

Korozijske karakteristike sirovog i eloksanog aluminijskog

KUI – 14/2013
Prispjelo 27. veljače 2012.
Prihvaćeno 19. ožujka 2013.

S. Islamović,* F. Korać, J. Ostojić, M. Kezo,
S. Gutić, L. Koštrovan i A. Halilović

Prirodno-matematički fakultet Univerziteta u Sarajevu, Odsjek za hemiju,
Zmaja od Bosne 33–35, 71 000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina

Korozivnu postojanost aluminijskog i njegovih legura u mnogim medijima moguće je povećati različitim postupcima, među kojima se ističu metode anodizacije ili anodne oksidacije, koja se obično naziva eloksanjem.

Korozivna postojanost aluminijskog nije apsolutna. Aluminij ima slabu otpornost na koroziju u okolišu sa slabom cirkulacijom kisika ili bez nje, obnavljanje pasivnog filma je onemogućeno, materijal više nije korozivno postojan i u tom slučaju odvijaju se korozivni procesi, što se očituje na različite načine.

Kao korozivni mediji uzeti su: otopina NaCl ($w = 3\%$), otopina HCl ($w = 3\%$), otopina H_2SO_4 ($w = 10\%$), otopina NaCl + NaOH (pH = 10,09), otopina NaOH (pH = 10,17), morska voda iz Ploča.

Eloksanjem se postiže da su u svim korozivnim sredinama potencijali veći, što znači da se stvara zaštitni film oksida. Oksidni sloj najstabilniji je u otopini sumporne kiseline, a najmanju zaštitnu ulogu pokazuje u 3 %-tnoj otopini HCl, 3 %-tnoj otopini NaCl i morskoj vodi. Povećanjem debljine oksidnog sloja s 10 na 20 mikrometara ne postiže se poboljšanje zaštite od korozije izuzev u otopini NaOH. Eloksanjem se smanjuju polarizacijski otpori prema sličnoj ovisnosti o korozivnoj sredini. Sličan i veći zaštitni učinak pokazuje eloksani aluminij s debljinom sloja 20 mikrometara. Eloksanjem se brzina korozije smanjuje za nekoliko desetaka puta, što potvrđuje da se eloksanjem aluminij štiti od korozije. Vrijednosti su od 3,57 do 2699,00 mm a⁻¹.

Ključne riječi: Aluminij, eloksanje, korozivna sredina

Uvod

Standardni potencijal aluminijskog iznosi $E^\circ = -1,66$ V, što ukazuje na njegovu nisku termodinamičku stabilnost. Već na zraku aluminij se prekriva pasivnim filmom Al_2O_3 čija debljina varira od 5 do 20 nm. U 3 %-tnoj otopini NaCl elektrodni potencijal aluminijskog iznosi $-0,55$ V, pa u skladu s tim porastom potencijala u neutralnim otopinama elektrolita i u vodi aluminij može korodirati s kisikovom i vodikovom depolarizacijom. Kisik i oksidirajuće supstancije u mnogim otopinama i u atmosferi trenutačno razvijaju zaštitni film. Taj film obično je stabilan u otopinama pH između 4,5 i 8,5. Oksid je topljiv u jako lužnatim i jako kiselim otopinama kao i u otopinama klorida, fluorida i sulfata, pri čemu je aluminij izložen intenzivnom napadu.^{1,2,3} Međutim u nekim jakim kiselinama, kao što je koncentrirana dušična kiselina, oksidni film i dalje pruža zaštitu i aluminij nije izložen napadu. Aluminij je otporan na glacijalnu octenu kiselinu i u nekim lužnatim otopinama aluminij u osnovi ne korodira.

U nekim slučajevima korozija se odvija malom brzinom, iako bi s kinetičkog gledišta brzina otapanja metala trebala biti znatno veća. Takvo stanje visoke otpornosti prema

koroziji naziva se pasivnošću. Izazvana je usporavanjem anodne reakcije ionizacije metala. Metal koji se nalazi u pasivnom stanju praktički ne korodira, bez obzira na to što mu je potencijal znatno pomaknut (na stotine mV) u pozitivnom smjeru.⁴

Aluminij ima slabu otpornost na koroziju u okolišu sa slabom cirkulacijom kisika ili bez nje, obnavljanje pasivnog filma je onemogućeno, materijal više nije korozivno postojan i u tom slučaju odvijaju se korozivni procesi, što se očituje na različite načine.^{1,2,5} Cilj je ovog rada ispitati korozivna svojstva uzoraka aluminijskog elektrokemijskim metodama u kiseloj, neutralnoj i lužnatoj otopini s kloridnim ionima, kao i u kiseloj i lužnatoj otopini bez njih. Također je bio cilj ispitati korozivna svojstva aluminijskog u ovisnosti o prethodnoj obradi (pasivizacija uzorka), kao i odrediti utjecaj kloridnih iona i ostalih korozivnih sredina na korozivne karakteristike sirovog (nezaštićenog) aluminijskog i eloksanog (zaštićenog) aluminijskog.

