



Bore V. Jegdić*, Biljana M. Bobić*, Behar Alić**

ODREĐIVANJE SKLONOSTI ZAVARENOG SPOJA AUSTENITNOG NERĐAJUĆEG ČELIKA PREMA INTERKRISTALNOJ KOROZIJI TESTING OF SUSCEPTIBILITY TO INTERGRANULAR CORROSION IN WELDED JOINTS OF AUSTENITIC STAINLESS STEEL

Originalni naučni rad / Original scientific paper

UDK / UDC: 621.791.052;

620.193.5:669.14.018.8

Rad primljen / Paper received:

Januar 2016.

Adresa autora / Author's address:

*Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju IHTM, Njegoševa
12, 11000 Beograd, Srbija

**Metalurški institut „Kemal Kapetanović“, Travnička cesta 7,
72000 Zenica, Bosna i Hercegovina

Autor za prepisku: borejegdic@yahoo.com

Glavne reči: nerđajući čelici, zavareni spoj, interkristalna korozija, elektrohemijske metode ispitivanja

Key words: stainless steels, welded joint, intergranular corrosion, electrochemical methods

Izvod

Ispitana je sklonost zavarenog spoja austenitnog nerđajućeg čelika X5CrNi18-10 prema interkristalnoj koroziji. Ispitivanje je izvršeno metodom elektrohemijske potenciokinetičke reaktivacije sa jednostrukom petljom (EPR) i sa dvostrukom petljom (DL EPR). Takođe, određena je sklonost prema interkristalnoj koroziji navedenog nerđajućeg čelika posle senzibilizacije termičke obrade ($675\text{ }^{\circ}\text{C}/1\text{h}$). Pri datim uslovima zavarivanja (primenjena jačina struje zavarivanja, debljina zavarenih uzoraka od nerđajućeg čelika, itd.) osnovni metal je potpuno otporan prema interkristalnoj koroziji, dok je zona uticaja toplote u maloj meri sklona prema interkristalnoj koroziji. Posle senzibilizacije termičke obrade nerđajući čelik pokazao je značajniju sklonost prema interkristalnoj koroziji. Analizirane su mogućnosti navedenih elektrohemijskih metoda u odnosu na mogućnosti klasičnih hemijskih metoda ispitivanja interkristalne korozije u ključalim rastvorima kiselina. EPR i DL EPR metode daju kvantitativne podatke o stepenu senzibilizacije (zavarenog spoja) nerđajućeg čelika prema interkristalnoj koroziji, a takođe i prema interkristalnoj naponskoj koroziji.

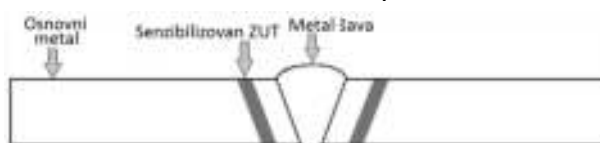
UVOD

Interkristalna korozija nerđajućih čelika je vid lokalne korozije koji se manifestuje rastvaranjem oblasti granica zrna. Do senzibilizacije nerđajućih čelika prema interkristalnoj korozijinajčešće dolazi u zoni uticaja toplote (ZUT-u) u zoni koja je paralelna

Apstract

The susceptibility to intergranular corrosion of welded joints of austenitic stainless steel X5CrNi18-10 was examined. The testing was performed by the electrochemical potentiokinetic reactivation method with single loop (EPR) and double loop (DL EPR). Also, the susceptibility to intergranular corrosion of stainless steels after sensitization heat treatment ($675\text{ }^{\circ}\text{C}/1\text{h}$) was examined. At given welding parameters (current intensity, the thickness of welded samples of stainless steel, etc.) the base metal is completely resistant to intergranular corrosion, while the heat affected zone shows a relatively low susceptibility to intergranular corrosion. After sensitization heat treatment the stainless steel showed something higher susceptibility to intergranular corrosion. The advantages of applied electrochemical methods in relation to the classical chemical methods for intergranular corrosion testing were analyzed. DL EPR and EPR methods provide quantitative data on the sensitization degree to intergranular corrosion (in welded joints) and and also to intergranular stress corrosion cracking.

metalni šava (slika 1), tokom zavarivanja, ili prilikom žarenja u cilju uklanjanja zaostalih naprezanja [1-3]. Interkristalna korozija se češće javlja pri zavarivanju debelih ploča nego tankih limova [4]. To je posledica postojanja različitih profila temperatura-vreme.



