

Bore Jegdić^{1*}, Biljana Bobić¹, Dragan Nedeljković²,
Behar Alić³

¹Univerzitet u Beogradu, Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju, IHTM, Beograd, Srbija, ²Evropski univerzitet, Fakultet za evropski biznis i marketing, Beograd, Srbija, ³Institut za metalurgiju "Kemal Kapetanović", Zenica, Bosna and Hercegovina

Naučni rad

ISSN 0351-9465, E-ISSN 2466-2585

UDC:620.193.7:621.791.7

doi:10.5937/ZasMat1703297J



Zastita Materijala 58 (3)
297 - 303 (2017)

Uticaj jačine struje zavarivanja na otpornost prema piting koroziji zavarenog spoja nerđajućeg čelika X5CrNi18-10

IZVOD

Ispitan je uticaj jačine struje zavarivanja na otpornost prema piting koroziji zavarenog spoja austenitnog nerđajućeg čelika X5CrNi18-10. Zavarivanje austenitnog nerđajućeg čelika je izvršeno primenom tri različite jačine struje (110 A, 130 A i 150 A). Ispitivanja otpornosti prema piting koroziji su izvršena elektrohemijskom potenciodinamičkom metodom na osnovnom metalu, u zoni uticaja toplote (ZUT) i u metalu šava zavarenog spoja. Vrednosti pokazatelja piting korozije za osnovni metal su bliske vrednostima odgovarajućih pokazatelja za metal šava, nezavisno od primenjene jačine struje pri zavarivanju. Vrednosti pokazatelja piting korozije u ZUT-u su manje od vrednosti odgovarajućih pokazatelja za osnovni metal i metal šava. To je posledica delimičnog izdvajanja hrom-karbida po granicama zrna i obrazovanja hromom osiromašenih oblasti uz granicu zrna u ZUT-u. ZUT formiran pri jačini struje zavarivanja od 150 A pokazuje najmanju otpornost prema piting koroziji, što se može objasniti najvećim osiromašenjem prigraničnih oblasti zrna hromom pri ovoj jačini struje zavarivanja. Tada je i sklonost ZUT-a prema interkristalnoj koroziji najveća. Povećanjem stepena senzibilizacije ZUT-a prema interkristalnoj koroziji vrednost potencijala metastabilnog pitinga se linearno smanjuje, što znači da se smanjuje otpornost ZUT-a prema piting koroziji.

Ključne reči: nerđajući čelici, zavareni spoj, piting korozija, metode ispitivanja.

1. UVOD

Piting korozija nerđajućih čelika se često odvija u hloridnim rastvorima. U tim rastvorima piting korozija se odvija kroz tri različita stupnja: nukleacija pitova, rast i repasivacija metastabilnih pitova i rast stabilnih pitova [1,2]. Nukleacija pitova zavisi od karakteristika pasivnog filma, dok sastav nerđajućeg čelika ima veći uticaj na rast i repasivacija metastabilnih pitova, kao i rast stabilnih pitova, nego pasivni film. Pre obrazovanja metastabilnih pitova dolazi do razaranja pasivnog filma na površini nerđajućeg čelika. Razaranja pasivnog filma dešava se 10 do 100 puta češće nego nastajanje metastabilnih pitova, što je u skladu sa pretpostavkom da samo deo nastalih pitova raste i transformiše se u metastabilne pitove [2]. Frankel smatra da je repasivacija metastabilnih pitova povezana sa razaranjem pokrivnog sloja iznad metastabilnog pita i razblaživanjem lokalne korozione sredine u pitu [3].

Galvele je predložio model lokalnog zakišeljavanja korozione sredine u pitu, usled hidrolize metalnih jona, kao uslov za rast stabilnih pitova [4]. Ovaj model objašnjava uticaj hloridnih anjona, pH vrednosti rastvora i uticaj inhibitorских jona na vrednost E_{pit} . U skladu sa ovim modelom E_{pit} nije potencijal nastajanja pita, već potencijal pri kome stabilni pitovi rastu. Sastav rastvora unutar pita ima veći uticaj na rast stabilnih pitova nego stanje pasivnog filma [2].

Pri obrazovanju pita nastaje elektrohemijski korozioni spreg između pasivne površine nerđajućeg čelika i aktivne površine na dnu pita. Prisustvo hloridnih jona onemogućava repasivaciju površine na dnu pita, koja se ubrzano anodno rastvara. Tokom hidrolize metalnih jona na dnu pita dolazi do smanjenja pH vrednosti rastvora [5]. Pokazano je da je kod nerđajućih čelika u neutralnim hloridnim rastvorima ($0.5 \text{ mol dm}^{-3} \text{ NaCl}$) pH vrednost rastvora unutar pita niža od 1, dok je koncentracija hloridnih jona $6,2 \text{ mol dm}^{-3}$ [6].

Kod zavarenih spojeva nerđajućih čelika pitovi se često obrazuju na mestima sa određenom mikrostrukturom. Pitovi se lakše obrazuju na mestima metalurške heterogenosti. Hromom osiromašene oblasti u ZUT-u, koje nastaju kada se austenitni

*Autor za korespondenciju: Bore Jegdić

E-mail: borejegdic@yahoo.com

Rad primljen: 11. 06. 2017.

Rad prihvaćen: 30. 06. 2017.

Rad je dostupan na sajtu: www.idk.org.rs/casopis

nerđajući čelik zagreva do temperature na kojoj se odvija senzibilizacija (pri zavarivanju), su često podložne pitingu. Pitovi takođe mogu da se formiraju na granicama faza austenit-ferit u zavarenim spojevima (metal šava) nerđajućih čelika [7]. Prisustvo hroma, nikla, molibdena i azota u nerđajućem čeliku utiče na povećanje otpornosti prema piting koroziji. Molibden i azot pokazuju naročito povoljan uticaj [8].

