

DRAGAN V. TOŠKOVIĆ<sup>1\*</sup>, MILOŠ B. RAJKOVIĆ<sup>2</sup>,  
MILORAD V. TOMIĆ<sup>1</sup>, NEMANJA D. TOŠKOVIĆ<sup>3</sup>,  
DANIJELA Z. RAJIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Tehnološki fakultet Zvornik, Republika Srpska, Bosna i Hercegovina, <sup>2</sup>Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, Beograd, Srbija, <sup>3</sup>ElixirZorka - Mineralna djubriva, Šabac, Srbija

Naučni rad

ISSN 0351-9465, E-ISSN 2466-2585

UDC: 620.193:669.112.227

doi:10.5937/ZasMat1602296T



Zastita Materijala 57 (2)  
296 – 304 (2016)

## Određivanje brzine korozije austentnih čelika u rastvorima kalcijum-hipohlorita

### IZVOD

U ovom radu dati su rezultati ispitivanja korozione otpornosti austenitnih hrom-nikl čelika Č 4572 i Č 4583 u rastvorima kalcijum-hipohlorita. Za ispitivanja su korišćene potenciodinamičke metode merenja. Grafičkom metodom linearne polarizacije koroziona struja i korozioni potencijal dobijani su u preseku Tafelovih pravih  $E = f(\log i)$  na osnovu potenciodinamičkih krivih za ispitivane čelike. Komparativna metoda za određivanje korozione struje je metoda polarizacionog otpora. Na osnovu korozionih struja, izračunate su brzine korozije ispitivanih čelika. Anodne polarizacione krive za oba austenitna čelika u ispitivanim rastvorima snimane su u intervalu potencijala od stacionarnog do +2,5V, da bi se odredila područja aktivnosti.

Rezultati ispitivanja pokazuju da sa porastom koncentracije rastvora kalcijum-hipohlorita, raste pH vrednost rastvora i koncentracija aktivnog hlora što izaziva smanjenje korozione otpornosti ispitivanih čelika. Ovi čelici su otporni na koroziju u 1%-nim rastvorima, postojani u 10%-nim rastvorima i manje otporni u 50%-nim suspenzijama kalcijum-hipohlorita.

**Ključne reči:** austenitni hrom-nikl čelici, polarizacione krive, potenciodinamička metoda merenja, rastvor  $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ , grafička metoda linearne polarizacije

### 1. UVOD

Koroziono postojani čelici su čelici sa sadržajem hroma većim od 12% i opcionim dodatkom Ni, Mo, Cu, Ti, N i drugih metala. Sadržaj ovih elemenata u koroziono postojanim čelicima zavisi od srednjeg stepena aktivnosti korozionog medijuma i potrebom za njihovim mehaničkim karakteristikama [1].

U zavisnosti od prirode korozije, aktivnost korozije je uglavnom pod uticajem sledećih karakteristika elektrolita: disocijacija,  $\text{H}^+$ -joni, pH vrednost, provodljivost i oksidaciona sposobnost korozionog medijuma [2].

Oksidaciona sposobnost sredine je najvažniji pokazatelj njene korozione aktivnosti. Ako se kao rezultat delovanja sredine na površini metala obrazuje oksidna prevlaka ili talog nerastvornih produkata korozije, sam proces korozije se usporava a ako su produkti korozije rastvorljivi proces korozije se intenzivira.

Autor za korespondenciju: Dragan Tošković

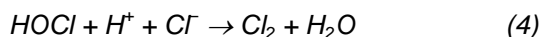
E-mail: tosked@ptt.rs

Rad primljen: 03.02.2016.

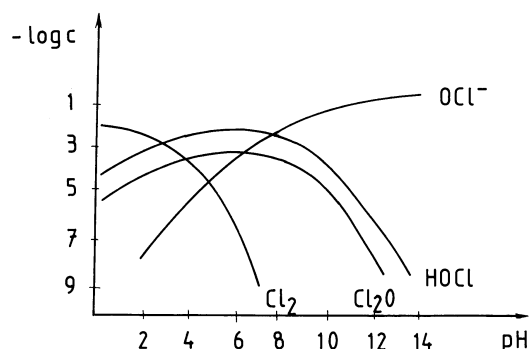
Rad prihvaćen: 23.03.2016.

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

U vodenom rastvoru kalcijum-hipohlorita nalazi se više aktivnih komponenata koje su rezultat sledećih reakcija:

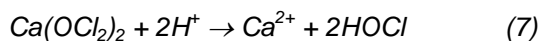
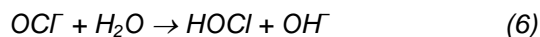


Koncentracije HOCl,  $\text{OCl}^-$ ,  $\text{Cl}_2$  i  $\text{Cl}_2\text{O}$  u zavisnosti od pH vrednosti rastvora prikazane su na slici 1 [3].

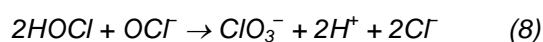


Slika 1 - Efekat pH vrednosti na koncentracije HOCl,  $\text{OCl}^-$ ,  $\text{Cl}_2$  i  $\text{Cl}_2\text{O}$  u rastvoru  $\text{Ca}(\text{OCl})_2$

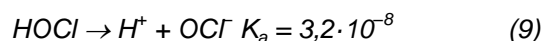
Oksidaciono delovanje kalcijum-hipohlorita,  $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ , potiče uglavnom od hipohloraste kiseline,  $\text{HOCl}$ , koja nastaje hidrolizom, a manje od  $\text{ClO}^-$  slobodnog anjona.