Slika 1. Zavareni spoj



Tradicionalno, ispitivanje stepena senzibilizacije nerđajućih čelika prema interkristalnoj koroziji se izvodi hemijskim tretmanom uzoraka u ključalom rastvoru različitih kiselina. Ispitivanja se vrše u rastvoru $H_2SO_4 + CuSO_4$ (Straus-ova metoda), u rastvoru $H_2SO_4 + Fe_2(SO_4)_3$ (Streicher-ova metoda) ili u rastvoru HNO_3 (Huey test)[5]. Vreme ispitivanja je relativno dugo i zavisi od metode ispitivanja može biti do 10 dana. U cilju određivanja strukture sklone interkristalnoj koroziji može se izvršiti elektrohemijsko nagrizanje uzoraka u oksalnoj kiselini (ASTM A262, postupak A [6]). Posle elektrohemijskog nagrizanja uzorci se posmatraju pod mikroskopom, pri uvećanju 500x. Ako nema znakova interkristalne korozije na granicama zrna, nisu potrebna dugotrajna ispitivanja u ključalim rastvorima kiselina. Ako se uoči pojava interkristalne korozije na granicama zrna, uzorci od nerđajućeg čelika se nakon toga moraju ispitati odgovarajućom hemijskom metodom.

Vreme ispitivanja interkristalne korozije nerđajućih čelika se može znatno skratiti ako se primeni metoda elektrohemijske potenciokinetičke reaktivacije, EPR [7,8]. Uzorku od nerđajućeg čelika, koji se nalazi u rastvoru sumporne kiseline i kalijum tiocijanata, pomera se elektrodni potencijal iz pasivne oblasti ka korozionom potencijalu E_{kor} , pomoću odgovarajućeg elektrohemijskog uređaja (potencijostata). Ukoliko je čelik sklon interkristalnoj koroziji dolazi do aktiviranja granica zrna. Količina naelektrisanja (Q) koja pri tome protekne predstavlja merilo sklonosti čelika prema interkristalnoj koroziji (P_a). Ovakva EPR metoda se naziva metoda sa jednostrukom petljom.

Druga varijanta ove metode je metoda elektrohemijske potenciokinetičke reaktivacije sa dvostrukom petljom (DL EPR) [9,10]. Potencijal nerđajućeg čelika se pomera od korozionog potencijala u pozitivnu oblast do pasivacije. Pri tome, prvo dolazi do aktiviranja zrna i granica zrna

(odnosno cele površine uzorka), a pri daljem pomeranju potencijala dolazi do pasivacije. Posle dostizanja određenog potencijala u pasivnoj oblasti, potencijal uzorka se pomera u povratnom smeru do korozionog potencijala (reaktivacioni deo petlje). Pri tome dolazi do aktiviranja samo oblasti neposredno uz granicu zrna, kod nerđajućeg čelika koji je sklon interkristalnoj koroziji. Odnos količine naelektrisanja koje je utrošeno prilikom reaktivacije (tj. pri rastvaranju oblasti neposredno uz granicu zrna, Q_r) i količine naelektrisanja utrošenog pri aktivaciji (tj. pri rastvaranju zrna i granice zrna, Q_p) predstavlja merilo sklonosti nerđajućeg čelika prema interkristalnoj koroziji. Kao merilo sklonosti prema interkristalnoj koroziji može se uzeti odnos vrednosti strujnog pika pri reaktivaciji (I_r) i strujnog pika pri aktivaciji uzorka (I_p).

EPR i DL EPR metode se primenjuju za ispitivanje sklonosti prema interkristalnoj koroziji ne samo austenitnih čelika, već i feritnih i duplex nerđajućih čelika [10]. Nerđajući čelici koji su skloni interkristalnoj koroziji skloni su i interkristalnoj naponskoj koroziji, tako da se ove metode mogu primeniti i za ocenu sklonosti nerđajućih čelika prema naponskoj koroziji [10].

