

## Silani u zaštiti metala od korozije

*U radu su prikazane osnovne karakteristike silana i njihova primena u zaštiti metalnih površina. Opisane su tehnike depozicije silanskih filmova, kao i njihova karakterizacija.*

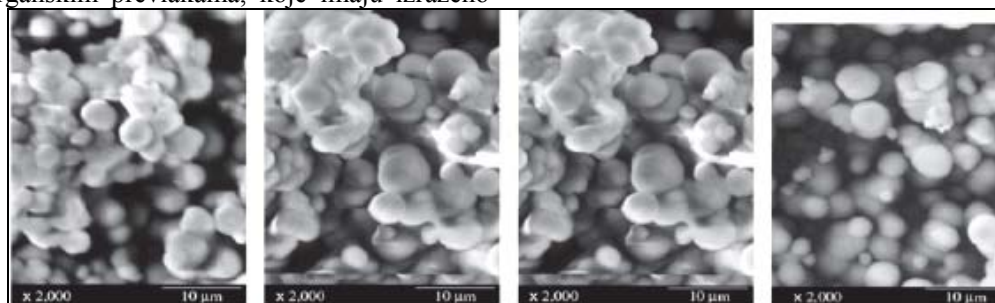
### 1. UVOD

Mnogi metali i njihove legure imaju odlične fizičke i mehaničke osobine, ali velika hemijska reaktivnost, slaba koroziona otpornost i slaba otpornost na habanje ograničava njihovu primenu. Nanošenjem zaštitnih prevlaka na površinu metala i legure povećava se koroziona otpornost i otpornost na habanje. Nanošenje zaštitnih prevlaka moguće je na više načina primenom fizičkih, hemijskih ili elektrohemijskih postupaka, kao i njihovom kombinacijom.

#### 1.1. Zaštita metala od korozije

Metali se najčešće od korozije štite organskim ili neorganskim prevlakama, koje imaju izraženo

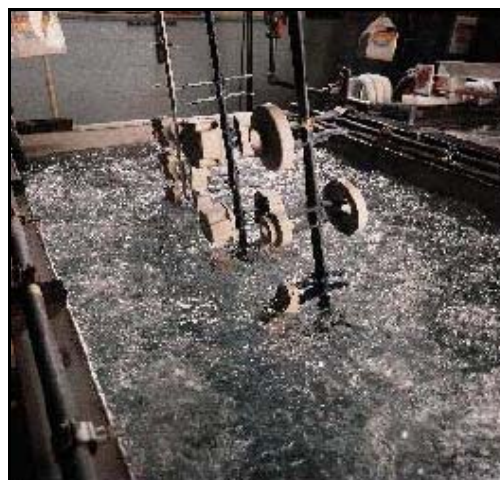
barijerno delovanje. Ipak, za sada još ne postoji organska matrica koja je nepropusna za vodu, kiseonik i agresivne jone. Na metalnoj podlozi, ove supstance vode odvajaju prevlake i koroziji. Metalna površina se zbog toga, pre nanošenja organske prevlake, na odgovarajući način predobrađuje, kako bi se osiguralo optimalno prijanjanje i dobra zaštita od korozije. Da bi prevlaka pružila adekvatnu zaštitu, mora da bude kompaktna, neporozna, da dobro prijanja i da ima mogućnost samoonavljanja na mestima na kojima može doći do njenog oštećenja (primer pasivizacije na bazi  $Cr^{6+}$ ). Slika 1 naprimer ilustruje izgled fosfatne prevlake sa uvećanjem.



Slika 1 - Izgled i morfologija zaštitne fosfatne prevlake sa uvećanjem ([www.scielo.br](http://www.scielo.br))

U zadnje vreme intenziviraju se istraživanja na području zaštite od korozije, čiji je cilj nalaženje temeljne prevlake za metale.

Temeljna prevlaka je ona koja je ekonomski isplativa, a postupak nanošenja jednostavan. Nanošenje prevlaka obično se vrši u specijalnim kupatilima. Proces nanošenja prevlake na magnezijumu na primer ilustrovan je na slici 2. Prevlake moraju da omoguće poboljšano prijanjanje, i bolju inhibiciju korozije u odnosu na postupke fosfatiranja i hromatiranja. Kako bi se udovoljilo tim zahtevima istražuju se nova jedinjenja silicijuma, naročito organosilikonska koji su predmet istraživanja više od 50 godina. Eksperimentalna istraživanja vrše se u cilju poboljšanja korozivnih karakteristika metala koji se koriste u automobilskoj, elektronskoj i drugim industrijama.



Slika 2 - Proces nanošenja prevlake na magnezijumu, prikaz jednog od kupatila ([www.lukeeng.com](http://www.lukeeng.com).)

### 1.2. Silanski filmovi u zaštiti metala

Silani su jedinjenja termički jako postojana, imaju visoku hemijsku otpornost kao i otpornost na vlagu. Rano otkrivena vrsta monomera i oligomera različite organske funkcionalnosti nosi naziv *alkoksilani*. Ovi monomeri odlično su spajajuće sredstvo jer poboljšavaju međuslojne karakteristike metala. *Trialkoksilani* i slična jedinjenja silicijuma predmet su istraživanja, i značajna su karika u razvoju "čistih" tehnologija u industriji obrade metala. *Mono-silani* su jedinjenja opšte strukture  $X_3Si(CH_2)_nY$ .