Strukturu metala šava zavarenog spoja u osnovi čini austenit i δ -ferit. Određen sadržaj δ -ferita je potreban u metalu šava da bi se sprečila pojava toplih prslina tokom očvršćavanja zavarenog spoja [9]. Sadržaj hroma u δ -feritu je dosta visok i iznosi ~ 47 %, tako da njegovo prekomerno izdvajanje dovodi do osiromašenja hromom austenitne matrice. Pored δ -ferita u metalu šava mogu se pojaviti sekundarne faze, pre svega σ -faza koja nastaje iz δ -ferita [9].

Jačina struje zavarivanja je u direktnoj korelaciji sa unetom količinom toplote u zavareni spoj, odnosno sa pojavom različitih strukturnih transformacija u zavarenom spoju (zona uticaja toplote i metal šava). Pri većim jačinama struje zavarivanje dolazi do intenzivnijih strukturnih transformacija u zavarenom spoju, odnosno do senzibilizacije zavarenog spoja.

Otpornost nerđajućih čelika prema piting koroziji može se odrediti elektrohemijском potenciodinamičkom metodom, u skladu sa standardom ASTM G 61 [10]. Sa anodnih polarizacionih krivih mogu se očitati vrednosti piting potencijala E_{pit} i potencijala metastabilnog pitinga E_{mpit} . Na poten-

Tabela 1. Hemijski sastav nerđajućeg čelika i elektrode za zavarivanje, mas. %

Table 1. Chemical composition of stainless steel and welding electrode, wt. %

Oznaka	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N
X5CrNi18-10	0,04	0,34	1,20	0,007	0,006	18,8	9,5	0,22	0,05
MW 308 LSi	0,03	0,80	1,90	0,007	0,007	20,1	9,90	0,07	0,06

Kao što se vidi iz tabele 1 ispitivanja su izvršena na nerđajućem čeliku sa niskim sadržajem ugljenika. Sadržaj δ -ferita u metalu šava zavarenog spoja je izmeren pomoću uređaja FERITSCOP FER 3. Određen je i feritni broj koji predstavlja udeo δ -ferita, izražen u procentima, u strukturi metala šava. Feritni broj je iznosio 9 do 10. Prema tome uticaj jačine struje zavarivanja na vrednost feritnog broja je bio mali.

Pre ispitivanja, uzorci su brušeni brusnom hartijom finoće 400, a zatim sve finijom hartijom do finoće 1000. Uzorci su zatim odmašćeni etanolom, isprani destilovanom vodom i osušeni na vazduhu.

2.2. Ispitivanje otpornosti prema piting koroziji

Ispitivanja su vršena potenciodinamičkom metodom u rastvoru 0,3 M NaCl + 0,1 M Na₂SO₄, na

cijalima pozitivnijim od E_{pit} nastaju pitovi, koji dalje stabilno rastu. E_{mpit} je potencijal pri kome dolazi do obrazovanja metastabilnih pitova [11]. Metastabilni pitovi se posle relativno kratkog vremena repasiviraju. Kao merilo otpornosti nerđajućeg čelika prema piting koroziji uzima se vrednost E_{pit} ili vrednost $E_{pit}-E_{kor}$ [12,13]. Takođe, vrednost E_{mpit} [11] se može koristiti kao merilo otpornosti nerđajućeg čelika prema piting koroziji.

Kod nerđajućih čelika sa niskim sadržajem ugljenika tokom zavarivanja ne dolazi do značajnijeg izdvajanja hrom-karbida na granicama zrna u ZUT-u, odnosno osiromašenja prigraničnih oblasti zrna hromom (mali stepen senzibilizacije zavarenog spoja). Cilj ovog rada je da se ispita uticaj jačine struje zavarivanja na otpornost zavarenog spoja (metal šava i zona uticaja toplote) prema piting koroziji nerđajućeg čeliku sa niskim sadržajem ugljenika.

2. EKSPERIMENTALNI DEO

2.1. Materijal

Uzorci od nerđajućeg čelika X5CrNi18-10 debljine 6 mm, zavareni su TIG postupkom, uz korišćenje uređaja za zavarivanje sa automatskim dodavanjem žice. Jačina struje tokom zavarivanja je bila 110A, 130A i 150A. Kao zaštitni gas za zavarivanje korišćen je argon. Hemijski sastav nerđajućeg čelika (X5CrNi18-10) i dodatnog materijala, sa oznakom proizvođača (Askaynak) MW 308LSi (G 19 9 LSi prema EN 12072 [14]) prikazan je u tabeli 1.

sobnoj temperaturi (23 ± 2 °C). Na elektrohemijском ćeliju je montiran uzorak (radna elektroda), tako da je površina uzorka izložena dejstvu rastvora bila 0,785 cm². U ćeliju je postavljena referentna (zasićena kalomelova elektroda, ZKE) i pomoćna elektroda (Pt mreža). U rastvoru za ispitivanje, na uzorku je uspostavljen relativno stabilan korozioni potencijal E_{kor} . Posle uspostavljanja stabilnog E_{kor} snimane su anodne krive polarizacije pri brzini promene potencijala 0,5 mV s⁻¹. Ispitivanja su vršena pomoću potencioštata BIOLOGIC SP 200.

Sa anodnih krivih polarizacije određene su vrednosti piting potencijala E_{pit} i potencijala metastabilnog pitinga E_{mpit} . Piting potencijal E_{pit} definiše se kao potencijal koji odgovara gustini anodne struje od 10 μ A cm⁻² u oblasti stabilnog rasta pitova, prema standardu ISO 15158 [15]. Potencijal meta-

stabilnog pitinga E_{mpit} je potencijal pri kome gustina struje dostiže vrednost veću od $0,02 \mu\text{A cm}^{-2}$ u odnosu na gustinu struje pasivacije.

