и затупљењем при врху пречника од 0,5 mm. Као заштитни гас употребљен је аргон са протоком од 12 l/min, док је брзина заваривања износила 100 mm/min. Процес карактеризације завареног споја обухватао је макро испитивање, испитивање микроструктуре и испитивање микро тврдоће. Најпре је извршено резање, монтирање, брушење (P240 до P2500) и полирање (дијамантским суспензијама гранулације од 6 μm до 1 μm) на лабораторијској опреми *Struers*. Завршни процес припреме узорака за испитивање обухватао је нагривање узорака царском водом ($HNO_3 + 3HCl$). Затим је на узорцима измерена

ширина и дубина увара на основу којих је израчунат однос између дубине и ширине завареног споја. Такође, изглед микроструктуре је праћен на карактеристичним местима као што је метал шав, зона утицаја топлоте (ЗУТ) и основни материјал. Ове карактеристичне зоне испитане су уз помоћ светлосног микроскопа *Leitz Orthoplan*, који је употребљен и за прецизно мерење дубине пенетрације и ширине завара. За мерење микротврдоће по Викерс методи употребљен је уређај *WilsonTukon 1102*. Мерење микротврдоће по Викерсу је обухватало мерење на 1 mm испод површине узорка (линија 1), 1 mm од максималне дубине увара (линија 2) и једна линија мерење по оси завара (линија 3) а сила оптерећења износила је 9,8 N.

3. РЕЗУЛТАТИ

3.1. Макро испитивање

Примери макро испитивања за узорке код којих је примењен активни топитељ као и контролни узорак приказани су на слици 1. Поред тога означене су и измерене вредности дубина пенетрације, ширина завара, однос дубине и ширине завара и површина завара. Код контролног узорка (0) готово нема надвишења завара, дубина пенетрације је најмања а однос дубине према ширини завара је најмањи. При употреби активног топитеља који садржи само оксидне честице микронске величине (5М) и топитеља са оксидним честицама претежно микронске величине (1Н4М) добија се елиптични облик завара уз знатну промену од односа дубине према ширини завара у односу на контролни узорак. Код узорака који садрже уравнотежен садржај оксидних честица микро и нано величине и узорака код којих је примењен топитељ са претежно нано честицама добија се израженија промена геометрије завара. Почевши од најмање израженог, скоро полукружног облика код узорка 5М до узорка 4Н1М код којег се добија највећа вредност дубине завара и најмања ширина уз најмањи однос између дубине и ширине завара. Код узорак 3Н3М, 2Н3М и 4Н1М примећује се да се са малом променом садржаја микро и нано оксидних честица добија велика промена у геометрији завара.



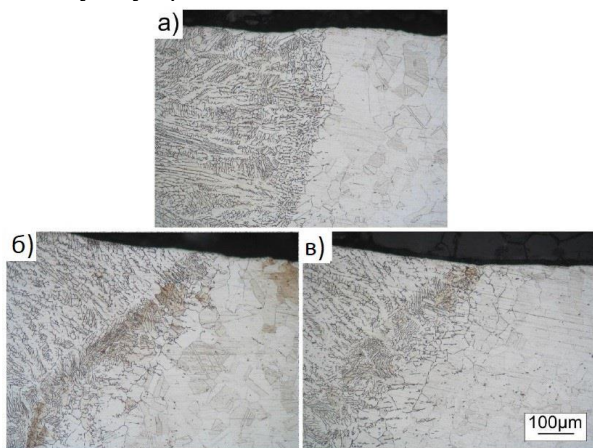
Слика 1. Приказ макро испитивања узорака

Активни топитељ који се састоји само од оксидних честица нано величине (5Н) даје мању дубину увара

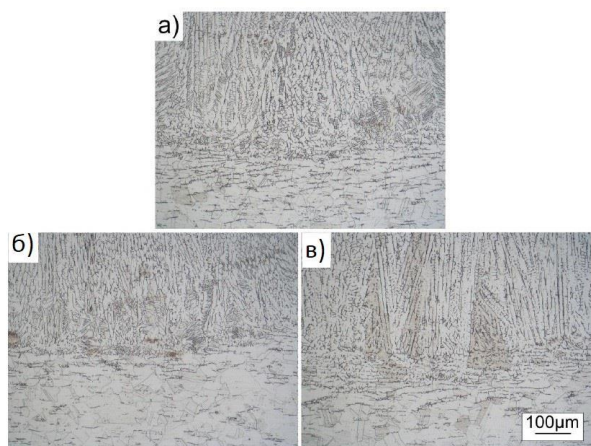
једино у односу на топитељ (2Н3М), док у односу на остале има већу дубину увара. Што се тиче односа дубине и ширине завара вредност је приближно 0,9 и по том параметру облик завара је доста сличан узорцима (2Н3М, 4Н1М).