Konstanta disocijacije hipohloraste kiseline odavno je privlačila pažnju, pa je njenom određivanju posvećen veći broj radova [3]. Budući da je reč o veoma slaboj kiselini i, pri tome, veoma nestabilnoj, reaktivnoj, određivanje konstante disocijacije  $\text{HOCl}$  predstavlja težak zadatak. Naime, zahvaljujući konverziji aktivnog hlora (jednačina 8):



nemoguće je održati stalnu količinu  $\text{HOCl}$  i  $\text{OCl}^-$  u toku samog određivanja, naročito na visokim temperaturama. Pri tome, ne samo da su količine  $\text{HOCl}$  i  $\text{OCl}^-$  promenljive u toku merenja, već su i same promene funkcija pH vrednosti. Zbog toga se vrednosti konstante disocijacije  $\text{HOCl}$  u literaturi navode u rasponu od  $0,067 \cdot 10^{-8}$ , na temperaturi od  $25^\circ\text{C}$  [4] pa čak do  $104 \cdot 10^{-8}$ , na temperaturi od  $20^\circ\text{C}$  [5], dok se termodinamičke konstante disocijacije  $\text{HOCl}$  međusobno razlikuju i do  $10^4$  [3]. Za konstantu disocijacije  $\text{HOCl}$  u radu izabrana je vrednost koja se najviše citira u literaturi [6]:



koja je poznata samo u vodenim rastvorima ali prilično nepostojana pa se čak i u vodenim rastvorima razlaže uz otpuštanje kiseonika:

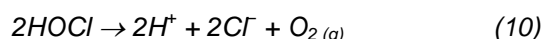
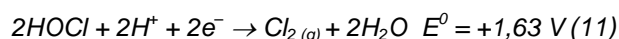


Tabela 1 - Hemijski sastav ispitivanih čelika [9, 10]

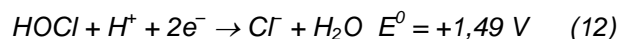
Standard	Oznaka čelika	Hemijski sastav (%)					
		C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni
EN (Europa)	X6 CrNiNb 18-10	0,08	1,0	2,0	18,0	-	10,5
No	1.4550						
JUS	Č 4583						
Velika Britanija B SI	347 S 31						
EN (Europa)	X6 CrNiTi 18-10	0,10	1,0	2,0	18,0	2,0	12,0
No	1.4541						
JUS	Č 4572						
Velika Britanija B S	321 S 31						

Za potenciodinamička merenja radne elektrode su izrađene u obliku kivete (od uzoraka ispitivanih čelika), koja je izrađena od teflona. Kontakt sa radnom elektrodom kroz teflon omogućen je putem zalemljene bakarne žice. Površine radnih elektroda su iznosile od  $0,1 \text{ cm}^2$  do  $0,12 \text{ cm}^2$ .

Hipohlorasta kiselina je vrlo jako oksidaciono sredstvo što se vidi iz potencijala redoks-jednačine:

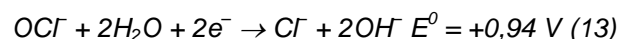


Pošto je i  $\text{HOCl}$  oksidaciono, sredstvo redukcija mora ići do hlorida:



Iz parcijalnih jednačina vidi se da je hipohlorasta kiselina jače oksidaciono sredstvo od hlora [1].

Hipohlorit-jon je takođe oksidaciono sredstvo (supstanca), ali slabije od hipohloraste kiseline, što se vidi iz redoks-potencijala:



U ovom radu za elektrohemijsko ispitivanje korozionih procesa korišćena je potenciodinamička metoda merenja.

Potenciodinamička anodna polarizacija je karakteristika površine metala kao rezultat odnosa potencijal-struja. Bez obzira na tip korozije, ona je rezultat anodne struje [7]. Potenciodinamička anodna polarizacija je dinamička elektrohemijska metoda ispitivanja korozije metalnog materijala koja se izvodi kontinualnom promenom potencijala radne elektrode, počevši od korozionog potencijala u anodnom pravcu do potencijala na kome počinje oksidacija radnog elektrolita (korozione sredine) [8].

## 2. MATERIJAL I METODE RADA

### 2.1. Selekcija materijala, priprema uzoraka i rastvora

Za elektrohemijsko ispitivanje korozionih procesa u rastvorima kalcijum-hipohlorita korišćeni su austenitni hrom-nikl čelici čiji je hemijski sastav prikazan u tabeli 1.

Radna elektroda je predhodno pripremljena mehanički i hemijski. Mehanička predobrada sastojala se u glačanju elektrode brusnim papirom (tzv. grubo glačanje), a zatim je vršeno grubo glačanje sa brusnim papirom krupnoće 220, 280, 400 i 600  $\mu\text{m}$ . Hemijska predobrada se sastojala u odmaš-

ćivanju u etanolu, nakon čega su elektrode isprane destilovanom vodom, potom alkoholom i na kraju osušene. Tako obrađeni uzorci (elektrode) se, ako se ne ispituju odmah, ostavljaju u eksikator kako bi bili zaštićeni od uticaja spoljne sredine.

Kao koroziona sredina korišćeni su rastvori kalcijum-hipohlorita. Ispitivanje je vršeno u 50%-noj suspenziji, 10%-nom i 1%-nom rastvoru kalcijum-hipohlorita. Zbog razlaganja hipohlorita rastvori su pripremljeni u laboratoriji neposredno pre samog eksperimenta. Sadržaj aktivnog hlora u rastvoru određivan je jodometrijski, a pH vrednost merena je pH-metrom [11].