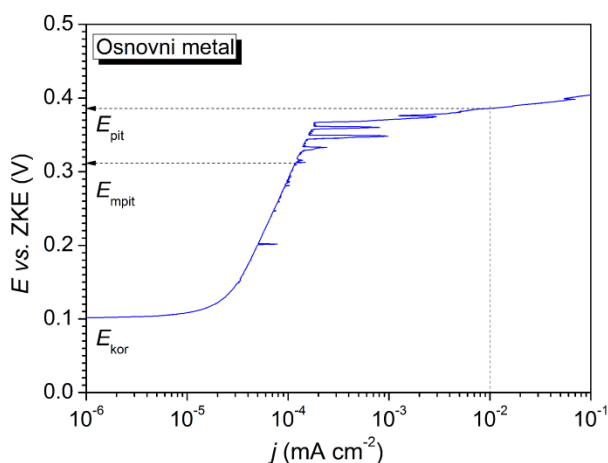
2.3. Skenirajući elektronski mikroskop (SEM)

Morfologija površine nerđajućeg čelika posle ispitivanja piting korozije analizirana je primenom skening elektronskog mikroskopa JEOL JSM-5800, koji radi na 20 keV.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

3.1. Ispitivanja piting korozije

Na slici 1 prikazana je anodna polarizaciona kriva za osnovni metal, dobijena potenciodinamičkom metodom u rastvoru $0,3 \text{ M NaCl} + 0,1 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$.



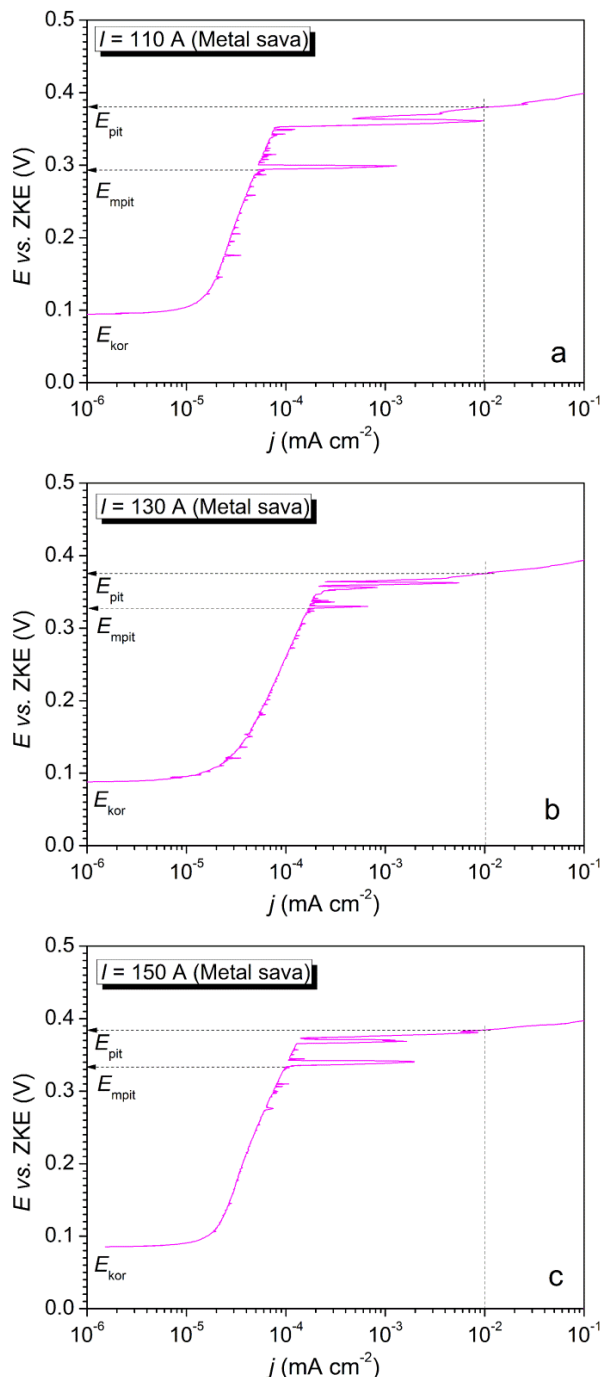
Slika 1. Anodna polarizaciona kriva za osnovni metal.

Figure 1. Anodic polarization curve for base metal.

Na slikama 2 a-c su prikazane anodne polarizacione krive za metal šava formiran pri struji zavarivanja 110 A (slika 2a), 130 A (slika 2b) i 150 A (slika 2c). Na slikama 3 a-c su prikazane anodne polarizacione krive za ZUT koji je formiran pri različitim strujama zavarivanja (110 A, 130 A i 150 A). Na slikama su naznačeni korozioni potencijal E_{kor} , potencijal obrazovanja pitova E_{pit} i potencijal obrazovanja metastabilnih pitova E_{mpit} .

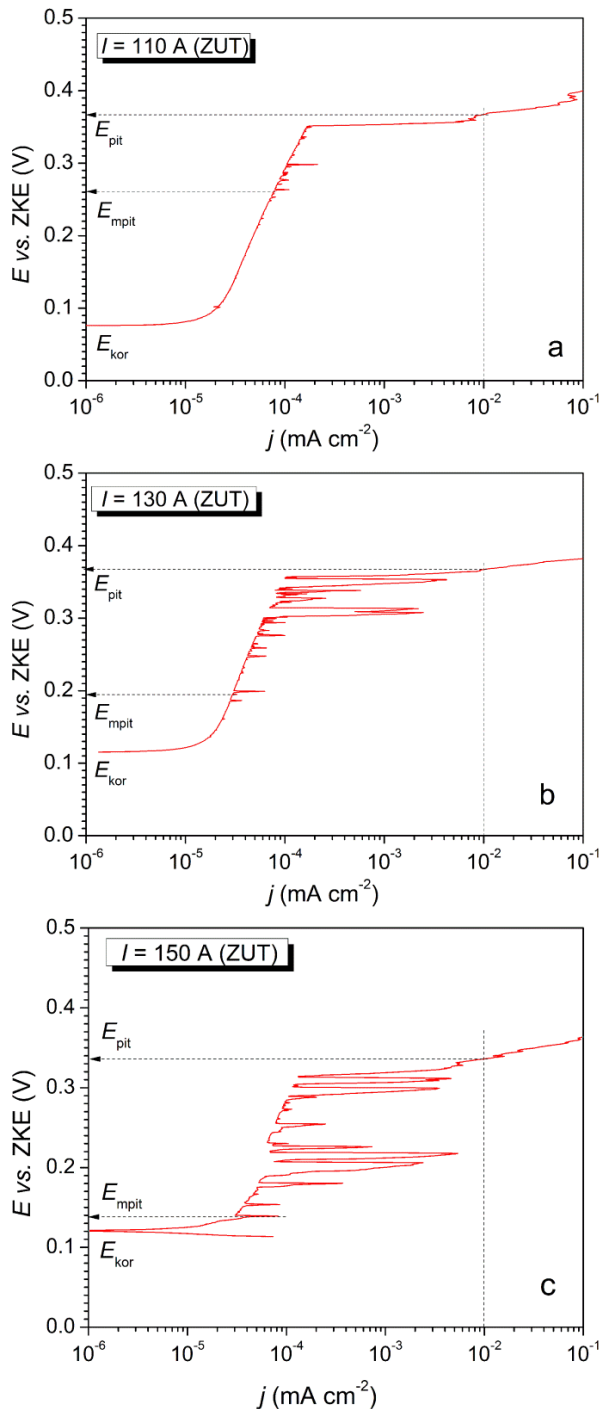
Tokom ispitivanja, na anodnim polarizacionim krivama su primećeni relativno mali strujni pikovi, što odgovara pojavi metastabilnog pitinga na površini nerđajućeg čelika. Pojava metastabilnog pitinga se manifestuje postepenim povećanjem struje do određene vrednosti, a zatim naglim padom struje, što ukazuje na repasivaciju metastabilnih pitova (slika 4). Izgled polarizacionog dijagrama na slici 4 je karakterističan za pojavu metastabilnog pitinga na austenitnim nerđajućim