3.2 Микроструктура

Феномен који се односи на микроструктурне карактеристике завареног споја, приказан је на неколико репрезентативних узорака као што су 0, 5М и 5Н. Узорци 5М и 5Н су узорци код којих је примењен активни топитељ. На основу резултата односа дубине и ширине код узорка 1М4Н долази се до закључка да је овај узорак највише склон појави локалне сегрегације у средњем делу завара. На слици 2. приказана је микроструктура узорака 0, 1М4Н и 5Н. На основу резултата може да се констатује да све микроструктуре одговарају типичној дендритској морфологији која се иначе налази код заварених спојева нерђајућег челика. Иако, код свих узорака дендрити изгледају слично издвајају се 1М4Н и 5Н код којих је дендритска структура нешто финија у односу на узорак 0.



Слика 2. Микроструктура завареног споја на површини линије стапања: а) Узорак 0; б) Узорак 1М4Н; в) Узорак 5Н



Слика 3. Микроструктура завареног споја на дну завара: а) Узорак 0; б) Узорак 1М4Н; в) Узорак 5Н

Микроструктура у близини линије стапања приказана је на сликама 2. и 3. На слици 2. приказана је микроструктура у близини линије стапања на површинском делу завара, док је на слици 3.

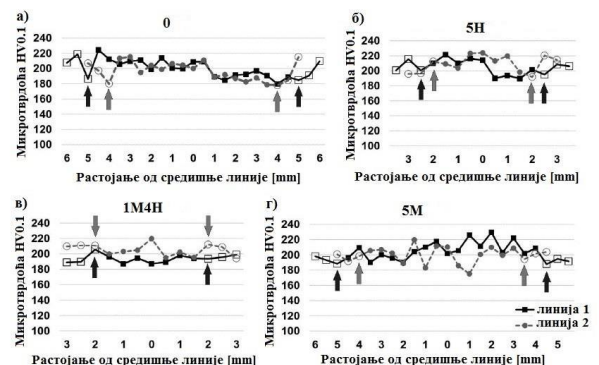
приказана линија стапања на дну завара. На основу резултата може да се примети да постоји значајна разлика између узорака добијених без присуства активног топитеља 0 и узорака код којих је употребљен активни топитељ при заваравању 1М4Н и 5Н. Код узорка 0 примењена је на површини завара појава крупнијих аустенитних зрна, док се та појава код узорака код којих је примењен активни топитељ 1М4Н и 5Н испољава на дну завара, испод линије стапања у основном материјалу.

3.3. Микротврдоћа

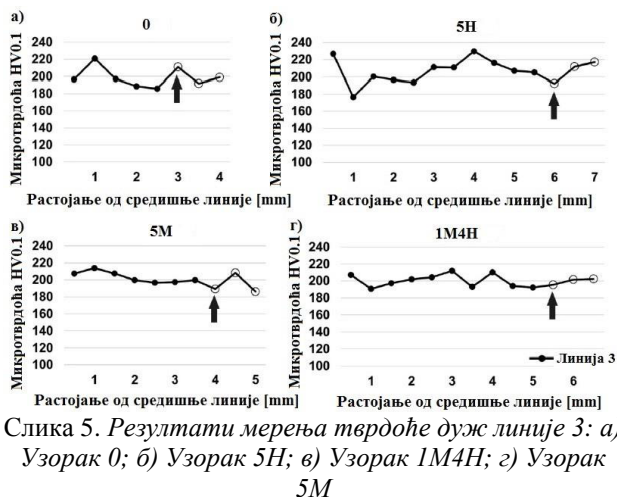
Испитивање микротврдоће обављено је на узорцима на којима је вршено испитивање и микроструктуре. Добијене вредности микротврдоће приказане су на сликама 4. и 5. Резултати који се налазе на слици 5. представљају вредности микротврдоће добијене мерењем дуж линије 1 и 2. Вредност микротврдоће измерене на линији 3 приказане су на слици 5. Минималне вредности микротврдоће за узорак (0) добијају се у близини површине стапања материјала, испод површине узорка (линија 1). Код узорака 5М, 1М4Н и 5Н минималне вредности добијају се на мерној линији 3.

4. ДИСКУСИЈА

Активни топитељи са различитим саставом нано и микро честица нису имали утицај на површину завара. Ово је у супротности са резултатима које су приказали Тсенг и Лин [33], који су успели да значајно повећају површину завареног споја уз примену активног топитеља на бази SiO₂ и Al₂O₃ наночестица у поређењу са употребом честица микро величине. Највећа дубина пенетрације постигнута је код узорка 5Н. Овај резултат делимично се поклапа са резултатима који су добијени у раду [33]. Наиме, у раду [33] употреба SiO₂ наночестица је имала ефикаснији утицај у односу на честице микро величине, док се при примени Al₂O₃ наночестица није приметила значајна разлика у односу на честице микро величине. У овом раду употреба TiO₂ наночестица показала се ефикаснијом у односу на микро честице. Међутим, најбољи резултат добијен је са мешавином нано и микро оксидних честица.