Eksperimentalni dio

Pripremanje uzoraka aluminijskog

Za mjerenja su pripremljene aluminijske pločice dimenzija 2 mm × 2 mm, koje su nakon toga obrađivane na dva načina.⁶

* Autor za dopisivanje: mr. sc. Safija Islamović, viši asistent
e-pošta: islamovic.safija@gmail.com

U prvom slučaju aluminijska pločica obrađena je brusnim papirom različite finoće (200 – 600), odmašćena u blago alkalnom odmašćivaču SurTec 117 ($\gamma = 50 \text{ g L}^{-1}$), alkalno nagrizana (jetkanje) u otopini NaOH ($\gamma = 60 \text{ g L}^{-1}$) i aditivu SurTec 402 A ($\gamma = 40 \text{ g L}^{-1}$), ispirana u običnoj vodi i neutralizirana u $1,5 \text{ mol L}^{-1}$ otopini H_2SO_4 uz dodatak aditiva SurTec 498 ($\gamma = 15 \text{ g L}^{-1}$).

U drugom je postupku aluminijska pločica prošla isti tretman kao i u prvom, ali je drugi način obrade uključivao zaštitu aluminija oksidnim slojevima različite debljine (10 i 20 mikrometara), dok je u prvom postupku samo skidan primarni oksidni sloj te je aktivirana površina. Aluminijska je pločica obrađena brusnim papirom različite finoće (200 – 600), odmašćena u blago lužnatom odmašćivaču SurTec 117, lužnato nagrizana (jetkanje) u otopini NaOH ($\gamma = 60 \text{ g L}^{-1}$) i aditivu SurTec 402 A ($\gamma = 35 \text{ g L}^{-1}$), ispirana u običnoj vodi i neutralizirana u $1,5 \text{ mol L}^{-1}$ otopini H_2SO_4 i aditivu SurTec 498 ($\gamma = 15 \text{ g L}^{-1}$). Metodom anodne oksidacije u $1,5 \text{ mol L}^{-1}$ H_2SO_4 , u trajanju od 20 do 40 min, uzorci aluminija zaštićeni su oksidnim slojem različite debljine (10 i 20 mikrometara), nakon čega su ispirani u običnoj pa potom u destiliranoj vodi i silirani u otopini SurTec 355 A ($\gamma = 30 \text{ g L}^{-1}$) i SurTec 355 B ($\gamma = 10 \text{ g L}^{-1}$).

Kao korozivni mediji uzeti su: otopina NaCl ($w = 3 \%$), otopina HCl ($w = 3 \%$), otopina H_2SO_4 ($w = 10 \%$), otopina NaCl + NaOH (pH = 10,09), otopina NaOH (pH = 10,17) morska voda iz Ploča.⁷

Za ispitivanja metodom linearne polarizacije te potenciodinamičkom metodom upotrijebljen je potenciostat/galvanostat PAR 263A povezan s računalom uz odgovarajući softver. Mjerenje je vršeno u standardnom elektrokemijskom članku opremljenom trima elektrodama (radna – uzorak, Ag/AgCl zas. KCl – referentna i Pt kao pomoćna elektroda).

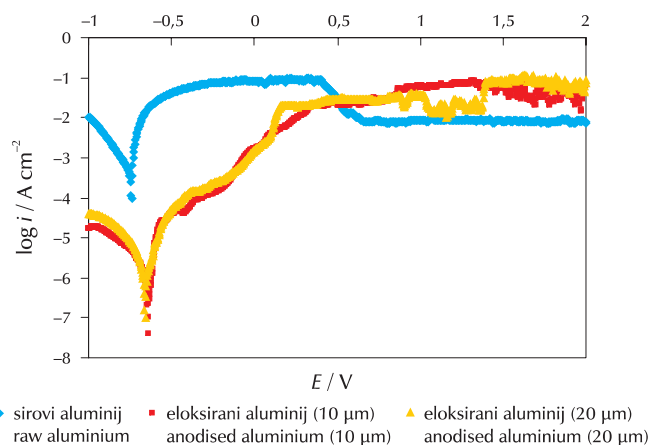
Radna elektroda je aluminijska pločica, koja je najprije obrađivana brusnim papirom različite finoće (od 200 do 600), a zatim je tretirana prethodno opisanim postupcima. Zatim je elektroda omotana teflonskom trakom da bi se dobila manja radna površina, koja je precizno izmjerena.

Tako pripremljen uzorak, zajedno s referentnom i pomoćnom elektrodom uronjen je u elektrokemijski članak u koji je prethodno uliveno 50 ml korozivnog medija. Mjerenje metodom linearne polarizacije započinje nakon što su se uspostavile stabilne vrijednosti potencijala otvorenog strujnog kruga na potencijalu koji je 250 mV negativniji od E_{corr} a završava kada je postignuta vrijednost potencijala 250 mV pozitivnija od E_{corr} , koji je prethodno određen snimanjem potenciodinamičkom metodom u širem rasponu potencijala pri brzini skeniranja od 1 mV s^{-1} . Tafelovi dijagrami snimljeni su $\pm 250 \text{ mV}$ u odnosu na spomenuti potencijal.