čelicima [2]. Pri daljem povećanju potencijala, stvaraju se uslovi za pojavu stabilnih pitova na površini čelika. Tokom rasta stabilnih pitova struja se naglo povećava i nastavlja da kontinualno raste.



Slika 2. Anodne polarizacione krive za metal šava, formiran pri različitim jačinama struje zavarivanja: a) $I = 110 \text{ A}$, b) $I = 130 \text{ A}$ i c) $I = 150 \text{ A}$.

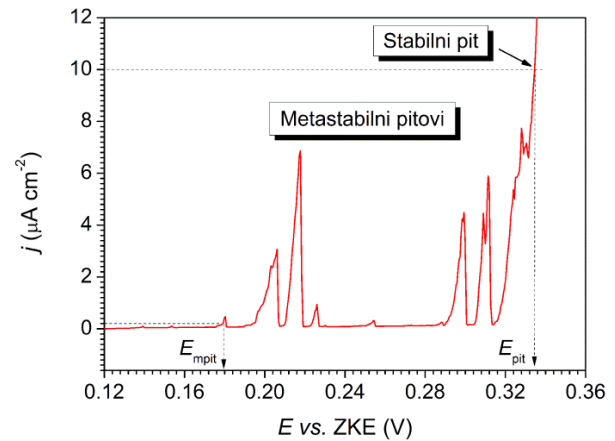
Figure 2. Anodic polarization curves for weld metal, formed at different intensity of welding current: a) $I = 110 \text{ A}$, b) $I = 130 \text{ A}$ and c) $I = 150 \text{ A}$.



Slika 3. Anodne polarizacione krive za zonu uticaja toplote, koja je formirana pri različitim jačinama struje zavarivanja: a) $I = 110$ A, b) $I = 130$ A i c) $I = 150$ A.

Figure 3. Anodic polarization curves for heat affected zone, formed at different intensity of welding current: a) $I = 110$ A, b) $I = 130$ A and c) $I = 150$ A.

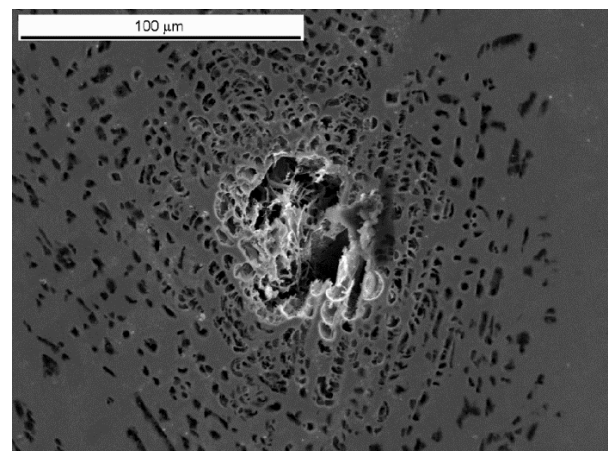
U tabeli 2 prikazane su vrednosti pokazatelja piting korozije nerđajućeg čelika, koje su određene sa odgovarajućih anodnih polarizacionih krivih (slike 1-3).



Slika 4. Izgled anodnog polarizacionog dijagrama sa metastabilnim i stabilnim pitingom na ispitivanom nerđajućem čeliku.

Figure 4. Appearance of anodic polarization diagram with metastable and stable pitting on tested stainless steel.

Na slici 5 je prikazan SEM snimak pitinga koji se formirao na nerđajućem čeliku tokom potenciodinamičkih ispitivanja (završna faza formiranja pita). Izgled prikazanog pita je karakterističan za austenitne nerđajuće čelike u hloridnim rastvorima.



Slika 5. SEM snimak karakterističnog pita na ispitivanom nerđajućem čeliku.

Figure 5. SEM microphotograph of characteristic pit on tested stainless steel.