EKSPERIMENTALNI DEO

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 130 A. Kao zaštitni gas za zavarivanje korišćen je argon koji je sadržao 2,5 % azota. Hemijski sastav nerđajućeg čelika (X5CrNi18-10) i dodatnog materijala-žice, sa oznakom proizvođača (Askaynak) MW 308LSi (G 19 9 LSi prema EN 12072[11]) prikazan je u tabeli 1.

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

Tabela 1. Hemijski sastav nerđajućeg čelika (X5CrNi18-10) i žice MW 308 LSi, mas. %

Pre ispitivanja, uzorci od nerđajućeg čelika su brušeni brusnom hartijom finoće 600, zatim sve finijom hartijom do finoće 1500, dok se nisu uklonili rizevi od predhodnih brušenja.

Nakon toga uzorci su polirani vodenom suspenzijom Al_2O_3 (granulacije 5 μm) na tkanini za poliranje. Uzorci su zatim odmašćeni etanolom, isprani destilovanom vodom i osušeni na vazduhu.



Elektrohemijska potenciokinetička reaktivacija sa jednostrukom petljom (EPR)

U ovom radu određena je sklonost prema interkristalnoj koroziji zavarenog spoja nerđajućeg čelika X5CrNi18-10 u zoni uticaja toplote (ZUT) i sklonost ovog čelika prema interkristalnoj koroziji posle senzibilizacione termičke obrade. Senzibilizaciona termička obrada je izvršena žarenjem nerđajućeg čelika na 675 °C u toku 1h [8]. Određivanje sklonosti prema interkristalnoj koroziji izvršeno EPR metodom sa jednostrukom petljom, u rastvoru 0,5 mol dm⁻³ H₂SO₄ + 0,01 mol dm⁻³ KSCN [8]. Za pripremanje rastvora korišćena je destilovana voda i hemikalije analitičke čistoće. Takođe, EPR metodom ispitana je sklonost osnovnog metala prema interkristalnoj koroziji, u cilju poređenja rezultata.

Ispitivanja su izvršena u uobičajenoj elektrohemijskoj ćeliji, sa zasićenom kalomelovom elektrodom (ZKE) kao referentnom elektrodom i platinskom folijom kao kontra elektrodom. Radna elektroda (ispitivani uzorak) površine 0,785 cm², postavljena je u specijalni držač. Svi elektrodni potencijali u ovom radu su dati u odnosu na zasićenu kalomelovu elektrodu (ZKE). U rastvoru za ispitivanje, na uzorku je uspostavljen relativno stabilan E_{kor} koji se nalazio u zahtevanoj oblasti korozionih potencijala (-350 mV do -450 mV). Uzorak je držan 5 min na E_{kor} , a zatim je potencijal uzorka prebačen u pasivnu oblast (+200 mV) i držan na ovom potencijalu 2 min, u cilju obrazovanja stabilnog pasivnog filma na uzorku. Po isteku tog vremena, potencijal uzorka je pomeran ka korozionom potencijalu, pri brzini promene potencijala od 1,67 mV s⁻¹. Ukoliko je čelik sklon interkristalnoj koroziji dolazi do aktiviranja granica zrna. Količina naelektrisanja Q koja protekne usled rastvaranja prigraničnih oblasti zrna osiromašenih hromom, predstavlja merilo sklonosti prema interkristalnoj koroziji (P_a):

$$P_a = \frac{Q}{A_s \cdot (5.1 \cdot 10^{-3} \cdot e^{0.35 \cdot G})} \quad (1)$$

A_s je površina uzorka, a G veličina zrna prema standardu ASTM E112 [12] ili ISO 643 [13]. Prema standardu ASTM G108 [8], širina senzibilizovane oblasti osiromašene hromom, sa svake strane granice zrna je ~ 0,5 μm. Ukupna površina senzibilizovanih oblasti uz granice svih zrna na površini uzorka S_{GBA} zavisi od srednje veličine zrna G i od površine uzorka za ispitivanje A_s (u saglasnosti sa ASTM G108 [8]), prema sledećoj jednačini:

$$S_{GBA} = A_s \cdot (5.1 \cdot 10^{-3} \cdot e^{0.35 \cdot G}) \quad (2)$$

Elektrohemijska potenciokinetička reaktivacija sa dvostrukom petljom (DL EPR)