Rezultati i rasprava

Tafelovi dijagrami uzoraka aluminija u otopini HCl, $w = 3 \%$

Na slici 1 prikazan je Tafelov dijagram za aluminij koji je obrađen na tri različita načina. Aluminij koji je samo aktiviran bez zaštite pokazuje korozivni potencijal pri $-0,74 \text{ V}$,



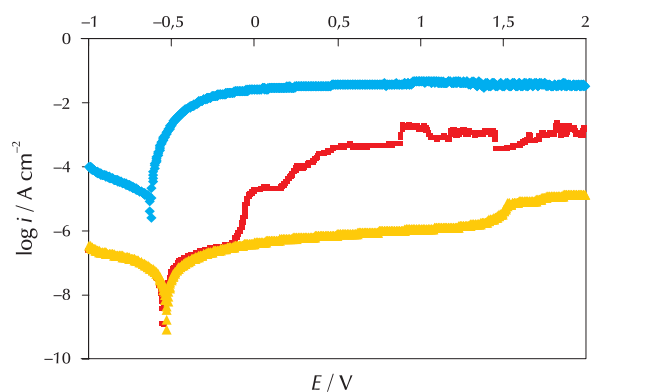
Slika 1 – Tafelovi dijagrami uzoraka aluminija u otopini HCl, $w = 3 \%$

Fig. 1 – Tafel diagrams of aluminium samples in HCl solution, $w = 3 \%$

što znači da je korozivni potencijal pomaknut u katodno područje u odnosu na aluminij koji je eloksirani i kojemu su potencijali $-0,64 \text{ V}$ i $-0,66 \text{ V}$. Iz navedenog se vidi da je eloksirani aluminij termodinamički stabilniji, a samim tim i postojaniji u korozivnom mediju u odnosu na aluminij koji nije bio zaštićen. Na prikazanom dijagramu uočljivo je izraženo aktivno područje nezaštićenog aluminija, i to od korozivnog potencijala do $0,3 \text{ V}$, gdje počinje pasivizacija aluminija u danom korozivnom mediju. Na eloksiranom aluminiju vidljivo je da je prisutan pasivni sloj, s obzirom na to da su vrijednosti struje u gotovo svim područjima potencijala veće, osim u onim vrlo pozitivnim područjima potencijala gdje su znatno manje.

Tafelovi dijagrami uzoraka aluminija u otopini NaCl, $w = 3 \%$

Tafelovi dijagrami uzoraka aluminija u 3 %-tnoj otopini NaCl na slici 2 pokazuju znatnu razliku između zaštićenog i nezaštićenog aluminija. Korozivni potencijal nezaštićenog aluminija pomaknut je u katodno područje i pokazuje vrijednost $-0,63 \text{ V}$ u odnosu na korozivni potencijal



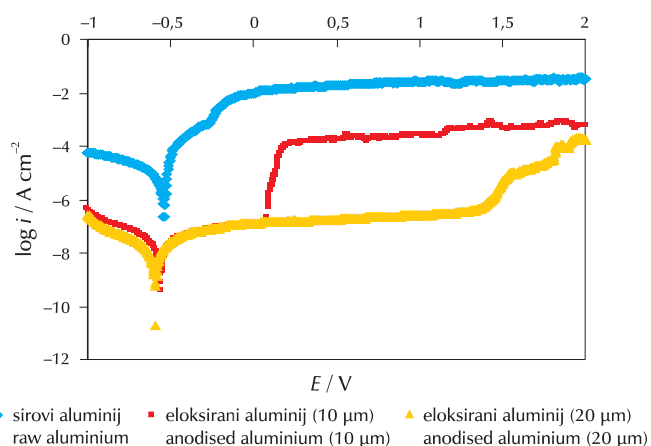
Slika 2 – Tafelovi dijagrami uzoraka aluminija u otopini NaCl, $w = 3 \%$

Fig. 2 – Tafel diagrams of aluminium samples in NaCl solution, $w = 3 \%$

zaštićenog aluminijskog različite debljine oksidne prevlake (10 i 20 mikrometara). Pri visokoj anodnoj polarizaciji sirovog aluminijskog dolazi do ravnomjernog porasta struje, što je indicacija aktivacijske polarizacije, odnosno uniformne korozije. Na oba eloksirana uzorka indikativno je postojanje pasivnog sloja. Međutim na aluminijsku koji je eloksiran kraće vrijeme pri pozitivnijim potencijalima dolazi do naglih porasta vrijednosti struje, što je vrlo vjerojatno posljedica razaranja pasivnog sloja. Deblji eloksirani sloj pokazuje znatno bolja zaštitna svojstva.