Kao što se vidi iz table 2, vrednosti svih pokazatelja piting korozije (E_{mpit} , E_{pit} i $E_{pit} - E_{kor}$) za ZUT su manje nego odgovarajuće vrednosti za osnovni metal i metal šava. To je posledica prisustva senzibilizovanih oblasti (oblasti osiromašene hromom) u blizini granica zrna (u ZUT-u) usled izdvajanja hrom karbida $M_{23}C_6$. U senzibilizovanim oblastima olakšano je obrazovanje metastabilnih pitova. Sa povećanjem jačine struje zavarivanja povećava se unos toplote u ZUT, tako da oblasti osiromašene hromom postaju sve izraženije, pa se metastabilni

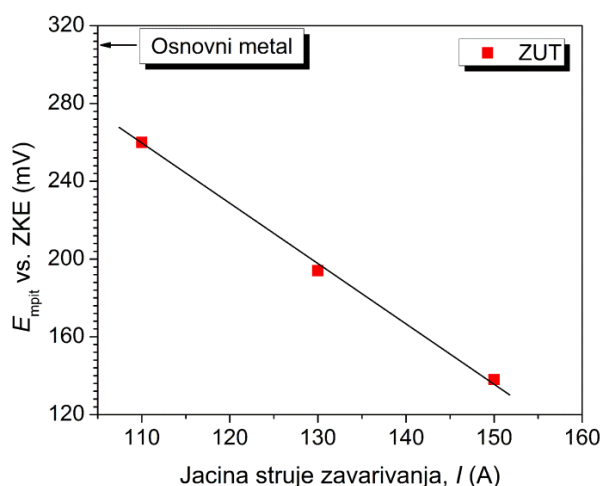
pitovi lakše formiraju u tim oblastima. Ako se uporede polarizacione krive na slici 3 a-c, može se uočiti da se pri povećanju jačine struje zavarivanja vrednost E_{mpit} izrazito smanjuje. Veličina i broj strujnih pikova koji odgovaraju pojavi metastabilnih pitova se pri tome povećava. Međutim, treba imati u vidu da je struktura ZUT-a u izvesnoj meri homogenija nego struktura osnovnog metala. To je posledica unosa toplote tokom zavarivanja, pa u

ZUT-u dolazi do olakšane difuzije legirajućih elemenata i izvesne homogenizacije njegovog sastava, kao i do smanjenja broja dislokacija (kretanje dislokacija do mesta njihovog neutralisanja je olakšano na višim temperaturama). Usled toga je u izvesnoj meri umanjen negativan uticaj prisustva senzibilizovanih oblasti na otpornost ZUT-a prema piting koroziji.

Tabela 2. Pokazatelji piting korozije nerđajućeg čelika X5CrNi18-10

Table 2. Indicators of pitting corrosion resistance of stainless steel X5CrNi18-10

	Jačina struje zavarivanja, I (A)	E_{corr} (mV)	E_{mpit} (mV)	E_{pit} (mV)	$E_{pit} - E_{corr}$ (mV)
Osnovni metal	-	100	310	385	285
ZUT	110	78	260	364	286
	130	115	194	368	253
	150	120	138	335	215
Metal šava	110	92	292	380	288
	130	88	328	374	286
	150	86	332	384	298



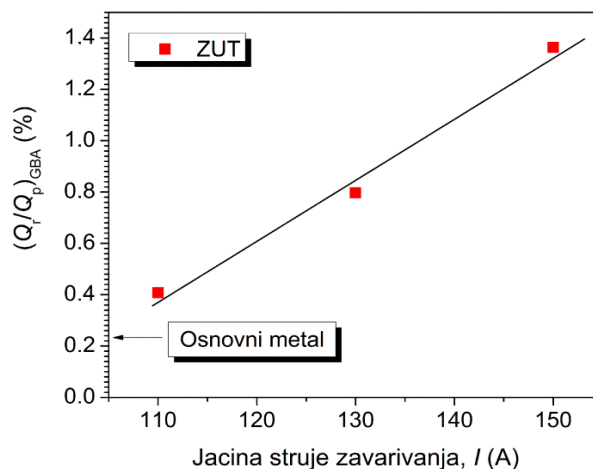
Slika 6. Uticaj jačine struje zavarivanja na vrednost potencijala metastabilnog pitinga.

Figure 6. Influence of welding current intensity on value of metastable pitting potential.

Na slici 6 je prikazana zavisnost potencijala metastabilnog pitinga E_{mpit} u ZUT-u od jačine struje zavarivanja. Vidi se da se vrednost E_{mpit} linearno smanjuje sa povećanjem jačine struje zavarivanja.

Na slici 7 su prikazani rezultati određivanja stepena sklonosti ispitivanog austenitnog nerđajućeg čelika prema interkristalnoj koroziji. Ispitivanja su izvedena elektrohemijomski potencio kinetičkom metodom sa dvostrukom petljom (DL EPR metoda). Sa slike 7 se vidi da sa povećanjem jačine struje zavarivanja dolazi do povećanja sklonosti ZUT-a prema interkristalnoj koroziji. Senzibilizacija ZUT-a dovodi do smanjenja njegove otpornosti prema piting koroziji u odnosu na otpornost osnovnog metala. Zona uticaja toplote u zavarenom spoju koji

je formiran uz primenu jačine struje od 150 A pokazuje najveći stepen senzibilizacije (najveća vrednost pokazatelja $(Q_f/Q_p)_{GBA}$) i najmanju otpornost prema piting koroziji (tabela 2). Pri ovoj jačini struje zavarivanja došlo je do najvećeg unosa toplote u zavareni spoj.



Slika 7. Uticaj jačine struje zavarivanja na stepen senzibilizacije ZUT-a [17].

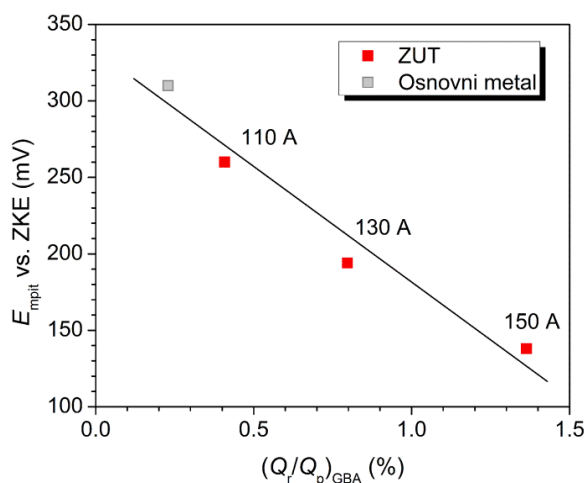
Figure 7. Influence of welding current intensity on degree of sensitization HAZ [17].