U ovom radu je za određivanje sklonosti prema interkristalnoj koroziji zavarenog spoja nerđajućeg čelika primenjena i DL EPR metoda. Ispitivanje je izvršeno u zoni uticaja toplote (ZUT) i posle senzibilizacione termičke obrade, u rastvoru 0,5 mol dm⁻³ H₂SO₄ + 0,01 mol dm⁻³ KSCN [10]. Za pripremanje rastvora korišćena je destilovana voda i hemikalije analitičke čistoće. Osnovni metal je takođe ispitan DL EPR metodom, u cilju poređenja rezultata.

U rastvoru za ispitivanje, na uzorku je uspostavljen relativno stabilan E_{kor} koji se nalazio u zahtevanoj oblasti korozionih potencijala. Uzorak je držan 5 min na E_{kor} , a zatim je potencijal pomeran u pozitivnom smeru do pasivacije (+300 mV), pri brzini promene potencijala od 1,67 mV s⁻¹. Neposredno po dostizanju potencijala pasivacije (+300 mV) promenjen je smer polarizacije i potencijal uzorka je vraćen do korozionog potencijala. Ukoliko je čelik sklon interkristalnoj koroziji dolazi do aktiviranja granica zrna. Odnos količine naelektrisanja koje je utrošeno prilikom reaktivacije (tj. pri rastvaranju oblasti neposredno uz granicu zrna, Q_r) i količine naelektrisanja utrošenog pri aktivaciji (tj. pri rastvaranju zrna i granice zrna, Q_p), uzimajući u obzir veličinu zrna G , predstavlja merilo sklonosti prema interkristalnoj koroziji (Q_r/Q_p)_{GBA}:

$$\left(\frac{Q_r}{Q_p}\right)_{GBA} = \frac{Q_r}{Q_p \cdot (10^{-3} \cdot \sqrt{2^{G+5}})} \quad (3)$$

Ukupna površina senzibilizovanih oblasti uz granice svih zrna na površini uzorka S_{GBA} se može odrediti primenom sledeće jednačine, u saglasnosti sa ISO 12732 [8]:

$$S_{GBA} = A_s \cdot (10^{-3} \cdot \sqrt{2^{G+5}}) \quad (4)$$

Izračunate vrednosti za S_{GBA} primenom jednačine 2 (prema ASTM G108 [8]), odnosno primenom jednačine 4 (prema ISO 12732 [10]) su u dobroj saglasnosti.

2.5 Metalografska ispitivanja

Veličina zrna G , koja je potrebna za proračun stepena senzibilizacije nerđajućeg čelika prema interkristalnoj koroziji (jednačine 1 i 3), određena je pomoću optičkog mikroskopa. Određivanje veličine