U strukturnoj formuli X predstavlja estar silicijuma koji reakcijom hidrolize prelazi u silanol-grupu, Y je organofunkcionalna grupa (primarni ili sekundarni amin ili vinil-grupa) koja zajedno sa koe-

ficijentom n (obično ima vrednost 3) utiče na rastvorljivost određenog monomera u vodi. (Ooij W. J., 2002.)

Mnogobrojne studije pokazuju da tzv. *bis-silani* imaju visok stepen zaštite metalnih površina, posebno kada se upotrebljavaju sa organofunkcionalnim mono-silanima. Ova jedinjenja imaju strukturu  $X_3Si(CH_2)_nY(CH_2)_mSiX_3$ , i njihova je postojanost osigurana i neprisuštvom funkcionalne grupe. Njihova uloga je poboljšanje osobina naslaga koje stvaraju poliksiloksani ( $SiOSi$  jedinjenja) za vreme kondenzacije. Ove tzv. mešavine silana obično imaju bolju funkcionalnost od pojedinačnih silanskih filmova. Većina njih nije rastvorljiva u vodi. Tabela 1 ilustruje najčešće istraživane silane u cilju zaštite površina različitih metala:

Tabela 1 - Silani i skraćenice za njihove nazive (Ooij W. J., 2002.)

Materijal	Struktura	Skraćeno
Viniltriacetoksi-silan	$CH_2=CH Si(OCOCH_3)_3$ mono-silan	VTAS
Bis-1,2-(trietoksisilil) etan	$(C_2H_5O)_3Si-CH_2CH_2-Si(OC_2H_5)_3$ bis-silan	BTSE
Bis-[trimetoksisililpropil]amin	$(CH_3O)_3Si-(CH_2)_3-NH-(CH_2)_3-Si(OCH_3)_3$ bis-silan	Bis-amino
Bis-[trietoksisililpropil]tetrasulfid	$(C_2H_5O)_3Si-(CH_2)_3-S_4-(CH_2)_3-Si(OC_2H_5)_3$ bis-silan	Bis-sulfur

Prepreka za rasprostranjenu primenu silan-filmova kao pasivacionog tretmana je ta da uprkos njihovoj hidrofobnosti, vlaga može dopreti do granične površine metal-silana. Reakcija hidrolize koja dopušta obrazovanje Si-O-Me spojeva je reverzibilna. U procesu korišćenja silanskih prevlaka kao sredstva za zaštitu metala, neophodno je unaprediti čvrstoću same prevlake. Međutim, deblji silanski filmovi obično su jako kruti i relativno nestabilni. Neke alternativne metode imaju za zadatak da poboljšaju njihove karakteristike ubacivanjem određenih aditiva (inhibitori ili specijalna vrsta punjenja). U istraživanjima je vidljiv napredak u modifikaciji silanske tehnologije uz korišćenje konvencionalnih boja-prevlaka.

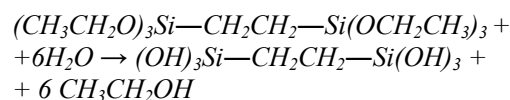
## 2. OSNOVE MEHANIZMA TRETMANA POVRŠINE METALA SILANIMA

S aspekta interakcije silana sa metalnom površinom važna je priprema površine metala. Čišćenje metalne podloge ključni je korak u procesu metalizacije. Sabata i drugi (Sabata et al., 1995.) ispitivali su efekte različitih procedura čišćenja površine čelika na dejstvo filma. Zaključili su da po-

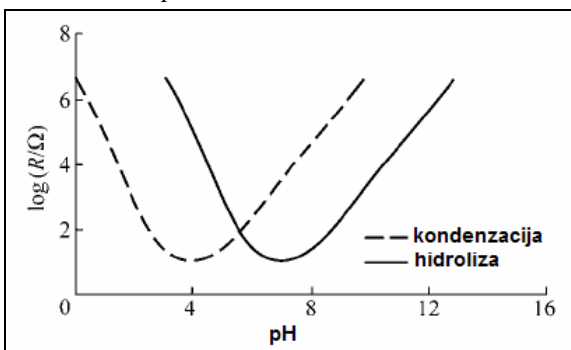
vršina mora biti prikladno očišćena da bi silani imali efektivno dejstvo. Prema njihovom zaključku, alkalno čišćenje je najbolji predtretman. Drugi istraživači došli su do saznanja da su kiseli ili neutralni "čistači" manje poželjni zbog nižeg sadržaja hidroksilnih grupa. Predtretman metalnih površina podrazumeva najpre odmašćivanje različitim rastvaračima kakvi su heksan, etilalkohol i aceton (3-5 min), a zatim pranje razblaženim alkalnim čistanjem na 60-70° C u trajanju od 3-5 min, nakon čega sledi ispiranje sa dejonizovanom vodom i sušenje. Oprana površina mora u potpunosti biti suva.