To je dovelo do pojave senzibilizacije ZUT-a u većem stepenu nego pri zavarivanju sa manjim jačinama struje. Ipak, stepen senzibilizacije ZUT-a za sve jačine struje zavarivanja je manji od stepena senzibilizacije pri kojem dolazi do interkristalne korozije u realnim uslovima eksploatacije. Prema standardu ISO 12732 [16] do interkristalne korozije dolazi ako je pokazatelj $(Q_f/Q_p)_{GBA}$ veći od 5 %. Kod nerđajućih čelika sa većim sadržajem ugljenika (većim od 0,04 mas. % C), dolazi do značajne

senzibilizacije ZUT-a tokom zavarivanja, tako da se može očekivati značajno smanjenje otpornosti prema piting koroziji ZUT-a, naročito pri većim jačinama struje zavarivanja.

Poređenjem slika 6 i 7 vidi se da postoji određena korelacija između sklonosti ZUT-a prema interkristalnoj koroziji i vrednosti potencijala metastabilnog pitinga E_{mpit} u ZUT-u. Pokazatelj sklonosti prema interkristalnoj koroziji $(Q_r/Q_p)_{GBA}$ se linearno povećava, dok se vrednost E_{mpit} linearno smanjuje sa povećanjem jačine struje zavarivanja.

Na slici 8 prikazana je zavisnost potencijala obrazovanja metastabilnog pitinga E_{mpit} od stepena senzibilizacije zone uticaja toplote $(Q_r/Q_p)_{GBA}$. Sa porastom stepena senzibilizacije ZUT-a linearno se smanjuje vrednost potencijal metastabilnog pitinga, odnosno smanjuje se otpornost ZUT-a prema piting koroziji.



Slika 8. Zavisnost potencijala obrazovanja metastabilnog pitinga od stepena senzibilizacije.

Figure 8. Dependence of metastable pitting potential on degree of sensitization.

Vrednost potencijala pitinga E_{pit} na metalu šava je bliska vrednosti potencijala pitinga E_{pit} na osnovnom metalu, iako metal šava sadrži veću koncentraciju hroma nego osnovni metal, pa bi se mogla očekivati veća vrednost E_{pit} za metal šava. Manja vrednost E_{pit} od očekivane je verovatno posledica izdvajanja δ -ferita u metalu šava (faze bogate hromom), što izaziva osiromašenje austenitne matrice hromom. Sadržaj δ -ferita u metalu šava je iznosio ~ 9 do 10 %, nezavisno od jačine struje zavarivanja. Na granici faza ferit-austenit olakšano je formiranje pitova. Kao i u slučaju ZUT-a, pri većim jačinama struje zavarivanja došlo je do homogenizacije strukture metala šava u izvesnoj meri i do ravnomernije raspodele legirajućih elemenata. Pri najvećoj jačini struje zavarivanja (150 A) dobijena je nešto veća vrednost razlike $E_{pit} - E_{kor}$ za metal šava nego za osnovni metal. Pored homogenizacije strukture metala šava pri većem unosu toplote (veća jačina

struje zavarivanja) verovatno je došlo do ukрупnjavanja čestica δ -ferita, a to je dovelo do smanjenja površine granice faza ferit-austenit.

4. ZAKLJUČAK

Ispitana je otpornost prema piting koroziji zavarenog spoja nerđajućeg čelika X5CrNi18-10 u zavisnosti od jačine struje zavarivanja. Ispitivanje je izvršeno potenciodinamičkom metodom u rastvoru 0,3 M NaCl + 0,1 M Na₂SO₄, na osnovnom metalu, u metalu šava i u ZUT-u zavarenog spoja. Zavarivanje je izvršeno pri različitim jačinama struje zavarivanja (110 A, 130 A i 150 A).

Vrednosti piting potencijala E_{pit} u ZUT-u su manje od vrednosti piting potencijala E_{pit} na osnovnom metalu i metalu šava. To je posledica izdvajanja hrom-karbida po granicama zrna i delimičnog obrazovanja hromom osiromašenih oblasti u ZUT-u. Do ove pojave je došlo iako je sadržaj ugljenika u ispitivanom nerđajućem čeliku nizak (0,04 mas. % C). ZUT formiran pri jačini struje zavarivanja od 150 A pokazuje najmanju otpornost prema piting koroziji (tada je najveći unos toplote u zavareni spoj). To je dovelo do veće senzibilizacije ZUT-a nego pri zavarivanju sa manjim jačinama struje. Takođe, razlika vrednosti $E_{pit} - E_{kor}$ za ZUT je manja nego za osnovni metal i metal šava, za sve primenjene jačine struje zavarivanja. To ukazuje na manju otpornost ZUT-a prema piting koroziji u odnosu na metal šava i osnovni metal.

Vrednosti piting potencijala E_{pit} u metalu šava su bliske vrednostima piting potencijala E_{pit} na osnovnom metalu. To je verovatno posledica izdvajanja δ -ferita u metalu šava (faze bogate hromom), što izaziva osiromašenje austenitne matrice hromom, pa je na tim mestima olakšano formiranje pitova.

Vrednost pokazatelja sklonosti ispitivanog nerđajućeg čelika prema interkristalnoj koroziji $(Q_r/Q_p)_{GBA}$ u ZUT-u se linearno povećava, dok se vrednost potencijala metastabilnog pitinga E_{mpit} u ZUT-u linearno smanjuje sa povećanjem jačine struje zavarivanja. To znači da se sa porastom stepena senzibilizacije ZUT-a smanjuje vrednost potencijal metastabilnog pitinga, odnosno smanjuje se otpornost ZUT-a prema piting koroziji.

Na osnovu prikazanih rezultata može se zaključiti da je otpornost zavarenog spoja nerđajućeg čelika X5CrNi18-10 prema piting koroziji u zoni uticaja toplote (ZUT) manja pri većem unosu toplote u zavareni spoj, odnosno pri većoj jačini struje zavarivanja.

Zahvalnica

Rad je finansiran od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja republike Srbije, projekti TR 34028 i TR 34016.