## 2.2. Instrumenti i oprema za potenciodinamička mjerenja

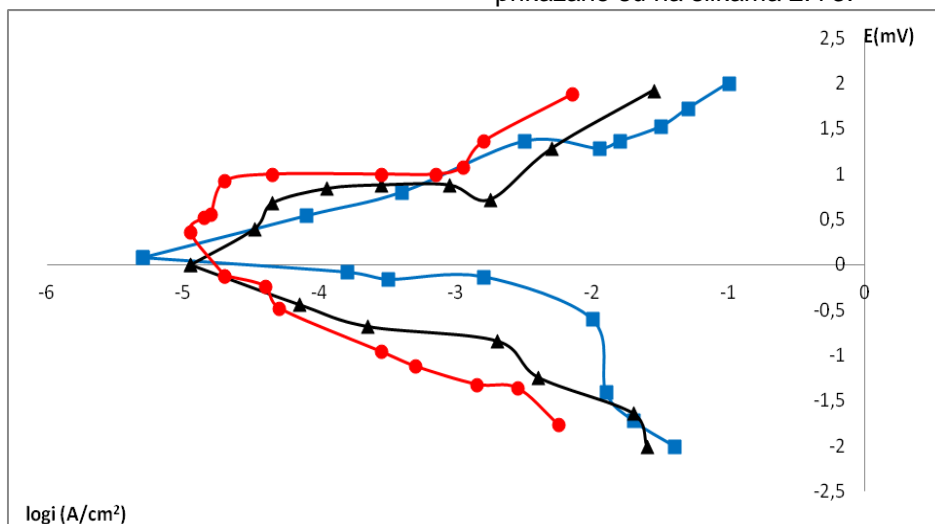
Za izvođenje potenciodinamičkih merenja korišćen je potencioostat /galvanostat model 263A, firme *Princeton Applied Research*, kompjuter *Hewlett-Packard* i X-Y pisač, model, 7046B High Speed X-

Y Recorder/Plotter, firme *Huston Instruments* i standardna tro-elektrodna ćelija.

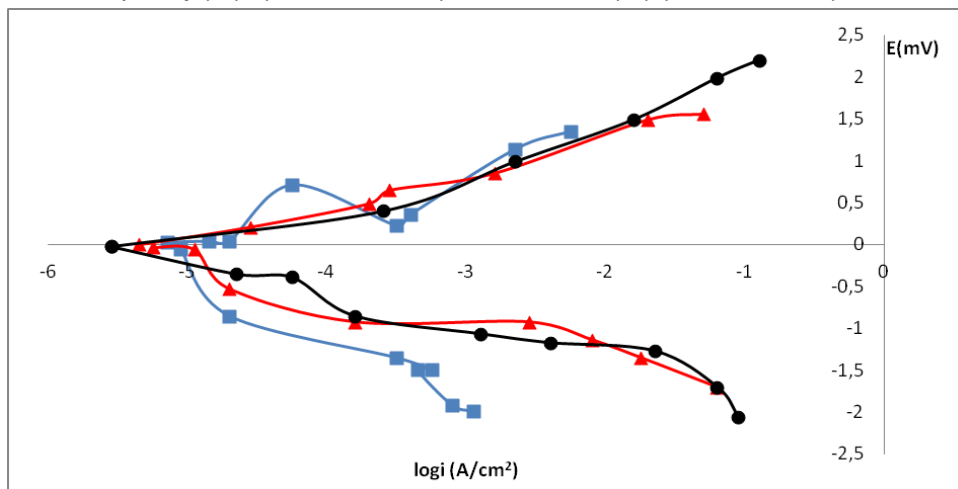
Merna ćelija napunjena je rastvorom kalcijum-hipohlorita, a zatim su u nju uronjene tri predhodno pripremljene elektrode: radna, pomoćna i referentna. Kao pomoćna elektroda korišćena je platinska žica koja je predhodno tretirana smešom jednakih zapremina koncentrovane azotne,  $\text{HNO}_3$ , i sumporne kiseline,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , a potom isprana destilovanom vodom. Kao referentna elektroda uzeta je kalomelova elektroda koja je preko elektrolitičkog mosta (*agar-agar soni most*) spojena sa radnom elektrodom. Potencijal elektrode menjan je po 10mV [12-14].

## 3. REZULTATI I DISKUSIJA

Potenciodinamičke anodne i katodne krive za ispitivanje čelika Č 4572 i Č 4583 u intervalu -2,5V do +2,5V u 50%-noj suspenziji kalcijum-hipohlorita, 10%-nom i 1%-nom rastvoru kalcijum-hipohlorita prikazane su na slikama 2. i 3.



Slika 2 - Potenciodinamičke krive za Č 4572 u ispitivanim korozionim sredinama gde je (♦)  $E_r = 80 \text{ mV}$  (50%-na suspenzija), (▲)  $E_r = 180 \text{ mV}$  (10%-ni rastvor), (●)  $E_r = 220 \text{ mV}$  (1%-ni rastvor)