### 2.1. Hidroliza silana

Pre primene silana na površinu metala oni podležu hidrolizi kako bi se stvorilo dovoljno silanol  $SiOH$  grupa za interakciju sa površinom. Obično, silani se koriste u razblaženom rastvornom obliku, hidralizovani pri čemu se silanol grupe formiraju prema sledećoj reakciji (Sabata et al., 1995.):



Nakon hidrolize, hidralizovane silanol grupe u stanju su da podnesu reakciju kondenzacije, rezultujući sporu polimerizaciju i eventualno taloženje. Faktori koji utiču na kinetiku reakcije, ravnotežu hidrolize i kondenzaciju silana su priroda organofunkcionalnih grupa, koncentracija silana u vodenom rastvoru, pH rastvora, temperatura i starost rastvora. S obzirom da su hidroliza i kondenzacija kiselo ili bazno katalizovane, pH vrednost rastvora je glavni faktor stabilnosti silana u vodenom rastvoru. (Osterholtz at al, 1992.) Slika 3 ilustruje zavisnost reakcije hidrolize i kondenzacije od pH vrednosti za tipične silane.



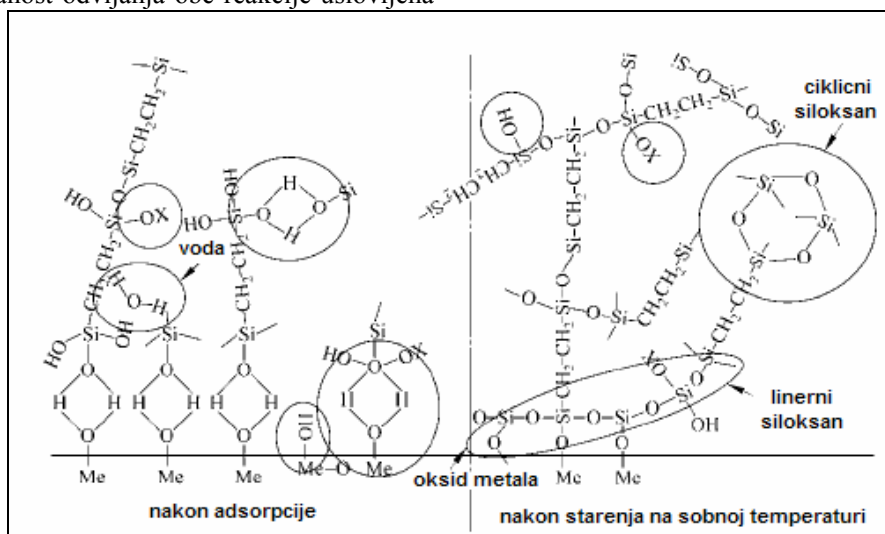
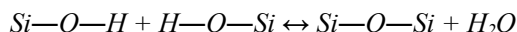
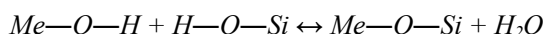
Slika 3 - Odnos reakcije hidrolize i kondenzacije tipičnih silana (Plueddemann, 1991.)

Sa slike 3 može se zaključiti da ispod vrednosti pH za kisele ili bazne uslove reakcije hidrolize i kondenzacije prilično su brze, dok sa približavanjem neutralnoj vrednosti pH one teku sporije. Kada su reakcije  $\text{OH}^-$  katalizovane preovladava reakcija kondenzacije. U suprotnom, kada su reakcije  $\text{H}^+$  katalizovane, preovladava reakcija hidrolize. Simultanost odvijanja obe reakcije uslovljena

je specifičnim faktorima. Na primer, prevencija od taloženja ili stvaranja gelovitih struktura izvesna je korišćenjem odgovarajućih rastvarača koji usporavaju reakciju kondenzacije. Uopšteno, multifunkcionalni silani kao što je bis-(trietoksisilil)etan imaju ograničenu stabilnost u vodi zbog odvijanja reakcija hidrolize i kondenzacije. Dakle, priprema rastvora multifunkcionalnih silana zahteva visok sadržaj organskih rastvarača.

## 2.2. Depozicija silana

Nakon hidrolize, silnaski agenti deponuju se na neorgansku površinu metala različitim mehanizmima. Oni obuhvataju deponovanje iz rastvora, pare, plazme i elektrodepozicioni mehanizam. Mnogi naučnici potenciraju prednost elektrodepozitnog mehanizma, koji za rezultat ima uniformnost filma i snažan međupovršinski uticaj između silana i metalne površine. Najširu primenu ima mehanizam depozicije iz rastvora kao najprostiji. Depozicija iz rastvora je brza, debljina filma praktično ostaje nepromenjena čak i ako vreme uranjanja metala u rastvor varira između 30 s i 30 min. Kada se metal potopi u 2-5% rastvor silana u trajanju od nekoliko sekundi, doći će do adsorpcije silanol grupa na površini metala kao što je prikazano na slici 4. Nakon sušenja, SiOH grupe i MeOH grupe dalje će se kondenzovati u metalo-siloksan ( $\text{MeOSi}$ ) a voda će ispariti u toku ovog procesa koji se može prikazati reakcijama (Osborne, 2001.):



Slika 4 - Adsorpcija parcijalno kondenzovanih silana na čistom metalu (Osborne, 2001.)