5. LITERATURA

- [1] G.S. Frankel (2003) Pitting Corrosion, Corrosion: Fundamentals, Testing, and Protection, Vol 13A, ASM Handbook, ASM International, Ohio, p.236–241.
- [2] J. Soltis (2015) Passivity breakdown, pit initiation and propagation of pits in metallic materials – Review, Corrosion Science, 90, 5-22.
- [3] G.S. Frankel (1998) Pitting Corrosion of Metals. A Review of the Critical Factors, Journal of Electrochemical Society, 145, 2186-2198.
- [4] J.R. Galvele (1976) Transport Processes and the Mechanism of Pitting of Metals, *Journal of Electrochemical Society*, 123, 464-474.
- [5] A.A. Seys, M.J. Brabers, A.A. Van Haute (1974) Analysis of the Influence of Hydrogen on Pitting Corrosion and Stress Corrosion of Austenitic Stainless Steel in Chloride Environment, Corrosion, 30, 47-52.
- [6] T. Suzuki, M. Yamabe, Y. Kitamura (1973) Composition of Anolyte Within Pit Anode of Austenitic Stainless Steels in Chloride Solution, Corrosion, 29, 18-22.
- [7] Corrosion of Austenitic Stainless Steel Weldments in Corrosion of Weldments, J.R. Davis, ed., (2006) ASM International, Materials Park, Ohio, p. 43-75.
- [8] K.H. Lo, C.H. Shek, J.K.L. Lai (2009) Recent developments in stainless steels, Materials Science and Engineering R, 65, 39–104.
- [9] Basic Understanding of Weld Corrosion in Corrosion of Weldments, J.R. Davis, ed., (2006) ASM International, Materials Park, Ohio, p. 1-12.
- [10] Standard Test Method for Conducting Cyclic Potentiodynamic Polarization Measurements for Localized Corrosion Susceptibility of Iron-, Nickel-, or Cobalt-Based Alloys - ASTM G61
- [11] Yu. Tang, Yu. Zuo, J. Wang, Xu. Zhao, B. Niu, B. Lin (2014) The metastable pitting potential and its relation to the pitting potential for four materials in chloride solutions, Corrosion Science, 80, 111–119.
- [12] M. Pourbaix, L. Klimzack-Mathieu, C. Mertens, J. Meunier, C. Vanluegen-Haghe, L. de Munck, J. Laureys, L. Neelemans, M. Warzee (1963) Potentiokinetic and Corrosimetric Investigations of the Corrosion Behavior of Alloy Steels, Corrosion Science, 3, 239-259.
- [13] Standard Test Method for Conducting Cyclic Potentiodynamic Polarization Measurements to Determine the Corrosion Susceptibility of Small Implant Devices - ASTM F2129.
- [14] Welding Consumables - Wire Electrodes, Wires and Rods for Arc Welding of Stainless and Heat-resisting Steels – Classification - EN 12072.
- [15] Method of measuring the pitting potential for stainless steels by potentiodynamic control in sodium chloride solution – ISO 15158.
- [16] Electrochemical potentiokinetic reactivation measurement using the double loop method (based on Čihal's method) - ISO 12732.
- [17] B. Jegdić, B. Bobić, B. Alić (2017) Uticaj jačine struje zavarivanja na sklonost prema interkristalnoj koroziji zavarenog spoja nerđajućeg čelika X5CrNi18-10, Zavarivanje i zavarene konstrukcije, (in press).

ABSTRACT

INFLUENCE OF WELDING CURRENT INTENSITY ON PITTING CORROSION RESISTANCE IN WELDED JOINT OF STAINLESS STEEL X5CRNI18-10

The effect of welding current on the pitting corrosion resistance in the welded joint of austenitic stainless steel X5CrNi18-10 was tested. Welding was carried out using three different current intensity (110 A, 130 A and 150 A). Testing of pitting corrosion resistance was performed by electrochemical potentiodynamic method on the base metal, in the heat affected zone (HAZ) and in the weld metal. Values of pitting corrosion resistance indicators for the base metal are similar to values of the indicators for the weld metal, regardless of the applied welding current. The values of indicators for pitting corrosion resistance in the HAZ are less than the values of these indicators for the base metal and for the weld metal. This is caused by the precipitation of chromium carbides at grain boundaries and by partial formation of chromium depleted areas along the grain boundaries in the HAZ. HAZ that was formed at welding current of 150 A shows the smallest pitting corrosion resistance. This can be explained by the largest depletion in chromium of grain boundary areas at welding current of 150 A. The sensitization degree in the HAZ to intergranular corrosion is also the greatest, in this case. With increase of the sensitization degree to intergranular corrosion the value of metastable pitting potential linearly decreases, which means that pitting corrosion resistance in the HAZ is reduced.

Keywords: stainless steels, welded joint, pitting corrosion, test methods.

Scientific paper

Paper received: 11.06.2017.

Paper accepted: 30.06.2017.

Paper is available on the website: www.idk.org.rs/journal

Uputstvo za pripremu rada – naslov rada (najviše dva reda)

Stil: font Arial, font size 14, bold

Izvod – ne duži od 150 reči (10-12 redova), treba da sadrži predmet i cilj rada, kratak pregled metoda i najvažnije rezultate, tako da njegov originalni tekst može da se koristi u referentnoj periodici, font Arial, font size 10.

Ključne reči: (do šest pojmova), koje obezbeđuju uključivanje članka u informacione sisteme.

UVOD

Rad treba da je pisan na srpskom ili engleskom jeziku. Treba da sadrži: izvod, uvod, eksperimentalni deo, rezultate i diskusiju, zaključak, literaturu i izvod na engleskom jeziku ako je rad pisan na srpskom jeziku i obrnuto.

Rukopis treba da je pisan jednostrukim proredom (A4 format). Na stranicama rukopisa margine treba da budu: gornja, donja 3 cm, leva i desna 2.20 cm, koristeći font Arial, font size 10. Svi radovi se recenziraju.

PODNASLOV (npr., EKSPERIMENTALNI RAD)

Podnaslove u rukopisu pisati VELIKIM SLOVIMA, font size 10.

Tabele i slike se ubacuju na mesto gde se govori o njima. U tekstu se pozivati na redni broj tabele/slike.