Tafelovi dijagrami uzoraka aluminijskog u morskoj vodi

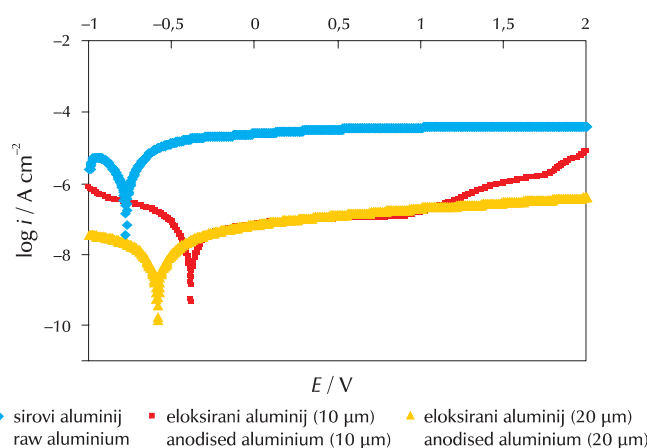
Iz prikazanih dijagrama na slici 3 vidi se da za sva tri uzorka aluminijskog korozijski potencijal ima vrijednost oko $-0,53$ V. Međutim kod sirovog aluminijskog je izraženo aktivno područje bez stvaranja pasivnog sloja, uz velike korozijske struje. Na dijagramu se može primijetiti da se na aluminijsku čija je debljina oksidne prevlake oko 10 mikrometara formira pasivni sloj koji je stabilan do vrijednosti potencijala $0,1$ V, nakon čega dolazi do naglog porasta struje, što je najvjerojatnije posljedica razaranja pasivnog sloja. Dulje eloksirani uzorak pokazuje niže vrijednosti korozijske struje i stabilan pasivni sloj do vrijednosti potencijala $1,4$ V.



Slika 3 – Tafelovi dijagrami uzoraka aluminijskog u morskoj vodi
Fig. 3 – Tafel diagrams of aluminium samples in seawater

Tafelovi dijagrami uzoraka aluminijskog u otopini NaOH (pH = 10,17)

Na slici 4 prikazan je Tafelov dijagram uzoraka u otopini NaOH (pH = 10,17) na kojem se mogu uočiti značajne razlike u ponašanju sirovog i eloksiranog aluminijskog. Prije svega korozijski potencijal sirovog aluminijskog ima znatno negativniju vrijednost, $-0,75$ V, u odnosu na korozijski potencijal eloksiranog aluminijskog. Na oba uzorka eloksiranog aluminijskog dolazi do stvaranja pasivnog sloja koji je veoma stabilan. Promatrajući struju korozije, uočljivo je da su vrijednosti znatno niže za uzorke koji su bili eloksirani u odnosu na uzorak koji nije prošao tretman zaštite. Kod aluminijskog koji je kraće vremena bio izložen tretmanu zaštite pasivni sloj je stabilan do vrijednosti potencijala $1,0$ V, da bi potom došlo do postupene degradacije sloja. Kod aluminijskog koji ima veću debljinu oksidnog sloja, na površini nastali pasivni sloj stabilan je tijekom mjerenja.

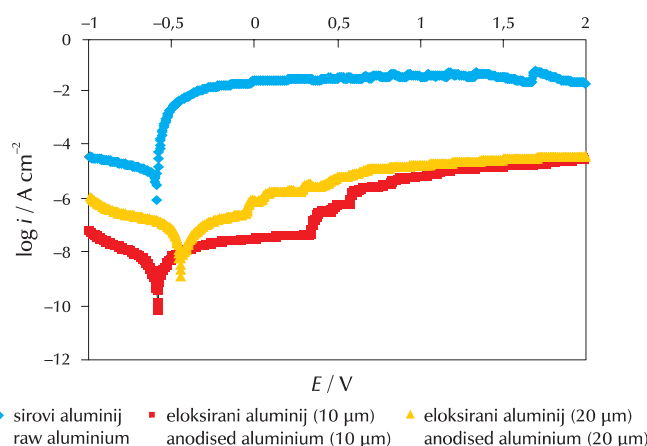


Slika 4 – Tafelovi dijagrami uzoraka aluminijskog u otopini NaOH (pH = 10,17)

Fig. 4 – Tafel diagrams of aluminium samples in NaOH solution (pH = 10.17)

Tafelovi dijagrami uzoraka aluminijskog u otopini NaOH + NaCl (pH = 10,09)

Na slici 5 prikazana je razlika u ponašanju sirovog i zaštićenog aluminijskog u otopini NaOH + NaCl (pH = 10,09). Iz prikazanog se može zaključiti da aluminijsku koji se dulje eloksira i time dobiva veću debljinu oksidnog sloja pokazuje bolju otpornost u korozivnim medijima kojima je izložen. To je posebno izraženo u anodnom području, gdje je struja na nezaštićenom aluminijsku znatno veća od struja na eloksiranim uzorcima. Kod uzorka čija je debljina oksidnog sloja iznosi oko 10 mikrometara uočava se održavanje pasivnog sloja do vrijednosti potencijala $-0,1$ V, nakon čega dolazi do razaranja pasivnog sloja i naglog porasta struje. Kod uzorka koji je dulje eloksiran pasivni sloj stabilan je do $E = 0,4$ V, gdje dolazi do naglog rasta struje. Na uzorku eloksiranom dulje propadanje pasivnog sloja događa se kasnije, što znači da je taj aluminijsku korozijski otporniji.