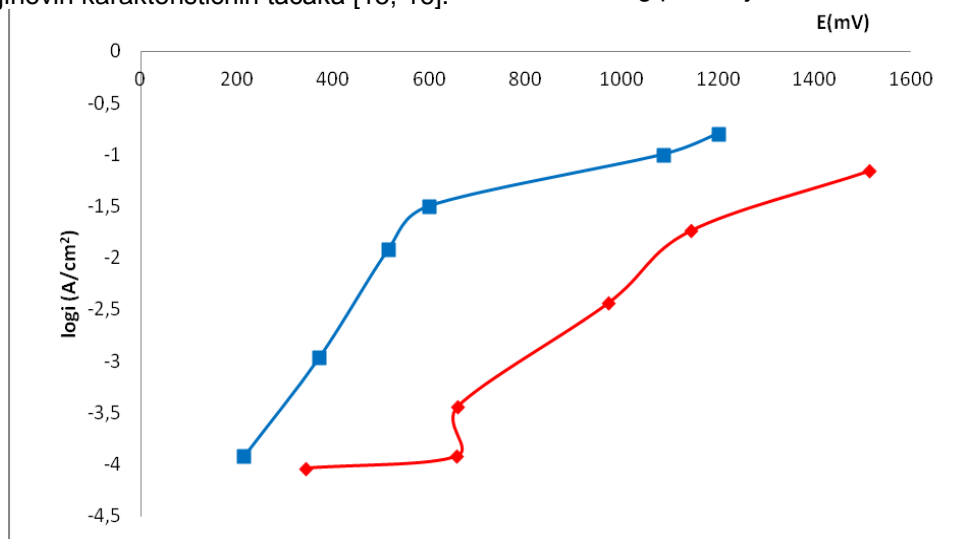


Slika 3 - Potenciodinamičke krive za Č 4583 u ispitivanim korozionim sredinama gde je (●)  $E_r = 45 \text{ mV}$  (50%-na suspenzija), (▲)  $E_r = 100 \text{ mV}$  (10%-ni rastvor), (♦)  $E_r = 220 \text{ mV}$  (1%-ni rastvor)

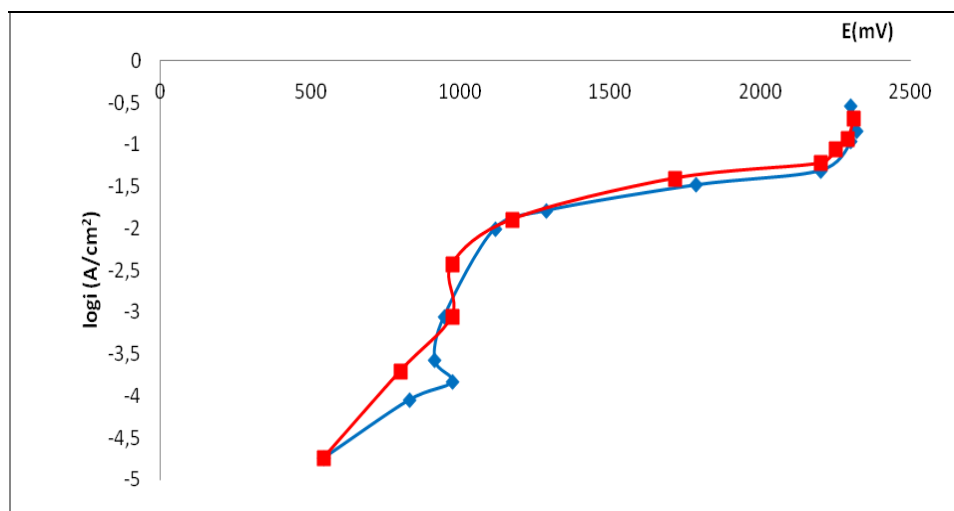
Kinetičke parametre elektrohemijskih reakcija moguće je na osnovu polarizacionih merenja odrediti grafičkom i numeričkom metodom kako bi se proverila tačnost merenja [15].

Određivanje sklonosti nekog sistema prema pasiviranju može se izvesti preko krivih anodne polarizacije i njihovih karakterističnih tačaka [15, 16].

Anodne polarizacione krive za oba austenitna čelika u ispitivanim rastvorima merene su u intervalu potencijala od stacionarnog do +2,5V (slike 4-6). Stacionarni potencijal meren je 30 minuta nakon što je radna elektroda bila u kontaktu sa korozivnom sredinom radi uspostavljanja ravnotežnog potencijala.



Slika 4 - Anodne polarizacione krive u 50%-nom rastvoru kalcijum-hipohlorita gde je (♦) čelik Č 4572 i (●) čelik Č 4583

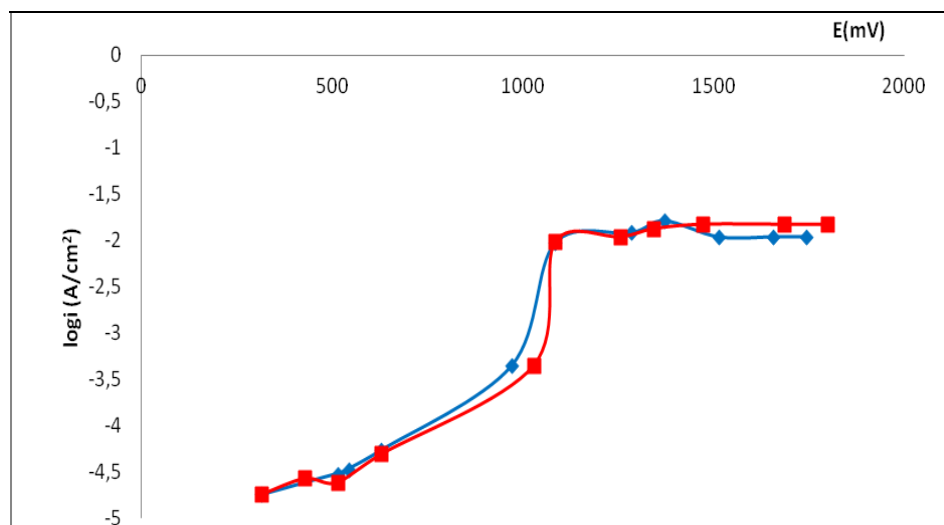


Slika 5 - Anodne polarizacione krive u 10%-nom rastvoru kalcijum-hipohlorita gde je (♦) čelik Č 4572 i (♦) čelik Č 4583

Iz anodnih polarizacionih krivih ispitanih čelika u 50%-noj suspenziji pokazano je da ne dolazi do pasivacije nijednog od ispitivanih čelika. Vrednost stacionarnih potencijala opada od Č 4572 do Č 4583. Struje rastvaranja imaju znatno više vrednosti u odnosu na one kod nižih koncentracija kalcijum-hipohlorita.