Iznad tabele treba da stoji naziv. Ispod slika se navodi njen naziv, npr:

Tabela 1 - Rezultati eksperimentalnih merenja, italic

Slika 1 - Rezultati simulacije, italic

PODNASLOV (npr., REZULTATI)

Numeraciju jednačina uraditi uz desnu marginu u malim (okruglim) zagradama, npr.:

$$J \frac{d\omega(t)}{dt} + F\omega(t) = T_e(t) - T_o(t). \quad (1)$$

Jedinice: Pridržavati se Međunarodnog sistema jedinica (SI) i Zakona o mernim jedinicama i merama, kao i preporučenih IUPAC simbola hemijskih i fizičkih veličina.

PODNASLOV (na primer ZAKLJUČAK)

Rukopis, pripremljen kao MS Word doc datoteka, poslati e-poštom kao prilog na adresu glavnog urednika, Prof. Dr Časlava Lačnjevcu: E mail: ukilaki@eunet.rs

Zahvalnica (Acknowledgements): Navodi se naziv i broj projekta iz kojeg su proistekli rezultati i naziv institucije koja je finansirala istraživanja prikazana u radu.

LITERATURA

Literatura se u tekstu navodi [uglastim] zagradama po redosledu citiranja, tako što se isti izvor citira samo jednom, npr.: [1], [2,3], [4-8], Skraćene naziva časopisa treba navoditi prema Međunarodnom kodeksu za skraćivanje naslova periodičnih publikacija (<http://www.efm.leeds.ac.uk/~mark/ISlabbr/>).

- [1] ČASOPIS: Sheng J.W. He M. Shi, H.C. (2007) A highly specific immunoassay for microcystin-LR detection based on a monoclonal antibody, Anal Chim Acta, 603,1, 111–118.
- [2] KNJIGA: Gulišija Z., Lačnjevac Č.: Korozija i Zaštita Materijala, ITNMS, (2012) Beograd.
- [3] POGHLAVLJE U KNJIZI: Stojanović M., Lačnjevac Č., Lopičić Z. (2012) Corrosion and corrosion behavior of depleted uranium, In: Gulišija Z., Lačnjevac Č. (Ed), Korozija i zaštita materijala, ITNMS, Beograd, pp223-261.
- [4] TEKST SA WEB ADRESE: Maja Arslanagić M., Kadić - Maglajlić S. (2011) Priručnik za navođenje izvora u naučnim i stručnim radovima (http://www.efsa.unsa.ba/ef/docs/Prirucnici/prirucnik_ekonomski_web.pdf , 01.12.2013.)

ABSTRACT

Na kraju rada treba dati naziv rada i izvod sa ključnim rečima na engleskom jeziku, u formi kao na srpskom jeziku.

Veselin Blagojević^{1*}, Vanja Šušteršič¹, Siniša Božičković²

¹University of Kragujevac, Faculty of Engineering, Kragujevac, Serbia, ²University of East Sarajevo, Faculty of Transport and Traffic Engineering, Doboj, BiH

Scientific paper

ISSN 0351-9465, E-ISSN 2466-2585

UDC:628.4.004.69

doi: 10.5937/ZasMat1703305B



Zastita Materijala 58 (3)
305 - 312 (2017)

Pyrolysis and gasification in the process of sewage sludge treatment

ABSTRACT

Pyrolysis and gasification represent a thermo-chemical process of solid mass conversion and the products obtained are: liquidity (pyrolytic oil), gases and coke residue. In modern society, there is a growing need for the use of ecological systems and renewable energy sources. As a potential and renewable energy resource we can consider sewage sludge. Sewage sludge is mostly disposed of in nature, while a very small part of the treats. Due to the non-adequate treatment of sewage sludge there is a high risk of impacts of harmful substances on humans and animals. Apart from the fact that the sewage sludge can be a major energy potential, thermal treatment allows to solve the problem of disposal of sewage sludge in nature and environmental pollution. Utilizing the sewage sludge as an energy source would generate large fossil fuels, neutralize sewage sludge landfills and reduce the risk of developing and spreading the disease due to the presence of harmful substances.

Keywords: gasification, sewage sludge, pyrolysis, thermal processes.

1. INTRODUCTION

Energy efficiency and environmental protection are of great importance to the planet. To prevent global warming, it is need to promote the use of biomass and communal waste as a new energy source. It is believed that their use will results in a reduction in the effect of greenhouse gases. In order to utilize energy from biomass, energy producers must find a way to meet the needs of the company. The most important thing is to maintain economic efficiency, stable supply and proper fuel control. The use of biomass for energy purposes is one of the tasks of implanting energy efficiency. Parallel to this, there are attempts to solve the problem of the treatment and disposal of large quantities of sewage sludge. Some companies have developed technology that is excellent in sterilization of sludge, and also recycles sewage sludge as fuel and produces electricity and heat energy. The new system can meet the needs for

effective treatment of sewage sludge, reducing greenhouse gas emissions and make use of sludge as a fuel in power plants and heating plants. This type of use of energy, gives hope that it is possible to use sewage sludge as fuel without carbon [1].

Thermal treatment of sewage sludge proved to be most effective when it comes to the impact on global warming, aquatic and terrestrial eco toxicity, acidification of land and agricultural products [2].

2. THERMAL TREATMENT OF SEWAGE SLUDGE

The composition of sewage sludge is one of the most important factors in the proper method of choice for the treatment of sludge. For this reason, it is necessary to pay attention to the technical and an elementary analysis from which we get the energy value and composition of the sludge. The advantage of using sludge as fuel in cement kilns is often mentioned in literature [3]. The dry matter, lower heating value and composition of the sludge are important factors to be used as fuel. In this paper data on the composition of sewage sludge from 17 different locations in the world were collected. The results are shown in Table 1.

*Corresponding author: Veselin Blagojević

E-mail: veso.doboj@gmail.com

Paper received: 25. 05. 2017.

Paper corrected: 16. 06. 2017.

Paper accepted: 30. 06. 2017.

Paper is available on the website:

www.idk.org.rs/journal