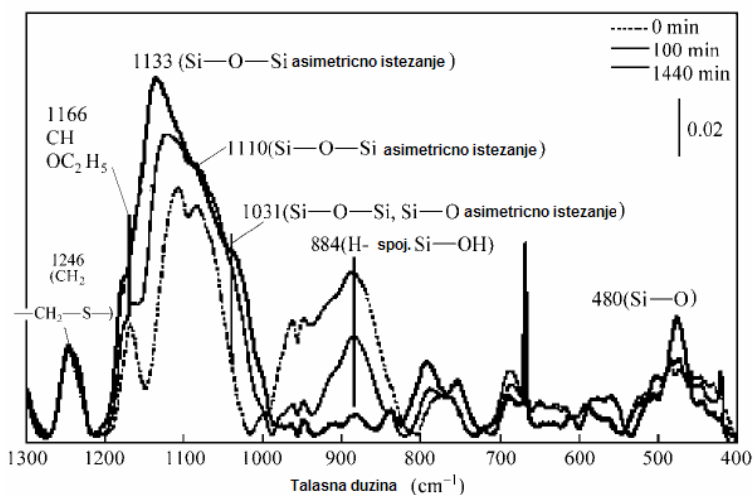
Studije pokazuju da se debljina silanskog filma na metalima povećava sa koncentracijom silanskog rastvora. Veza između debljine silanskog filma i koncentracije rastvora je praktično linearna. Bis-amino/VTAS mešavina silanskog filma koji odgovara 5% koncentraciji ima debljinu od 250 nm, dok 2% silanski rastvor odgovara debljini filma od 50 nm. (Osborne, 2001.) Dobro je poznato da silanski filmovi (prevlake) na metalima inhibiraju koroziju jer deluju kao hidrofobna barijera koja sprečava transport vode na metalu. Efekat inhibicije može biti povećan kontrolom temperature i vremena starenja silanskog filma. Starenje rezultira redukcijom debljine filma. (Osborne, 2001.)

### 3. KARAKTERIZACIJA I TESTIRANJE

#### 3.1. Spektroskopske tehnike

Dve najvažnije karakterizacione tehnike su Furije-transformisana infracrvena refleksiono-absor-

pcijska (FTIR-RA) spektroskopija i elektrohemijaska impedancijska spektroskopija (EIS). FTIR-RA tehnika dobro je poznata kao precizna metoda na polju karakterizacije polimernih površina. EIS je poznata kao dragocena tehnika kada se radi o koroziji. Ostale tehnike koje se bave ovom problematikom su XPS (Rentgenska fotoelektron-spektroskopija), elektron mikroskopska analiza (SEM) i masena spektroskopija. Od nedavno, nuklearna magnetna rezonanca (NMR) takođe ima primenu u karakterizaciji stepena hidrolize silanskih rastvora. FTIR-RA tehnika zauzima važno mesto među tehnikama za posmatranje hemijskih struktura i hemijskih reakcija u prevlakama/filmovima, s obzirom da pikovi karakterišu hemijske veze. Slika 5 ilustruje FTIR-RA spektar bis-sulfur silanskog filma deponovanog na AA 2024-T3. (Franquet et al., 2001.)

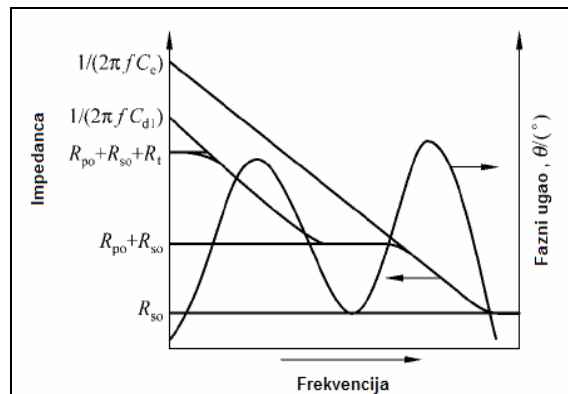


Slika 5 - FTIR-RA spektar bis-sulfur silanskog filma na AA 2024 (Franquet et al., 2001.)

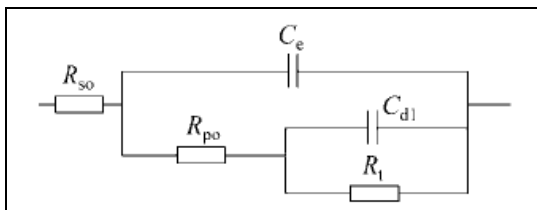
Elektrohemijska induktivna spektroskopija objašnjava se kao jedna od najprimenjenijih metoda za istraživanje degradacije polimerno obloženih metalnih sistema u korozivnom vodenom medijumu. U EIS merenjima zavisnost frekvencije od impedance  $Z(f)$  (u  $\Omega$ ) objašnjava se sinusoidalnim potencijal-signalom testiranih sistema. Izraz za  $Z(f)$  dat je kao (Osborne, 2001.):

$$Z(f) = V(t)/I(t)$$

gde je  $f$  frekvencija,  $t$  je vreme,  $V(t)$  je sinusoidalni signal i  $I(t)$  je vremenska zavisnost struje. Slika 6 ilustruje šematski EIS nacrt polimerno prevučenog metala i zavisnost frekvencije od impedance, dok slika 7 prikazuje ekvivalentno električno kolo (ECM) za podešavanje podataka.