Anodne polarizacione krive u 10%-nom rastvoru kalcijum-hipohlorita imaju izražena sva područja aktivno-pasivnog stanja. Područja aktivno-pasivnog stanja čelika prikazana su u tabeli 2.

Skлонost ka pasiviranju se povećava pomjeranjem potencijala početka pasiviranja u negativnu oblast. Eksperimentalni podaci pokazuju da tu skłonost imaju ispitivani čelici u 1%-nom rastvoru kalcijum-hipohlorita. Anodne polarizacione krive ukazuju na nepostojanje aktivne oblasti. Na osnovu smanjenja struje rastvaranja u pasivnom stanju, može se zaključiti da se povećava stepen pasiviranja, odnosno smanjuje brzina korozije čelika u pasivnom stanju.



Slika 6 - Anodne polarizacijske krive u 1%-nom rastvoru kalcijum-hipohlorita gde je (♦) čelik Č 4572 i (◆) čelik Č 4583

Tabela 2 - Područja aktivno-pasivnog stanja čelika

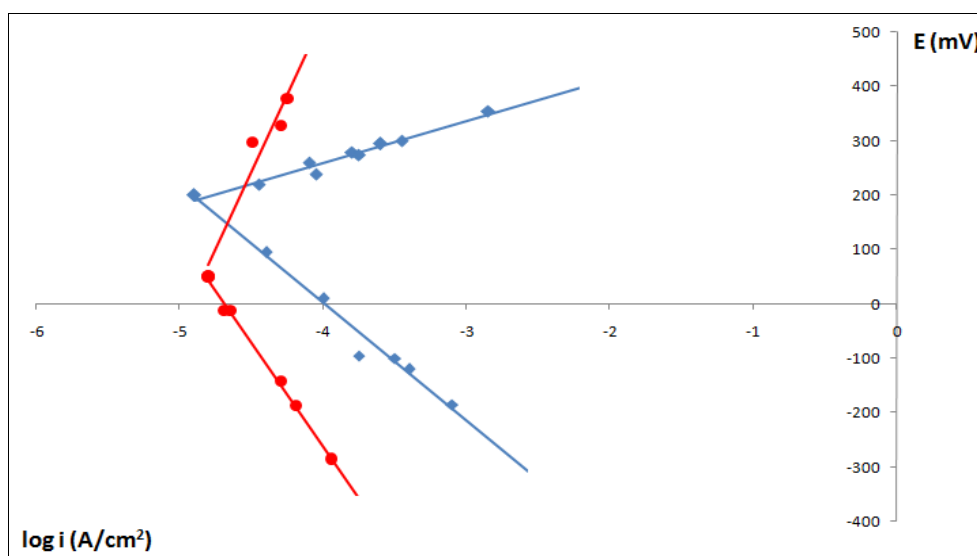
Ispitivani čelik	Aktivno stanje, (mV)	Pasivno stanje, (mV)	Transpasivno stanje (mV)
Č 4572	od 2199,90 do 2300	od 1171,40 do 2199,90	od 542,80 do 1171,40
Č 4583	od 2199,90 do 2310	od 971,40 do 2199,90	od 542,80 do 971,40

Područja pasivno-transpasivnog stanja prikazano je u tabeli 3.

Tabela 3 - Područja pasivno-transpasivnog stanja čelika

Ispitivani čelik	Pasivno stanje, (mV)	Transpasivno stanje, (mV)
Č 4572	od 1085,70 do 1799,90	od 314,30 do 1085,70
Č 4583	od 1085,70 do 1742,80	od 314,30 do 1085,70

Grafičkom metodom linearne polarizacije koroziona struja i korozioni potencijal dobijani su u preseku Tafelovih pravih  $E = f(\log i)$ , dobijenih iz potenciodinamičkih krivih (slike 2 i 3), za ispitivane čelike (slika 7).



Slika 7 - Eksperimentalno dobijene Tafelove prave za ispitivane čelike u 50%-noj suspenziji kalcijum-hipohlorita gde je (◆) čelik Č 4572 i (●) čelik Č 4583

Numerička obrada podataka dobijenih merenjem sastoji se u kompjuterskom fitovanju eksperimentalnih rezultata [17].

Kao rezultat polarizacionih merenja dobija se skup od n-parova podataka  $E_i$  i  $i_i$ , gde je  $i = 1, \dots, n$ . Svaki eksperimentalno dobijen podatak sadrži u sebi izvesnu grešku merenja, te dolazi do odstupanja od linearne logaritamske zavisnosti. Da bi se izbegli pogrešni zaključci do kojih se moglo doći pri određivanju međusobnog položaja susednih tačaka

neophodno je pre određivanja zakrivljenosti funkcije odrediti aproksimaciju rezultata merenja.

Aproksimacija je izvedena metodom najmanjih kvadrata, korišćenjem jednačine za polinom trećeg reda.

$$F(x_i) = a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2 + a_3 x_i^3 \quad (14)$$

Korozioni parametri dobijeni linearnom polarizacionom metodom prikazani su u tabeli 4.

Tabela 4 - Korozioni parametri dobijeni metodom linearne polarizacije

Oznaka čelika	Koncentracija $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ , (%)	Grafička metoda		Numerička metoda	
		$i_{\text{corr}}$ ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )	$E_{\text{corr}}$ (mV)	$i_{\text{corr}}$ ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )	$E_{\text{corr}}$ (mV)
Č 4572	50	11,95	170	11,94	200
	10	5,85	249	5,73	237
	1	1,23	-30	1,11	-15
Č 4583	50	16,00	30	15,00	94
	10	5,26	10	5,55	9,3
	1	1,50	50	1,20	-22

Komparativna metoda za određivanje korozione struje je metoda polarizacionog otpora [18, 19]. Polarizacioni otpor,  $\Delta E/\Delta I$ , je nagib polarizacione krive na korozionom potencijalu [20,21].