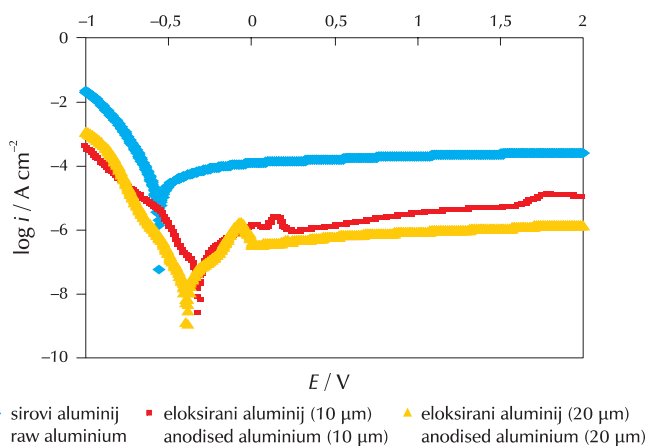
Slika 5 – Tafelovi dijagrami uzoraka aluminijskog u otopini NaOH + NaCl (pH = 10,09)

Fig. 5 – Tafel diagrams of aluminium samples in NaOH + NaCl solution (pH = 10.09)

Tafelovi dijagrami uzoraka aluminijskog u otopini H_2SO_4 , $w = 10\%$

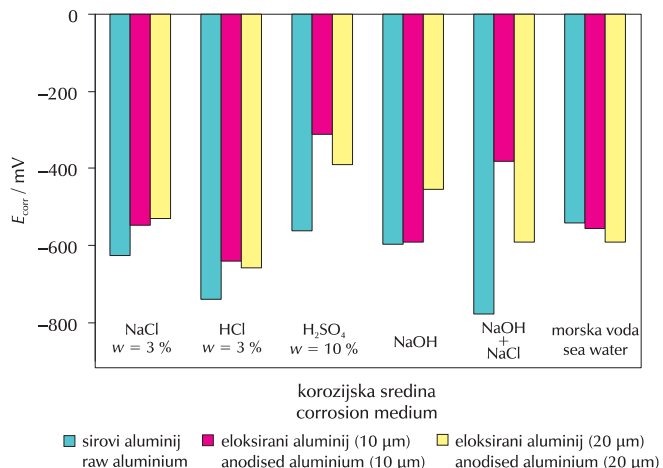
Na slici 6 može se primijetiti da sirovi aluminij koji nije presvučen zaštitnim slojem pokazuje korozijski potencijal $-0,56\text{ V}$, što znači da je korozijski potencijal pomaknut u katodno područje u odnosu na aluminij koji je zaštićen metodom anodne oksidacije i čije vrijednosti korozijskog potencijala iznose $-0,3\text{ V}$ i $-0,4\text{ V}$. U sva tri prikazana slučaja na aluminiju se stvara pasivni sloj koji je stabilan. Nastanak pasivnog sloja objašnjava se time što se i sam proces eloksanja vrši u sumpornoj kiselini pa i ona sama pogoduje nastanku oksidnog filma na površini metala. Ipak, uočava se da aluminij kod veće debljina oksidne prevlake (20 mikrometara) pokazuje manje struje korozije a također i korozijske potencijale pomaknute prema pozitivnijim vrijednostima. Iz navedenog slijedi da o debljini oksidne prevlake i duljini eloksanja ovisi otpornost aluminijskog prema koroziji zbog vanjskih utjecaja i da aluminij koji je dulje eloksan pokazuje bolje korozijske karakteristike.

Na slici 7 prikazani su korozijski potencijali svih uzoraka u ispitivanim sredinama. Najmanji potencijal sirovi aluminij ima u otopini NaOH + NaCl, zatim u 3 %-tnoj otopini



Slika 6 – Tafelovi dijagrami uzoraka aluminijskog u otopini H_2SO_4 , $w = 10\%$

Fig. 6 – Tafel diagrams of aluminium samples in H_2SO_4 solution, $w = 10\%$



Slika 7 – Korozijski potencijali sirovog i eloksanog aluminijskog
Fig. 7 – Corrosion potentials of raw and anodised aluminium

HCl, nešto veću vrijednost ima u 3 %-tnoj otopini NaCl, a najstabilniji je u 10 %-tnoj otopini H_2SO_4 , gdje se može pretpostaviti da je došlo do pasivizacije zbog stvaranja oksidnog sloja. Eloksanjem se postiže pomak korozijskog potencijala u pozitivnom smjeru u svim korozijskim sredinama, što znači da se stvara zaštitni film oksida. Taj oksidni sloj najstabilniji je u otopini sumporne kiseline, a najslabiju zaštitnu ulogu pokazuje u 3 %-tnoj otopini HCl, 3 %-tnoj otopini NaCl i morskoj vodi.