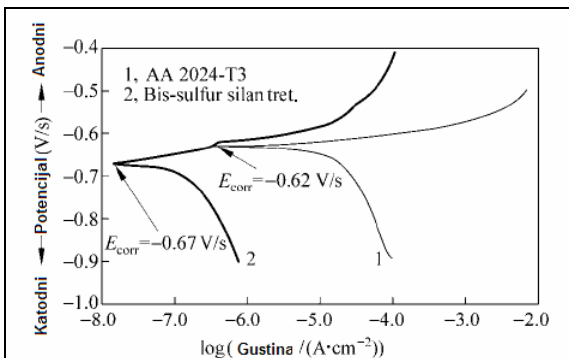
Slika 6 - Šematski nacrt EIS (zavisnost frekvencije od impedance) (Franquet et al., 2001.)



Slika 7 - Ekvivalentno električno kolo za podešavanje podataka (Franquet at al., 2001.)

### 3.2. Koroziono testiranje (Polarizaciona metoda)

Popularne polarizacione metode, kao što su Tafel ekstrapolacija i polarizacioni otpor u merenjima korozivnih nivoa imaju prednost u odnosu na konvencionalna merenja gubitka težine: Obično je potrebno samo par minuta za određivanje korozionog nivoa a metode imaju visok nivo osetljivosti. Slika 8 ilustruje primer DC polarizacione krive za AA 2024-T3 sa i bez tretmana bis-sulfur silanom. (Franquet at al., 2001.)



Slika 8 - Polarizaciona kriva AA 2024-T3 sa i bez tretmana bis-sulfur silanom merena u neutralnom 0,6 mol/l rastvoru NaCl (Franquet at al., 2001.)

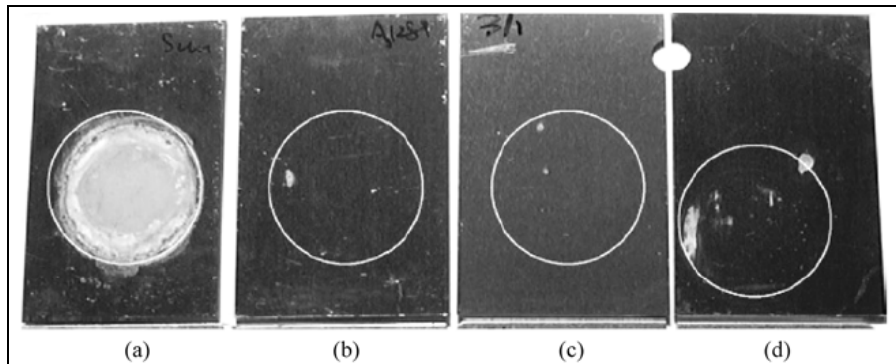
Potencijal elektrode korodirajućeg metala (Ekor-na slici E<sub>corr</sub>) predstavlja mešani potencijal lokalnih ćelija (lokalnih anoda i lokalnih katoda) i upućuje na polarizacijsko ponašanje anoda nezavisno od polarizacijskog ponašanja katoda, i ob-

rnuto, ali samo kvalitativno. Zbog ovoga, a i zbog činjenice da je direktno merenje polarizacije anoda i katoda praktično nemoguće, anodno i katodno ponašanje korodirajućeg metala proučava se na način da se metal učini katodnim ili anodnim u odnosu na pomoćnu elektrodu uz primenu spoljašnjeg izvora struje.

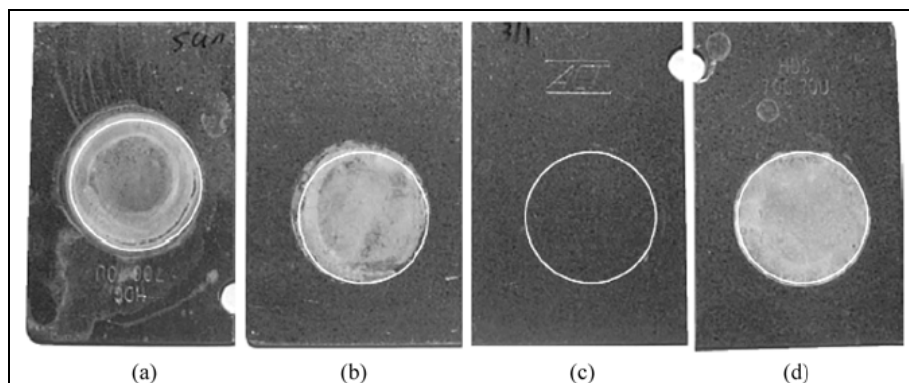
### 4. PRIMENA SILANSKIH FILMOVA NA POVRŠINU METALA

Atmosferska korozija predstavlja jedan od primera uniformne korozije metala. Barijerne prevlake, organske i neorganske, koriste se kao inhibitori te uniformne korozije metala. Silanske prevlake sa svojom hidrofobnom prirodom zahtevaju visok sadržaj organskih rastvaraca (etanol ili metanol) u pripremi silanskog rastvora. Rastvoreni silanski sistemi koji daju odličan korozioni otpor su mešavine bis- sulfur i bis-amino silana u odnosu 3:1. Ovi sistemi imaju sposobnost zaštite mnogih metala, na primer, aluminijuma, čelika i legura magnezijuma. Slike 9 i 10 ilustruju tretiran čelik i AA 2024-T3 silanima, nakon EIS merenja. Jasno je vidljivo da mešavine ova dva silana isključuju mogućnost pojave korozije na čeliku i AA 2024-T3 što znači da predstavljaju dobra zaštitna sredstva (slika 9 c i 10 c). (Ooij W. J., 2002.)