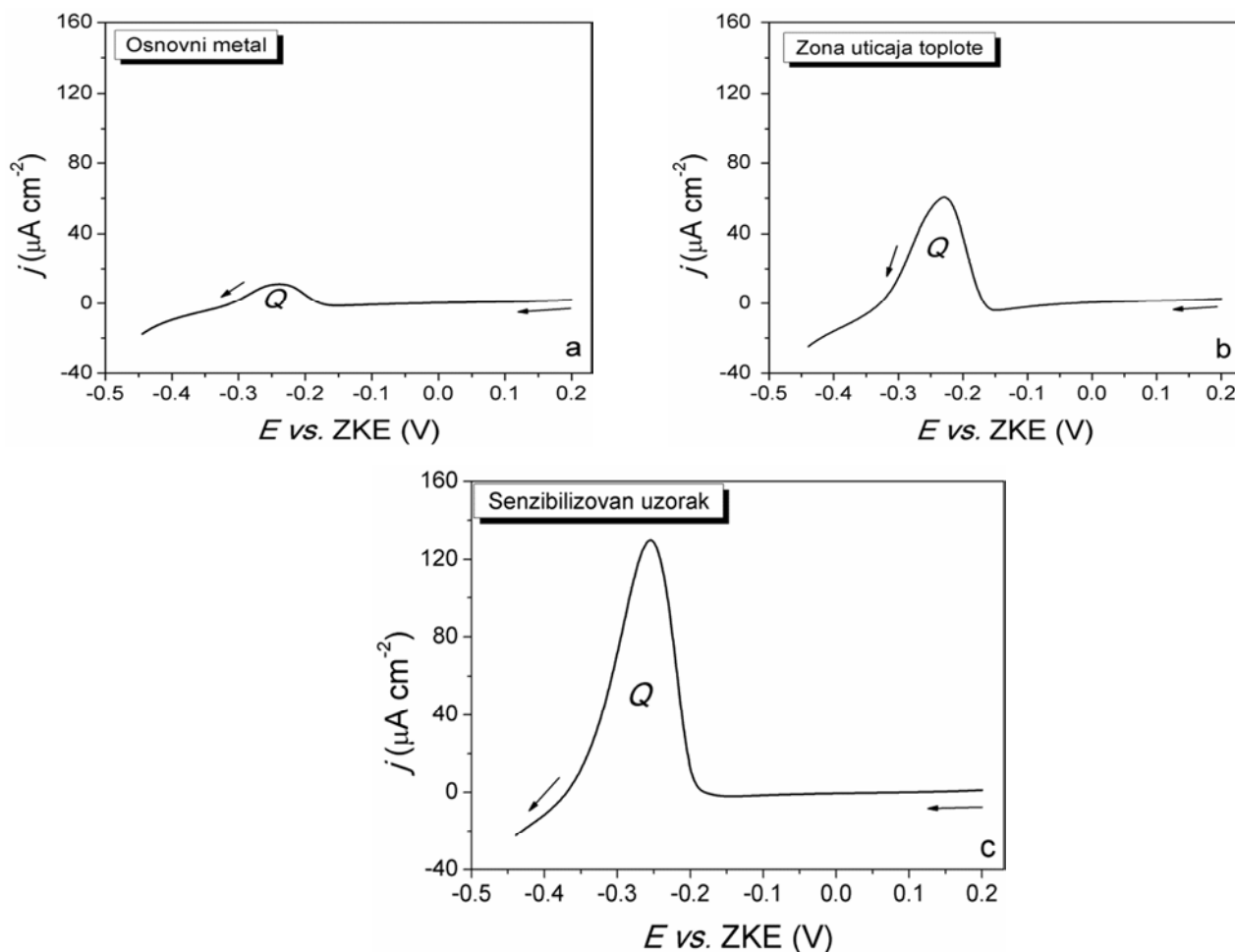


zrna izvršeno je u osnovnom metalu i u zoni uticaja toplote, kao i na senzibilizovanom uzorku. Veličina zrna u osnovnom metalu i u ZUT-u je iznosila 18 – 20 μm (G8-G9).

REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati dobijeni EPR metodom pri ispitivanju sklonosti prema interkristalnoj koroziji nerđajućeg čelika su prikazani na slici 2. Može se videti da je

količina naelektrisanja Q mnogo manja u slučaju osnovnog metala nego u slučaju ZUT-a (Q je proporcionalno površini ispod krivih). Količina naelektrisanja Q je najveća za nerđajući čelik posle senzibilizacione termičke obrade (slika 2c). U tabeli 2 su date izmerene vrednosti korozionog potencijala E_{kor} , kao i izračunate vrednosti količine naelektrisanja Q i stepena senzibilizacije P_a , za osnovni metal, ZUT i senzibilizovan uzorak.