Слика 4. Резултати мерења тврдоће дуж линија 1 и 2: а) Узорак 0; б) Узорак 5Н; в) Узорак 1М4Н; г) Узорак 5М



Слика 5. Резултати мерења тврдоће дуж линије 3: а) Узорак 0; б) Узорак 5H; в) Узорак 1M4H; г) Узорак 5M

Сличан тренд примећен је и при праћењу односа дубине и ширине шави. Модел течења материјала при заваривању ТИГ односно А-ТИГ поступком приказан је на слици 6.

Код узорак добијених заваривањем ТИГ поступком тврдоћа у близини линије стапања материјала и близини површине завара има значајно мање вредност у поређењу са узорцима код којих је употребљен активни топитељ.

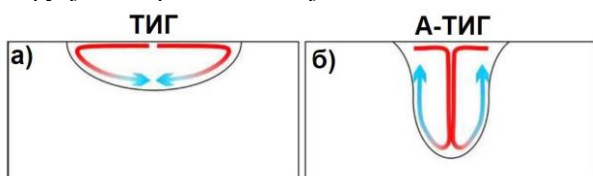
Ова констатација се подудара и са добијеном микроструктуром у овим зонама. Наиме, крупна аустенитна зрна која се јављају у самом завару одговарају мањим вредностима измерене тврдоће у овој области.

Све ово указује на то да растопљени метал који настаја конвенционалним ТИГ заваривањем има кретање према линији стапања односно према основном материјалу преносећи при том топлоту на основни материјал.

Ова топлота узрокује раст аустенитних зрна. На овај начин долази до повећања аустенитних зрна само на линији стапања док у зони испод завара аустенитна зрна остају непромењена.

Обрнута Марангонијева конвекција код узорак код којих је примећен активни топитељ узрокују да растопљени метал има кретање ка унутра и на тај начин продире у основни материјал. Ово узрокује знатно већу дубину пенетрације а као спољашњи ефекат јавља се пренос топлоте на основни материјал и као резултат добијају се крупна аустенитна зрна у области испод завара.

Насупрот томе, аустенитна зрна у близини линије стапања са основним материјалом остају непромењена јер је растопљен метал који је достигао ово подручје већ пренео део своје топлоте.



Слика 6. Модел течења метала код ТИГ односно А-ТИГ поступка: а) Без употребе активног топитеља; б) Употреба активног топитеља

5. ЗАКЉУЧЦИ

Према резултатима представљеним у оквиру овог рада, могу да се донесу следећи закључци.

- Наночестице су се показале ефикасније за повећање дубине пенетрације у односу на микрочестице док се најефикасније показала мешавина нано и микрочестица.

-Код узорак код којих није примећен активни топитељ дошло је до укрупњавања величине зрна у близини линије стапања испод површине основног материјала, резултирајући на тај начин смањеном тврдоћом у овој зони.

-Код узорак који су заваривани уз присуство активног топитеља такође је дошло до укрупњавања величине зрна али у зони исподповршине завара, резултирајући на исти начин смањење тврдоће у овој зони.

-Главни узрок смањења тврдоће и повећања величине зрна испод површине основног материјала и испод површине завара може да се припише течењу материјала високе температуре у близини ове области услед чега долази до преноса топлоте на основни материјал.

6. ЗАХВАЛНОСТ

Резултати презентовани у овом раду су реализовани у оквиру пројекта „Савремене методе испитивања у науци о материјалима и заваривању у производном машинству“, Департмана за производно машинство, ФТН Нови Сад.

7. ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Митровић М.: Наваривање тврдих легура, Факултет техничких наука, Нови Сад, 2015.
- [2] Тордаш Д.: Орбитално заваривање нерђајућих челика, Пула, Пула, 2007.
- [3] К.-Н. Tseng, С.-Y. Hsu, Performance of activated TIG process in austenitic stainless steel welds, J. Mater. Process. Tech. 211 (2011) 503–512.

Кратка биографија:



Драган Перановић рођен у Теслићу 1994. године. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Машинство – Материјали и технологије спајања одбранио је 2019. године.



Проф. др Себастијан Балаш рођен је у Сомбору 1974. год. Докторирао је на Факултету техничких наука 2010. год., а 2016. год. је биран у звање ванредног професора из уже области Материјали и технологија спајања.