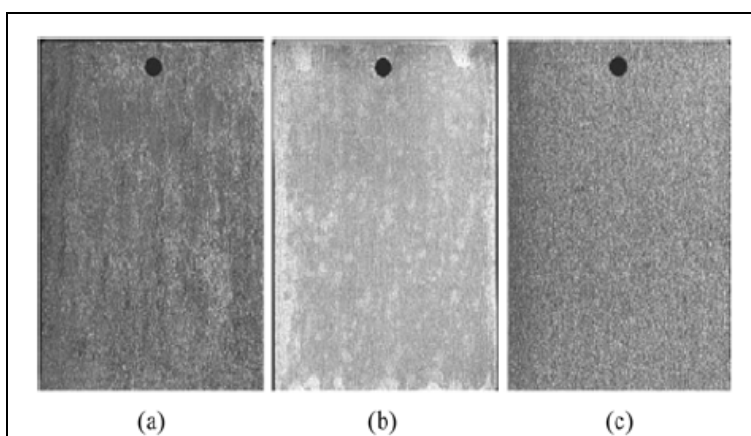
Bis-amino/VTAS smeša je stabilna i dobro hidrolizuje u vodenim smešama. Sa dodatkom male količine bis-aminosilana, VTAS rastvor postaje manje kiseo a kondenzacija SiOH se efektivno može savladati. Verovatni mehanizam je da sekundarna amino grupa u bis-silanu obrazuje stabilniju vezu sa silanol grupama o done prisutne između samih silana. Rezultat toga je prevencija od kondenzacije silana u rastvoru. Radi poređenja na slici 11 dat je rezultat testa AA 6061 T6 tretiranog nakon 336 sati bis-silanskom mešavinom (1,5/1,5 %, pH 3,7), netretiranog i hromatiranog metala. (Ooij W. J., 2002.)



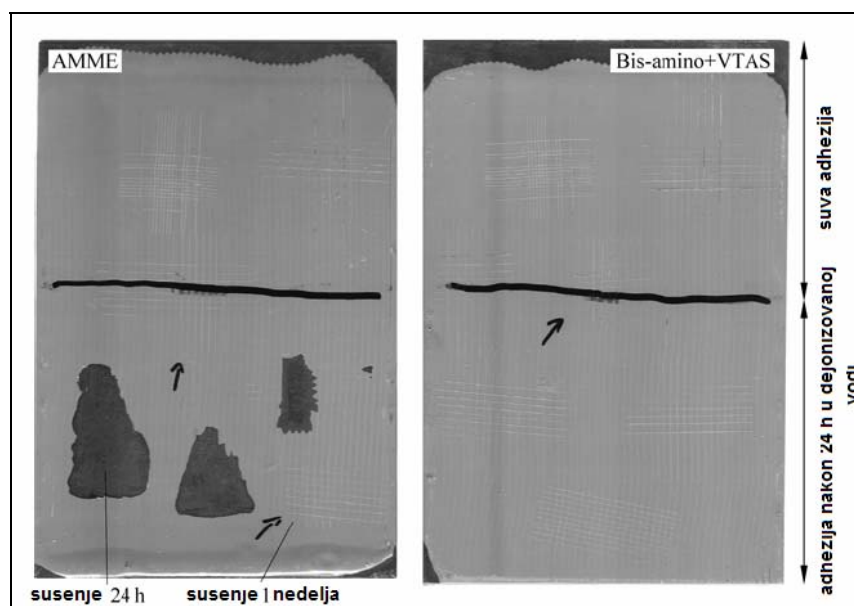
Slika 9 - AA 2024-T3 paneli nakon 32 dana od potapanja u 0,6 mol/l NaCl rastvor: a) netretirani panel; b) tretiranje bis-sulfur silanom; c) tretiranje mešavinom; d) tretiranje bis-amino silanom (Ooij W. J., 2002.)



Slika 10 - Čelični paneli nakon 8 dana od potapanja u 0,6 mol/l NaCl rastvor: a) netretirani panel; b) tretiranje bis-sulfur silanom; c) tretiranje mešavinom; d) tretiranje bis-amino silanom (Ooij W. J., 2002.)



Slika 11 - AA 6061-T6 paneli nakon 336 h: a) bez tretmana; b) hromatirani; d) tretman bis-silan/VTAS mešavinom (Ooij W. J., 2002.)



Slika 12 - Suva i mokra adhezija na čeliku premazanom epoksi bojom i tretiranog silanima različite hidrofobnosti (levo hidrofobniji silanski sistem) (Ooij W. J., 2002.)