Određivanje polarizacionog otpora  $\Delta E/\Delta I$  za čelike Č 4572 i Č 4583 u 50%-noj suspenziji  $\text{Ca}(\text{OCl})_2$  prikazano je na slici 8.

Anodni i katodni Tafelovi koeficijenti,  $b_a$  i  $b_k$ , određeni su iz potenciodinamičkih krivih (slike 2 i 3). Koroziona struja izračunata je preko Štern-Gerijeve (Stern-Geary) jednačine:

$$i_{\text{corr}} = \frac{b_a \cdot b_k}{2.3 \cdot (b_a + b_k)} \cdot \frac{1}{R_p} = \frac{B}{R_p} \quad (15)$$

U tabelama 5, 6, i 7 dati su korozioni parametri za ispitivane uzorke čelika dobijeni metodom polarizacionog otpora preko Štern-Gerijeve jednačine.

Tabela 5 - Korozioni parametri ispitivanih čelika u 50%-nom  $\text{Ca}(\text{OCl})_2$

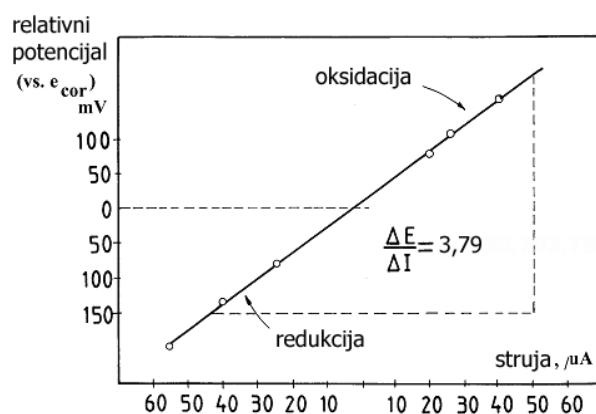
Oznaka čelika	$b_a$	$b_k$	$\Delta E/\Delta I$	$i_{\text{corr}}$ ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )
Č 4572	145	280	2,98	13,92
Č 4583	250	330	3,79	16,30

Tabela 6 - Korozioni parametri ispitivanih čelika u 10%-nom  $\text{Ca}(\text{OCl})_2$

Oznaka čelika	$b_a$	$b_k$	$\Delta E/\Delta I$	$i_{\text{corr}}$ ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )
Č 4572	120	260	5,50	6,50
Č 4583	250	300	6,13	8,50

Tabela 7 - Korozioni parametri ispitivanih čelika u 1%-nom  $\text{Ca}(\text{OCl})_2$

Oznaka čelika	$b_a$	$b_k$	$\Delta E/\Delta I$	$i_{\text{corr}}$ ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )
Č 4572	205	300	46,18	1,20
Č 4583	240	300	50,00	1,40



Slika 8 - Eksperimentalno određivanje polarizacionog otpora

Na osnovu korozionih struja izračunatih korišćenjem Štern-Gerijeve jednačine, izračunata je brzina korozije korišćenjem sledeće jednačine uzimajući u obzir mehanizam anodnog rastvaranja [22]:

$$V_{\text{corr}} = \frac{m}{\rho \cdot s \cdot \tau} = \frac{M}{\rho \cdot z \cdot F} \cdot i_{\text{corr}} \cdot 8,76 \cdot 10^4 \text{ [mm/god]} \quad (16)$$

gde su:  $V_{\text{corr}}$  - brzina korozije (mm/god),  $m$  - masa metala (g);  $\rho$  - gustina metala (za gvožđe iznosi  $7,85 \text{ g/cm}^3$ );  $i_{\text{corr}}$  - gustina struje korozije ( $\text{A/cm}^2$ );  $M$  - molarna masa metala (za gvožđe iznosi  $55,8 \text{ g/mol}$ );  $F$  - Faradejeva konstanta ( $26,8 \text{ Ah/mol}$ );  $s$  - površina elektrode ( $\text{cm}^2$ ),  $t$  - vreme (h);  $z$  - broj elektrona razmenjenih u reakciji.

U tabeli 8 prikazane su brzine korozije izračunate primenom jednačine 16, sa osvrtom i na merne jedinice korozione stabilnosti.

Tabela 8 - Koroziona otpornost ispitivanih čelika

Naziv uzorka	Koncentracija $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ , (%)	$i_{\text{corr}}$ ( $\mu\text{A/cm}^2$ )	Brzina korozije (mm/god)	Merne jedinice korozione stabilnosti
Č 4572	50	12	0,139	5
	10	5,76	0,068	4
	1	1,10	0,0127	3
Č 4583	50	15,00	0,1742	6
	10	5,50	0,0644	5
	1	1,20	0,0139	4

U 50%-noj suspenziji  $\text{Ca}(\text{OCl})_2$  oba čelika imaju brzinu korozije od 0,1 do 0,5 mm/god i svrstavaju se u manje otporne materijale (po jedinici korozione otpornosti). pH vrednost korozione sredine iznosi 11,0. Kod te vrednosti u rastvoru su prisutni  $\text{OCl}^-$ ,  $\text{HOCl}$  i  $\text{Cl}_2\text{O}$ .