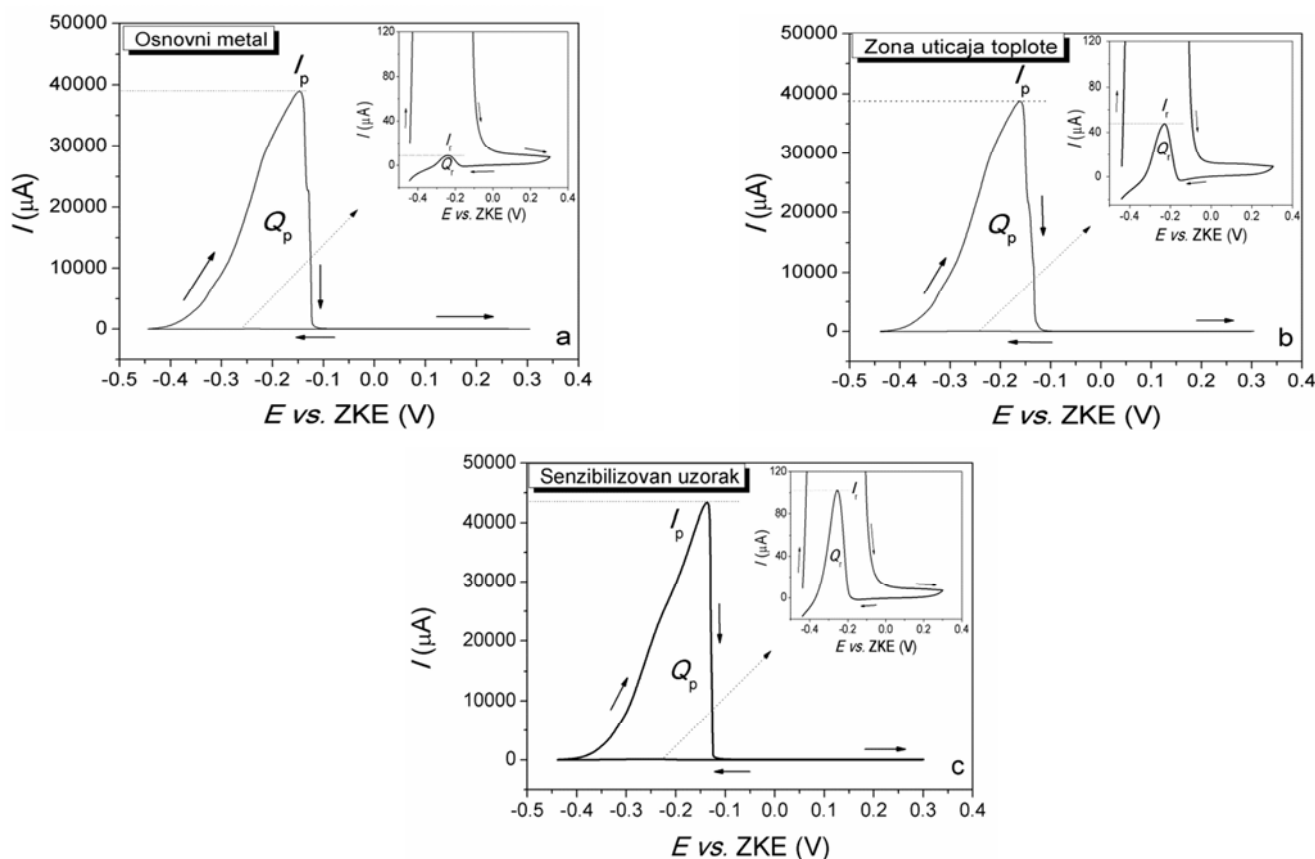
Slika 2. Rezultati ispitivanja interkristalne korozije nerđajućeg čelika X5CrNi18-10 metodom EPR: a) osnovni metal, b) zona uticaja toplote (ZUT) i c) senzibilizovani uzorak.

	E_{kor} (mV)	Q (mC cm ⁻²)	P_a (C cm ⁻²)
Osnovni metal	-443	0,927	0,0093
ZUT	-442	3,669	0,0367
Senzibilizovan uzorak	-440	6,843	0,0685

Tabela 2. Rezultati ispitivanja interkristalne korozije nerđajućeg čelika X5CrNi18-10 metodom EPR

Rezultati ispitivanja DL EPR metodom su prikazani na slici 3. Vrednosti za I_r , I_p , Q_r i Q_p , kao i za stepen senzibilizacije $(Q_r/Q_p)_{\text{GBA}}$ su dati u tabeli 3. Na isečcima na slikama 3a,b,c se može videti reaktivacioni pik Q_r , koji se ne vidi na ukupnoj

eksperimentalnoj krivoj. Vrednost Q_r je najveća za nerđajući čelik posle senzibilizacione termičke obrade (isečak na slici 3c), a najmanja za osnovni metal (isečak na slici 3a).