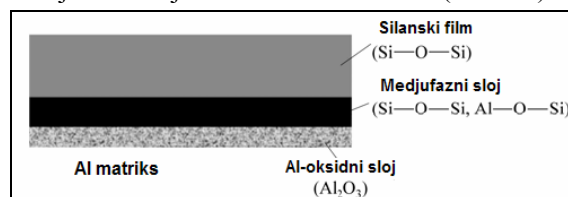
Kao i u slučaju Si-O-Si, hidroliza u vodi metal-silanske veze je reverzibilna kao što eksperimenti pokazuju na slici 12 (mokra i suva adhezija metala tretiranog silanima različite hidrofobnosti). Prikazana su dve čelične ploče premazane epoksi bojom. Ispod boje korišćena su dva različita silanska sistema. Silanski sistem na slici sa leve strane hidrofobniji je od drugog sa desne strane. Generalno, performanse silanskih filmova na metalima s aspekta korozivne zaštite i adhezije (mokra i suva), zavisi od hidrofobnosti i debljine filmova što direktno utiče na nivo prodiranja vode u silan-metalnu međupovršinu. (Ooij W. J., 2002.)

#### 4.1. Silanski film na aluminijumu i njegovim legurama

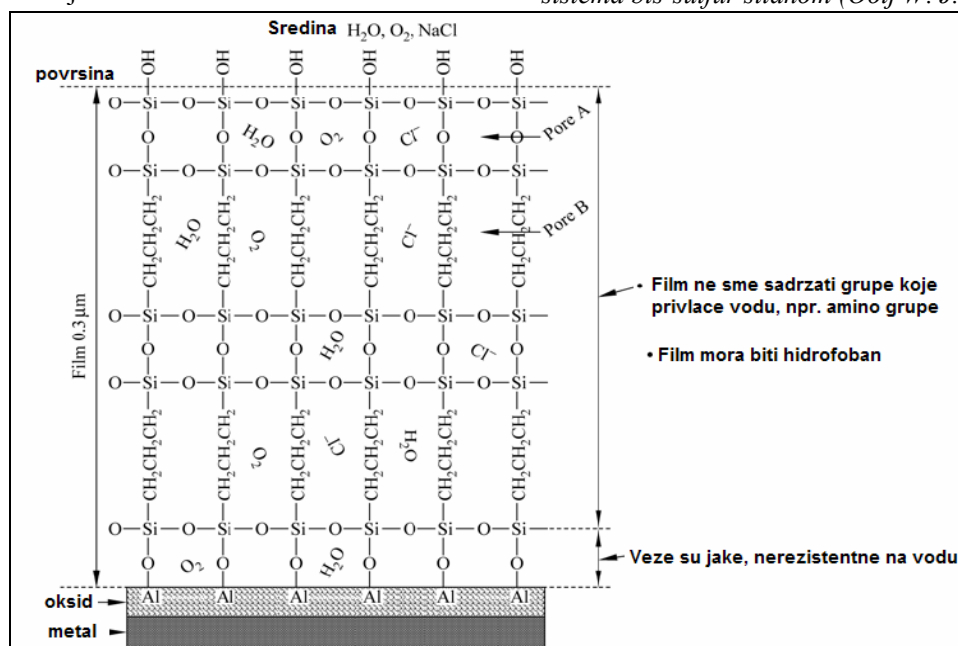
Mnogobrojna istraživanja pokazala su da silanske prevlake mogu dobro zaštititi aluminijumske legure. Slika 10 jasno pokazuje tri silanska sistema značajna u zaštiti AA 2024-T3 panela nakon 32 dana uranjanja u 0,6 mol/l rastvor NaCl. Ooij's grupa (Ooij W. J. at al., 2002.) ispitala je silanski tretman isključivo na AA2024-T3, koja je najpodesnija i široko primenjena legura aluminijuma u avio industriji zahvaljujući dobrim mehaničkim osobinama. AA2024-T3, međutim, nema dobar korozivni otpor kao i većina legura aluminijuma.

Bakar (Cu) je jedan od važnijih legirajućih elemenata u AA2024-T3 (3.8 %-4.9 %), koji doprinosi visokom stepenu osetljivosti ove legure na korozivne uslove. Uopšteno, na AA2024-T3 može se javiti tačkasta korozija (pitting), međuzrna, i naponska korozija. Mikrostruktura AA2024-T3 ka-

rakteriše se uniformnom raspodelom čestica kao što je to slučaj u (Al<sub>2</sub>CuMg) i [Al<sub>6</sub>(Cu<sub>2</sub>FeMn)]. Ooij je istraživao korozivne mehanizme netretiranog AA 2024-T3. Istraživanja su pokazala da je korozija ove legure praćena katodnim rastvaranjem. Takva korozija može biti inhibirana silanima. Filmovi bis-sulfur silana i smeše bisulfur/bisamino silana predstavljaju takozvane međuslojne naslage na legurama aluminijuma. Postojanje Al-O-Si veze na silan-film/aluminijum međusloju međutim ne garantuje direktnu zaštitu od korozije, iako je korozivna inhibicija metala povezana sa stvaranjem te veze, jer ona nije hidrolitički stabilna. U prisustvu veće količine vode dolazi do hidrolize i stvaranja AlOH i SiOH grupa koje narušavaju hidrofobnost metalne površine. Dakle, potiskivanje vode od strane silanskih filmova je važno s aspekta dobre adhezije između filma i metala. To se može ostvariti potpunom polimerizacijom silanskog filma i onemogućenjem vodenog upijanja pri čemu se sprečava pojava hidrolize a korozivna zaštita se pospešuje. Ooij (Ooij W. J., 2002.) je pokazao da se mehanizam deponovanja silanskog filma na aluminijumu odvija kroz tri različite zone (slika 13).