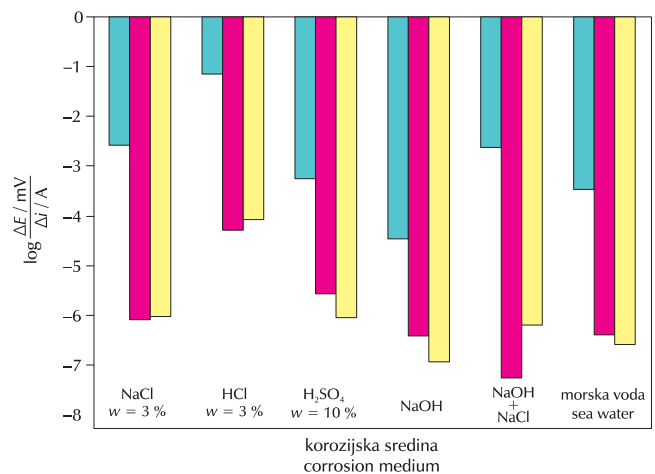
Polarizacijski otpor

Polarizacijski otpor izračunava se iz nagiba pravca prema jednadžbi:⁸

$$\frac{\Delta E}{\Delta i} = \frac{\beta_A \beta_K}{2,3 i_{\text{corr}} (\beta_A + \beta_K)} \quad (1)$$

Elektrokemijska tehnika polarizacijskog otpora primjenjuje se kao indikator brzine korozije. Veći otpor ukazuje na manju brzinu korozije.

Zbog relativno velikog polarizacijskog otpora uzorka u 3 %-tnoj otopini HCl uspoređeni su logaritmi vrijednosti polarizacijskih otpora uzoraka u različitim otopinama. Najveći otpor aluminij pokazuje u 3 %-tnoj otopini HCl (nekoliko stotina puta veća vrijednost). Iz dijagrama 8 može se vidjeti da su veći polarizacijski otpori sirovog aluminijskog nego eloksanog. Najveću vrijednost pokazuje 3 %-tna otopina HCl, zatim otopina NaCl, dok su najmanji otpori u otopini NaOH i NaCl. Eloksanjem se smanjuju polarizacijski otpori prema sličnoj ovisnosti o korozijskoj sredini. Sličan i veći zaštitni učinak pokazuje eloksanji aluminij s debljom slojem 20 mikrometara.



Slika 8 – Logaritmi polarizacijskih otpora različitih uzoraka aluminijskog

Fig. 8 – Logarithms of the polarisation resistances of different aluminium samples

Korozijska struja

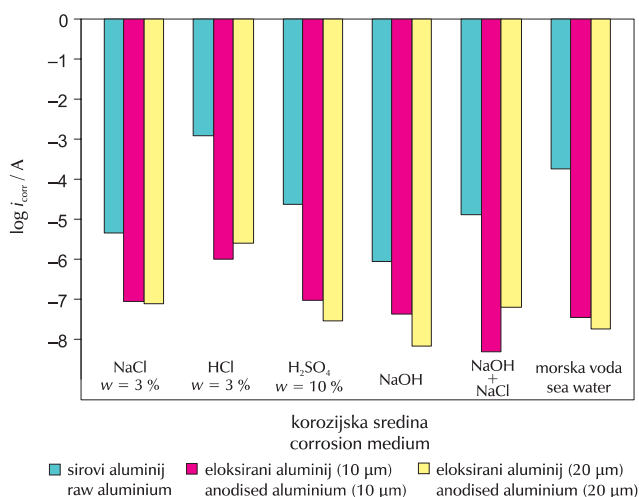
Korozijska struja korozije računa se po ovoj formuli:⁸

$$i_{\text{corr}} = \frac{\beta_A \beta_K}{2,3 (\beta_A + \beta_K)} \frac{\Delta i}{\Delta E} \quad (2)$$

T a b l i c a 1 – Tafelovi koeficijenti β_A i β_K određeni za sirovi i eloksirani aluminijT a b l e 1 – Determined β_A and β_K Tafel coefficients for raw aluminium and anodised aluminium

| Korozivna sredina Corrosive media | Sirovi aluminij Raw aluminium | | Elokisani aluminij, debljina 10 μm Anodised aluminium, thickness 10 μm | | Elokisani aluminij, debljina 20 μm Anodised aluminium, thickness 20 μm | |
|---|----------------------------------|-------------|---|-------------|---|-------------|
| | β_A/V | β_K/V | β_A/V | β_K/V | β_A/V | β_K/V |
| NaCl, w = 3 % | 0,03 | 0,44 | 0,62 | 0,45 | 0,34 | 0,39 |
| HCl, w = 3 % | 0,05 | 0,19 | 0,05 | 0,32 | 0,11 | 0,19 |
| H ₂ SO ₄ , w = 10 % | 0,58 | 0,11 | 0,26 | 0,12 | 0,17 | 0,12 |
| NaOH | 0,13 | 0,12 | 0,87 | 0,38 | 0,25 | 0,32 |
| NaOH + NaCl | 0,02 | 0,82 | 0,56 | 0,31 | 0,43 | 0,45 |
| Morska voda Seawater | 0,15 | 0,64 | 0,54 | 0,31 | 0,37 | 0,29 |

Također, zbog relativno velikih korozivnih struja u 3 %-tnoj otopini HCl i donekle u morskoj vodi prikazana je logaritamska zavisnost struja korozije.