Slika 3. Rezultati ispitivanja interkristalne korozije nerđajućeg čelika X5CrNi18-10 metodom DL EPR: a) osnovni metal, b) zona uticaja toplote (ZUT) i c) senzibilizovani uzorak.

	I_r (μA)	I_p (μA)	Q_r (mC)	Q_p (mC)	$(Q_r/Q_p)_{\text{GBA}}$ (%)
Osnovni metal	8,67	38961	0,73	2954	0,23
ZUT	47,52	38807	2,88	2815	0,95
Senzibilizovan uzorak	102,08	43325	5,37	2941	1,70

Tabela 3. Rezultati ispitivanja interkristalne korozije nerđajućeg čelika X5CrNi18-10 metodom DL EPR

Osnovni metal je potpuno otporan prema interkristalnoj koroziji (slike 2a i 3a i tabele 2 i 3). Vrednosti pokazatelja sklonosti prema interkristalnoj koroziji P_a i $(Q_r/Q_p)_{\text{GBA}}$ su znatno manje za osnovni metal nego za zonu uticaja toplote i za senzibilizovani uzorak.

Rezultati ispitivanja pokazuju da je zona uticaja toplote (ZUT) u zavarenom spoju nerđajućeg čelika blago senzibilizovana, odnosno malo sklona interkristalnoj koroziji. Pri datim uslovima zavarivanja (primenjena jačina struje zavarivanja, debljina zavarenih uzoraka itd.) na granicama zrna je došlo do izdvajanja male količine hrom-karbida, što nije dovelo do značajnijeg osiromašenja hromom u oblasti granica zrna. To je posledica niskog sadržaja ugljenika u ispitivanom nerđajućem čeliku (tabela 1). Zona uticaja toplote je otporna

prema interkristalnoj koroziji u skladu sa standardima ASTM G108 [8] i ISO 12732 [10].

Rezultati ispitivanja otpornosti nerđajućeg čelika X5CrNi18-10 prema interkristalnoj koroziji posle senzibilizacije termičke obrade ($675^\circ\text{C}/1\text{h}$) su prikazani na slikama 2c i 3c i u tabelama 2 i 3. Pokazatelji P_a i $(Q_r/Q_p)_{\text{GBA}}$ ukazuju da je tokom ispitivanja interkristalne korozije EPR i DL EPR metodom došlo do značajnijeg rastvaranja oblasti uz granicu zrna na senzibilizovanom uzorku. To znači da je čelik više sklona interkristalnoj koroziji posle senzibilizacije termičke obrade, nego ZUT u zavarenom spoju. Žarenje nerđajućeg čelika na 675°C u toku 1h dovelo je do izvesnog izdvajanja hromom bogatih karbida tipa M_{23}C_6 na granicama zrna i do osiromašenja hromom prigrančnih oblasti. Stvarna formula karbida M_{23}C_6 je $(\text{Cr,Fe})_{23}\text{C}_6$ jer se



određeni broj atoma Cr zamenjuje atomima Fe u hrom-karbidu.

Primenjene elektrohemijske metode za određivanje sklonosti prema interkristalnoj koroziji su kvantitativne i veoma selektivne. Njihovom primenom moguće je odrediti male razlike u stepenu senzibilizacije nerđajućeg čelika prema interkristalnoj koroziji. Takođe, metode EPR i DL EPR su nerazarajuće i uz male modifikacije se mogu primeniti na terenu, na gotovim proizvodima od nerđajućeg čelika. Ovo su značajne prednosti primenjenih elektrohemijskih metoda (EPR i DL EPR) u odnosu na klasične hemijske metode ispitivanja sklonosti prema interkristalnoj koroziji u ključalim rastvorima kiselina. Hemijske metode ispitivanja su razarajuće metode i daju samo kvalitativne pokazatelje sklonosti nerđajućeg čelika prema interkristalnoj koroziji (nerđajući čelik je sklon prema interkristalnoj koroziji, odnosno nerđajući čelik nije sklon prema interkristalnoj koroziji). Takođe, cena ispitivanja klasičnim hemijskim metodama je znatno veća nego cena ispitivanja navedenim elektrohemijskim metodama.