Postoji sličnost u korozionoj otpornosti u 10%-nom rastvoru  $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ , oba čelika pokazuju približno jednake korozije što ih svrstava u grupu manje otpornih materijala. pH vrednost ovog rastvora iznosi 9,50. Kod ove vrednosti u rastvoru se povećava koncentracija hipohloritnog jona, dok su koncentracije hipohloraste kiseline nešto niže nego kod 1%-nog rastvora. U 1%-nom rastvoru kalcijum-hipohlorita oba čelika su pokazala jako niske brzine korozije a samim tim i veliku korozionu otpornost.

Povećanjem koncentracije kalcijum-hipohlorita povećava se i koncentracija aktivnog hlora, koji je jako oksidaciono sredstvo, što utiče na povećanje korozione aktivnosti ispitivane sredine. Da bi se čelik mogao primeniti u nekoj sredini potrebno je da se njegov potencijal u uslovima eksploatacije nalazi u oblasti pasivnog stanja [23]. Podaci o brzini korozije izračunati po jednačini (16) dobijeni su uzimajući u obzir mehanizam anodnog rastvaranja.

Koroziona otpornost metala upoređena je sa GOST 5272-68 standardom. Ocena korozione stabilnosti daje se na osnovu brzine korozije koja se izražava u mm/god. Sve elektrohemijske metode koje su korišćene su indirektno i kod svih je bitno odrediti korozionu struju. Tačnost određivanja tog parametra utiče na tačnost određivanja brzine korozije a samim tim i korozione otpornosti čelika u datim sredinama. Korišćenje računara za tačnije proračune ima veliki značaj u postizanju bolje

tačnosti i otklanjanju subjektivnih grešaka. Korozione struje dobijene metodom polarizacionog otpora uglavnom su nešto više u odnosu na one dobijene metodom linearne polarizacije. Obe metode su pouzdane i dosta korišćene, mada se kod materijala koji imaju malu brzinu korozije preporučuje metoda linearne polarizacije jer se za jako kratko vreme može odrediti koroziona stabilnost u datoj sredini.

Koroziona otpornost nerđajućih čelika bazirana je na pasivaciji. Pasivacija – stanje visoke korozione otpornosti metala i legura (u uslovima kada su sa termodinamičke tačke gledišta sposobni za reakcije) izazvana je selektivnim kočenjem anodnog procesa. Pasivnost austenitnih čelika zavisi od sadržaja hroma kao glavnog legirajućeg elementa, zatim nikla, molibdena, bakra i drugih elemenata zavisno od podvrste čelika [24].

Čelici Č 4572 i Č 4583 imaju isti sadržaj hroma ali različite sadržaje ugljenika i nikla. Manje korozione struje kod čelika Č 4572 posledica su njegovog hemijskog sastava jer legirajući elementi najviše doprinose promeni svojstava i u ovom slučaju korozionoj otpornosti [25].

#### 4. ZAKLJUČAK

1. Ispitivana je koroziona otpornost uzorka austenitnih hrom-nikl čelika. Kao veoma pogodna pokazala se numerička metoda linearne polarizacije, u kojoj se rezultati dobijeni potenciodinamičkim merenjem obrađuju primenom računara, tako da se eliminiše uticaj subjektivnog faktora, a do rezultata o veličini korozione struje dolazi se na najbrži i tačniji način.

2. Dobijene anodne polarizacione krive daju ilustrativan prikaz korozione otpornosti.

U 1%-nim rastvorima kalcijum-hipohlorita čelik Č 4572 pokazuje pasivnost u području potencijala od 1085,70 mV do 1799,90 mV, dok čelik Č 4583 pokazuje pasivnost u području od 1085,70 mV do 1742,80 mV.

U 10%-nim rastvorima kalcijum-hipohlorita čelik Č 4572 pokazuje pasivnost u području potencijala od 1171,40 mV do 2199,90 mV, dok čelik Č 4583 pokazuje pasivnost u području od 971,40 mV do 2199,90 mV.

U 50%-nim suspenzijama nema pasivne oblasti.

3. Na osnovu prikazanih rezultata sledi da su ispitivani čelici otporni u 1%-nim rastvorima kalcijum-hipohlorita, postojani u 10%-nim rastvorima a najmanje otporni u 50%-nim suspenzijama.