Slika 13 - Šematski prikaz tretiranog AA 2024-T3 sistema bis-sulfur silanom (Ooij W. J., 2002.)



Slika 14 - Šematski prikaz strukture bis-silanskog filma na aluminijumu (Ooij W. J., 2002.)

Praktično nema dokaza da su silani elektrohemijski aktivni u rastvoru ili u čvrstom stanju. Oni se ne mogu redukovati ili oksidovati ukoliko ne sadrže funkcionalne grupe koje imaju elektrohemijsku aktivnost. Većina funkcionalnih grupa nisu elektrohemijski aktivne, tako da se može pretpostaviti da su silanski filmovi dobre barijerne prevlake. Oni redukuju mogućnost dospevanja vode i elektrolita koji uzrokuju korozivnu reakciju na površini metala.

Slika 14 ilustruje film bis-silana bez funkcionalnih grupa deponovanog na aluminijumu. (Ooij W. J., 2002.)

## 5. ZAKLJUČAK

Ovaj rad daje uvid u metodu predtretmana metala filmovima organofunkcionalnih silana u cilju njihove zaštite od korozije. Silanska tehnologija široko je rasprostranjena pogotovu kada se radi sa silanskim mešavinama koje imaju odlične hidrofobne performanse. Bis-silani imaju prednost u efektivnosti zaštite od korozije od bilo kog drugog mono-silana. Prednost se ogleda u samom mehanizmu zaštite. Ipak, kakva god da je veza između silanskog filma i metala često takva veza pokazuje nerizistentnost prema vodi. S obzirom da su silanol grupe jako hidrofilne, više vode može uzrokovati koroziju. Iz tog razloga, zarad dobrih korozionih performansi silanski filmovi moraju biti hidrofobni.

Na taj način bi se uticaj vode na metal minimizirao. Rešenje dileme zvane hidrofobni silanski filmovi jeste rastvorljivost u organskim rastvaračima. Hidrofobniji silani mogu se dobiti ako se regulišu određeni parametri kakvi su temperatura i vreme stabilnosti ili obogaćenje nanočesticama čak. Silanski rastvori nisu agresivni po svojoj prirodi. U ovom radu je ilustrovano nekoliko različitih formi korozije i uloga silanskih filmova u zaštiti od njih. Mora se reći da silanske tehnologije poseduju i određena ograničenja i nedostatke. Pre svega, njihova primena bez prethodne zaštite bojenjem npr. je ograničena. Silanski filmovi nisu in-

hibitori. Oni imaju barijernu aktivnost. Filmovi tipičnih silana debljine 0,5  $\mu\text{m}$  imaju ograničeno barijerno dejstvo. Drugo, čišćenje metalne površine igra veću ulogu u silanskim tehnologijama nego što je to slučaj kod hromatnih tehnika. Dakle, silanski filmovi zahtevaju veći stepen čistoće metalne površine. Druga ograničenja odnose se na stabilnost jer pojedini silanski filmovi imaju tendenciju kondenzacije. Zato, sva istraživanja vode u smeru dobijanja silanskih mešavina koje su stabilne. Na primer, u ovom radu dat je akcenat na mešavi bis-amino silana i viniltriacetoksi silana. Individualno, ovi silanski sistemi nisu stabilni, ali njihovom mešavinom vreme stabilnosti se povećava na godinu dana. Zaključak je da će još mnogo rada u istraživanjima biti posvećeno silanskim molekulima zarad njihove efikasnosti u zaštiti metala. Uz pomoc različitih aditiva, verovatno je da će oni postati efektivna i stabilna sredstva u antikorozijskim procesima.

## 6. LITERATURA

- [1] Burgler R., 2005., Zaštita metala od korozije, doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, str. 144.
- [2] Ooij W. J., 2002., The potential of organofunctional silanes as chromate replacements on aluminum alloys. In: the SIP seminar on Chromate Replacements, Oslo.
- [3] Osterholtz F. D., Pohl D R. In: Mittal K L, ed. 1992., Silanes and Other Coupling Agents. VSP, Utrecht, 119.
- [4] Osborne J. H., Joshua Du Y., Damron M., 2001., Prog. in Organic Coat., 41: 226-232.
- [5] Plueddemann E. P., 1991., Silane Coupling Agents. New York: Plenum Press.
- [6] Sabata A, Knueppel B A, van Ooij W J. J., 1995., Test Eval., 23(2): 120.
- [7] Franquet A., De Laet J., Schram T., Terry H., Subramanian V., van Ooij W. J., Vereecken J., 2001., Thin Solid Films, 348: 37-45.
- [8] [www.scielo.br](http://www.scielo.br)
- [9] [www.lukeeng.com](http://www.lukeeng.com).

## ABSTRACT

### SILANES AS COATINGS FOR METAL PROTECTION

*In the paper, main characterization and application of silane films for surface metal protection are described. Technics of deposition of the silane films and its characterization are showed, too.*