S l i k a 9 – Logaritmi korozivne struje sirovog i eloksirano aluminija

F i g. 9 – Logarithms of the corrosion current of raw and anodised aluminium

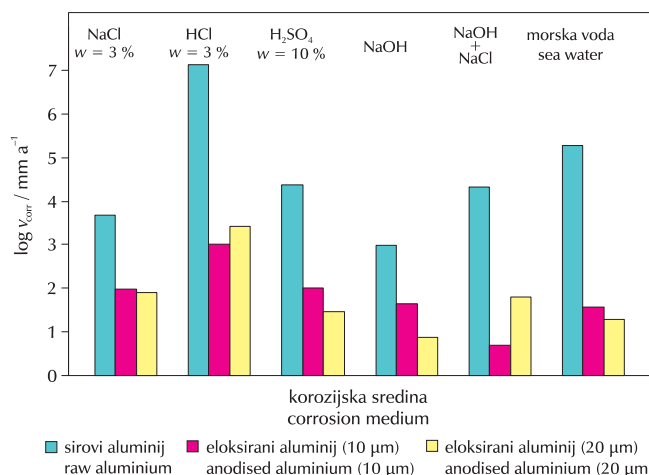
Budući da struje korozije izravno ovise o polarizacijskim otporima, slična je ovisnost kod svih uzoraka i korozivnih sredina. Ponovno je izrazito jaka korozivna struja za sirovi aluminij u 3 %-tnoj otopini HCl, ali je uočljivo i postojanje značajne struje korozije istog uzorka u morskoj vodi.

Brzina korozije

Brzina korozije aluminija računa se prema sljedećoj formuli:⁸

$$v_{\text{corr}} = i_{\text{corr}} \frac{M(\text{Al})}{zF} \quad (3)$$

Zbog velike brzine korozije u 3 %-tnoj otopini HCl ne može se na dijagramu uočiti prava vrijednost brzine korozije ostalih uzoraka, pa se uzima logaritam brzine korozije.



S l i k a 10 – Logaritmi brzina korozije različitih uzoraka aluminija

F i g. 10 – Logarithms of the corrosion rate of different aluminium samples

U izrazu za izračunavanje brzine korozije svi su prije spomenuti parametri tako da ovisnost brzine korozije o uzorku i korozivnoj sredini pokazuje sinergijski utjecaj svih faktora na korozivnu stabilnost sirovog i eloksirano aluminija.

Na slici 10 vidi se da je brzina korozije sirovog aluminija veća nego kod eloksirano. Sirovi aluminij najbrže korodira u 3 %-tnoj otopini HCl, zatim u otopini NaCl i morskoj vodi, a najmanju brzinu pokazuje u otopini NaOH. Elokspiranjem se brzina korozije smanjuje nekoliko desetaka puta što potvrđuje da se elokspiranjem aluminij štiti od korozije. S povećanjem debljine sloja u nekim se sredinama smanjuje brzina korozije, dok se kod drugih ostvaruje protučinak.

Zaključak

Metodom anodne oksidacije zaštićeni su uzorci aluminija različitim debljinom oksidnog sloja (10 i 20 mikrometara) u trajanju od 20 do 40 min.

Na osnovi mjerenja ovih uzoraka u različitim korozivnim sredinama možemo zaključiti:

- Najniži potencijal sirovi aluminij ima u otopini NaOH + NaCl, zatim u 3 %-tnoj otopini HCl, a najstabilniji je u 10 %-tnoj otopini H₂SO₄ gdje se može pretpostaviti da je došlo do pasivizacije zbog stvaranja oksidnog sloja. Vrijednosti se kreću od –741 do –311 mV.

- Elokspiranjem se postiže da su u svim korozivnim sredinama potencijali veći što znači da se stvara zaštitni film oksida. Taj oksidni sloj najstabilniji je u otopini sumporne kiseline, a najmanju zaštitnu ulogu pokazuje u 3 %-tnoj otopini HCl, 3 %-tnoj otopini NaCl i morskoj vodi.

- Povećanjem debljine elokspiranja s 10 na 20 mikrometara ne postiže se očekivano poboljšanje zaštite od korozije osim u otopini NaOH.

- Polarizacijski otpori veći su kod sirovog aluminija nego kod eloksirano. Najveću vrijednost pokazuje 3 %-tna otopina HCl ($5,193 \cdot 10^{-5} \text{ VA}^{-1}$), zatim otopina NaCl, dok su najmanji otpori u otopini H₂SO₄.

- Elokspiranjem se smanjuju polarizacijski otpori prema sličnoj ovisnosti o korozivnoj sredini. Sličan i veći zaštitni

učinak pokazuje eloksirani aluminij s debljinom sloja od 20 mikrometara.

– Budući da struje korozije izravno ovise polarizacijskim otporima, slična je ovisnost kod svih uzoraka i korozijskih sredina.