## 5. LITERATURA

- [1] A.A.Babakov, M.V.Pridancev (1971) Korozionostojki stali i splavi, Moskva.
- [2] M.Stojanović, Č.Lačnjevac, Z.Lopičić, M.Rajković, M.Petrović (2012) Korozija i koroziono ponašanje osiromašenog uranijuma, u: Gulušija Z., Lačnjevac Č. (urednici), Korozija i zaštita materijala, Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina (ITNMS), Inženjersko udruženje za koroziju, Beograd, s. 223-260.
- [3] D.J.Stojković, M.M.Jakšić, B.Ž.Nikolić (1969) Određivanje konstante disocijacije hipohloraste kiseline metodom prave linije, Glasnik hemijskog društva Beograd, **34**(3), 171-180.
- [4] W.A.Noyes, T.A.Wilson (1922) The Ionization Constant of Hypochlorous Acid. Evidence for Amphoteric Ionization, Journal of the American Chemical Society, **44**, 1630-1637.
- [5] J.Haye (1942) Forhandlienger Kong. Norske Videnskabere, **14**, 1.
- [6] J.N.Agar (1953) Electrochemistry and corrosion, Transactions of the Faraday Society, **49**(4), 533-539.
- [7] Won einem autoren kolektiv (1973) Werstoffeinsatz und Korrosionsschutz Industrie, Leipzig.
- [8] D.Pletcher, R.Greef, R.Peat, J.Robinson (2001) Instrumental Methods in Electrochemistry, Ellis Horwood, Chichester, West Sussex.
- [9] D.G.Trifunov (1982) Koroziona stoikost nerzavejnih stalei, splavov i čistih metalov, Металургия, Moskva.
- [10] J.Cinkler, M.Rajković, Č.Lačnjevac, M.Pavlović (2005) The Corrosion of Steel Armatures in Reinforced Concrete Structures and their Protection, The European Corrosion Congress EUROCORR 2005, Lisbon, Portugal, Session K: Corrosion in Concrete, P-512-K, Book of Abstracts, p. 351.
- [11] M.B.Rajković, I.D.Sredović (2009) Praktikum iz Analitičke hemije, Poljoprivredni fakultet, Fortuna, Zemun.
- [12] D.Tošković, D.Stanojević, M.Rajković (2002) Chromium-Nickel Steel Uranus B6 Corrosion Resistance in Calcium-Hypochlorite Solution, PHYSICAL CHEMISTRY 2002, *Proceedings* of the 6<sup>th</sup> International Conference on Fundamental and Applied Aspects of Physical Chemistry, The Society of Physical Chemists of Serbia, Belgrade, D-15-P, p. 302-304.
- [13] D.Toskovic, M.Rajkovic, D.Stanojevic (2007) The corrosion resistance of chromium-nickel steel in calcium-hypochlorite solution, The European Corrosion Congress: Progress by Corrosion Control, EUROCORR 2007, Freiburg im Breisgau, Germany, Session K: Corrosion of Steel in Concrete, K-7, p.376.
- [14] D.Tošković, Č.Lačnjevac, M.Rajković, D.Stanojević, D.Čamovska (2008) Study of Corrosion Resistance of Chromium-Nickel Steels in Calcium-Hypochlorite Solution, 20<sup>th</sup> Congress of Chemists and Technologists of Macedonia, Bicongress '08, Ohrid, Abstract Book, ECH: Electrochemistry, ECH-22-E, p. 226.
- [15] D.Pletcher, R.Greef, R.Peat, J.Robinson (2001) Instrumental methods in Electrochemistry, Ellis Horwood, Chichester, West Sussex.
- [16] G.E.Badea, A.Caraban, M.Sebesan, S.Dzitac, P.Cret, A.Setel (2010) Polarisation Measurements Used for Corrosion Rates Determination, Journal of Sustainable Energy, **1**(1), 16-23.
- [17] K.Ivanis (1989 ) Izračunavanje korozionih parametara preko polarizacionog otpora primjenom računara, Jugoslovenski simpozijum o elektrohemiji, Rovinj, Knjiga radova, s. 93.
- [18] R.L.Le Roy (1975) Evaluation of Corrosion Rates from Polarization Measurements, Corrosion, **31**(5), 173-177.
- [19] M.Pražák, V.Číhal (1962) Die potentiostatische untersuchung des einflusses einiger legier unselemente auf die elektrochemischen und korrosionseigenschaften nischrostender stähle, Corrosion Science, **2**(1), 71-84.
- [20] D.Tošković, M.Rajković, D.Stanojević (2002) Study of Corrosion Resistance of Chromium-Nickel Steel in Calcium-Hypochlorite Solution. Part 1. Steels URANUS B6 and Č 4578, Journal of Mining and Metallurgy B, **38**(1), 75-91.
- [21] D.Tošković, M.Rajković, D.Stanojević (2002) Study of Corrosion Resistance of Chromium-Nickel Steel in Calcium-Hypochlorite Solution, Bulletin of Electrochemistry, **18**(6), 273-280.
- [22] D.Tošković, M.Rajković, I.Čirić (2002) Corrosion of Tin Plate in Brine Solutions, Russian Journal of Applied Chemistry, **75**(11), 1808-1811.
- [23] D.Tošković, D.Rajić, S.Pavlović, N.Tošković (2014) Determination of Corrosion Rate Austenitic Steels S 4571 and S 4580 in a Solution of Calcium Hypochlorite; Sedmi međunarodni naučni skup Savremeni Materijali; Banja Luka, p.233.
- [24] L.Karlsson (2004) Stainless steels- past, present and future, Svetsaren No 1, 47-52
- [25] Д.Г.Туфанов (1983 ) Корозионая стойкост нержавейщих сталей, Металургия, Москва.



**ABSTRACT****CORROSION RATE DETERMINATION OF AUSTENIC STEELS IN CALCIUM HYPOCHLORITE SOLUTIONS**

*This paper presents the results of testing the corrosion resistance of austenitic chromium-nickel steel X6 CrNiTi 18-10 and X6 CrNiNb 18-10 in solutions of calcium hypochlorite. For the tests were used potentiodynamic measurement methods. By graphical method of linear polarization, corrosion currents and corrosion potential were obtained on the intersection of the Tafel real  $E = f(\log i)$  on the basis of potentiodynamic curves for the examined steels. The comparative method to determine the corrosion current density is the polarization resistance method. Based on corrosion currents were calculated corrosion rate of tested steel. Anodic polarization curves for both austenitic steel in the investigated solutions were shot in the interval of stationary potential of up to + 2.5V, to determine the areas of activity.*

*Test results show that with increasing of calcium hypochlorite solution concentration, increase the pH of the solution and the concentration of active chlorine which causes a reduction in the corrosion resistance of the tested steel. These steels are resistant to corrosion in a 1% solution, stable in 10% solutions, and less resistant in 50% suspensions of calcium hypochlorite.*

**Keywords:** *austenitic chromium-nickel steels, polarization curves, potentiodynamic measurement methods, solution of  $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ , graphical methods of linear polarization*

*Scientific paper*

*Paper received: 03. 02. 2016.*

*Paper accepted: 23. 03. 2016.*

*Paper is available on the website: [www.idk.org.rs/journal](http://www.idk.org.rs/journal)*