ZAKLJUČAK

Ispitana je sklonost prema interkristalnoj koroziji zavarenog spoja austenitnog nerđajućeg čelika X5CrNi18-10 i senzibilizovanog uzorka od navedenog čelika. Ispitivanje je izvršeno metodama elektrohemijske potenciokinetičke reaktivacije sa jednostrukom petljom (EPR) i sa dvostrukom petljom (DL EPR).

LITERATURA

- [1] J.R. Davis, Corrosion of Weldments, ASM International, Materials Park, Ohio, USA, 2006.
- [2] S. Kou, Welding Metalurgy, Sec. Ed., John Wiley and Sons, New Jersey, USA, 2003.
- [3] B. Bobić i B. Jegdić, Korozija zavarenih spojeva, Deo III: Nerđajući čelici, *Zavarivanje i zavarene konstrukcije*, No.4, Beograd, 2005., 217-223.
- [4] R.A. Jarman Desing in Relation to Welding and Joining, CORROSION, Ed. L.L. Shreir, R.A. Jarman and G.T. Burstein, Oxford, Great Britain, 2000., 9:85-9:106.
- [5] B. Bobić i B. Jegdić, Korozija zavarenih spojeva, Deo V: Metode ispitivanja i postupci sprečavanja korozije, *Zavarivanje i zavarene konstrukcije*, No.2, Beograd, 2006., 77-85.
- [6] Standard Practices for Detecting Susceptibility to Intergranular Attack in Austenitic Stainless Steels-ASTM A262.
- [7] J.R. Scully and R.G. Kelly, Methods for Determining Aqueous Corrosion Reaction

Pokazano je da je osnovni metal potpuno otporan prema interkristalnoj koroziji. Zona uticaja toplote (ZUT) u zavarenom spoju je u maloj meri senzibilizovana, tako da ne treba očekivati pojavu interkristalne korozije tokom eksploatacije zavarenog spoja.

Posle senzibilizacione termičke obrade (675 °C/1h) detektovano je nešto veće rastvaranje prigraničnih oblasti zrna osiromašenih hromom, nego u zoni uticaja toplote. Ovo pokazuje da je sklonost prema interkristalnoj koroziji veća u slučaju senzibilizovanog uzorka nego u slučaju ZUT-a.

EPR i DL EPR metode su kvantitativne, nerazarajuće metode za ispitivanje stepena senzibilizacije prema interkristalnoj koroziji nerđajućih čelika. Primenom ovih metoda mogu se odrediti male razlike u sklonosti nerđajućeg čelika prema interkristalnoj koroziji i interkristalnoj naponskoj koroziji. DL EPR metoda je u izvesnoj meri jednostavnija za izvođenje nego EPR metoda. Pored toga, uticaj temperature na rezultate dobijene DL EPR metodom je manje izražen nego u slučaju EPR metode. Uz manju modifikaciju EPR i DL EPR metode se mogu primeniti na terenu na gotovim proizvodima. Cena ispitivanja EPR ili DL EPR metodom je znatno niža nego cena ispitivanja klasičnim hemijskim metodama.

Zahvalnica

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

Rates, *Corrosion: Fundamentals, Testing, and Protection*, Vol. 13A, *ASM Handbook*, ASM International, 2003, p 68–86.

[8] Electrochemical Reactivation (EPR) for Detecting Sensitization of AISI Type 304 and 304L Stainless Steels-ASTM G 108.

[9] V. Čihal, S. Lasek, M. Blahetova, E. Kalabisova and Z. Krhutova, Trends in the Electrochemical Polarization Potentiodynamic Reactivation Method-EPR, Review, *Chem. Biochem. Eng. Q.* 21 (1) 2007., 47-54.

[10] Electrochemical potentiokinetic reactivation measurement using the double loop method (based on Čihal's method) - ISO 12732.

[11] Welding consumables. Wire electrodes, wires and rods for arc welding of stainless and heat-resisting steels. Classification-EN 12072.

[12] Standard Test Methods for Determining Average Grain Size-ASTM E112.

[13] Steels — Micrographic determination of the apparent grain size-ISO 643