– Izrazito je velika vrijednost korozijske struje za sirovi aluminij u 3 %-tnoj otopini HCl ($1,24 \cdot 10^{-3} \text{ A cm}^{-2}$), ali je uočljivo i postojanje značajne korozijske struje istog uzorka u morskoj vodi ($1,77 \cdot 10^{-4}$). Ostale vrijednosti su reda veličine $10^{-5} \text{ A cm}^{-2}$ i niže.

– Brzina korozije sirovog aluminija veća je nego eloksiranog.

– Sirovi aluminij najbrže korodira u 3 %-tnoj otopini HCl ($13\ 025\ 224,5 \text{ mm a}^{-1}$), zatim u otopini NaCl i morskoj vodi, a najmanju brzinu pokazuje u otopini NaOH ($945,4 \text{ mm a}^{-1}$).

– Eloksiranjem se brzina korozije smanjuje nekoliko desetaka puta, što potvrđuje da se eloksiranjem aluminij štiti od korozije. Vrijednosti su od 3,57 do 2699,00 mm a^{-1} .

– S povećanjem debljine sloja u nekim sredinama se smanjuje brzina korozije, dok se kod drugih ostvaruje protučinak.

U izrazu za izračunavanje brzine korozije nalaze se svi gore navedeni parametri tako da ovisnost brzine korozije o uzorku i korozijskoj sredini pokazuje sinergijski utjecaj svih faktora na korozivnu stabilnost sirovog i eloksiranog aluminija.

Popis simbola i kratica

List of symbols and abbreviations

| | |
|-------------------|--|
| E | – potencijal, V – potential, V |
| E° | – standardni elektrodni potencijal, V – standard electrode potential, V |
| E_{corr} | – korozijski potencijal, mV – corrosion potential, mV |

| | |
|---------------------|--|
| $\Delta E/\Delta i$ | – polarizacijski otpor, mV A^{-1} – polarization resistance, mV A^{-1} |
| i | – gustoća struje, A cm^{-2} – corrosion density, A cm^{-2} |
| i_{corr} | – gustoća korozijske struje, A cm^{-2} – corrosion current density, A cm^{-2} |
| v_{corr} | – brzina korozije, mm a^{-1} – corrosion rate, mm a^{-1} |
| w | – maseni udjel, % – mass fraction, % |
| β_A | – anodni Tafelov nagib, mV – anodic Tafel plot, mV |
| β_K | – katodni Tafelov nagib, mV – cathodic Tafel plot, mV |

Literatura

References:

1. R. C. Spooner, Anodizacija aluminijuma i njegovih legura pomoću sumporne kiseline, interna skripta, Zagreb, 2000.
2. AnodizingEquipment.com: How to Anodize Aluminum. URL: anodizingequipment.com/anodizing-tips-and-tricks/how-to-anodize-aluminum (2. 2. 2012.).
3. H. Jasarevic, Neorganske nemetalne prevlake, seminarski rad. URL: www.scribd.com/doc/16837070/NEORGANSKE-NEMETALNE-PREVLAKE (2. 2. 2012.).
4. H. Belov, Primjena inhibitora korozije kod tehnologije obrade odvajanjem čestica, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2009.
5. N. Radošević, Priručnik za hemičare i tehnologe, II. izd., Tehnička knjiga, Beograd, 1968.
6. URL: http://www.surtec.com/Kataloge/Aluminium_eng.html, page=1 (2. 2. 2012.).
7. I. Esih, Osnove površinske zaštite, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2003.
8. M. Stern, A. L. Geary, Electrochemical Polarization: I. A Theoretical Analysis of the Shape of Polarization Curves, *J. Electrochem. Soc.* **104** (1957) 56–63.

SUMMARY

Corrosion Characteristics of Raw and Anodised Aluminium

S. Islamović,* F. Korać, J. Ostojić, M. Kezo, S. Gutić, L. Koštrovan, and A. Halilović

Corrosion resistance of aluminium and its alloys in different media can be improved by many procedures. One of the most used methods is anodisation or anodic oxidation, which is commonly known as anodising. Solutions of: NaCl, $w = 3\%$, HCl, $w = 3\%$, H_2SO_4 , $w = 10\%$, NaCl + NaOH (pH = 10.09), NaOH (pH = 10.17), and seawater taken from Ploče were used as corrosive media. Anodisation enables higher potentials in all corrosive environments, indicating that a protective oxide film has been formed. This oxide layer is the most stable in a solution of sulphuric acid, and has the lowest protective role in 3 % HCl solution, 3 % NaCl solution and seawater. By increasing the thickness of anodising from 10 to 20 micrometres, no improvement of the corrosion protection was achieved, except in the NaOH solution. Anodising also reduces the polarization resistance by a similar dependence of the corrosive environment. An even greater and similar protective effect is exhibited by anodised aluminium with a thickness of 20 micrometres. Anodising decreases the corrosion rate by several orders of magnitude, which confirms that aluminium anodising protects against corrosion. Values are from 3.57 to 2699.00 mm a^{-1} .

University of Sarajevo, Faculty of Science,
Department of Chemistry, Zmaja od Bosne 33–35,
71 000 Sarajevo, Bosnia and Herzegovina

Received February 27, 2012
Accepted March 19, 2013