

UNIVERZITET U KRAGUJEVCU
MAŠINSKI FAKULTET U KRAGUJEVCU



SMER: MAŠINSKE KONSTRUKCIJE I MEHANIZACIJA
PREDMET: ZAVARENE I LIVENE KONSTRUKCIJE



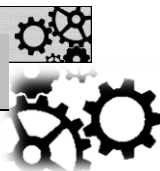
DIPLOMSKI RAD

TEMA: KOROZIJA METALNIH MATERIJALA U KONSTRUKCIJAMA

MENTOR:
PROF. DR RUŽICA NIKOLIĆ

KANDIDAT:
VLADAN VUKOVIĆ

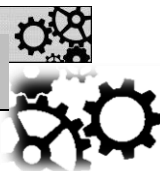
KRAGUJEVAC 2011. GODINE



SADRŽAJ:

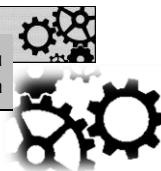
1. UVOD.....	1
2. TIPOVI KOROZIJE.....	2
2.1 Hemijska korozija.....	2
2.2 Elektrohemijska korozija.....	4
3. MEHANIZMI KOROZIJE.....	17
3.1 Elektrohemijska korozija.....	17
3.2 Hemijska korozija.....	20
3.3 Naponska korozija.....	24
3.4 Zamorna korozija.....	28
3.5 Bakterijska korozija.....	29
3.6 Korozija ispod stranih materija.....	31
3.7 Korozija u zazorima.....	31
3.8 Atmosferska korozija.....	33
3.9 Podzemna korozija metala.....	38
3.10 Podzemna korozija pod dejstvom lutajuće struje.....	39
3.11 Korozija u morskoj vodi.....	40
3.12 Piting korozija.....	44
3.13 Freting korozija.....	48
3.14 Erozivna korozija.....	49
3.15 Kavitaciona korozija.....	54
3.16 Interkristalna korozija.....	57
3.17 Selektivna korozija.....	58
3.18 Galvanska korozija.....	60
3.19 Tačkasta korozija.....	62
3.20 Korozija u svemiru.....	63
4. ZAŠTITA OD KOROZIJE.....	64
4.1 Kontrola korozije i postupci zaštite materijala od korozije.....	64
4.2 Inhibitori.....	65
4.2.1 Mehanizmi zaštitnog dejstva inhibitora.....	66





4.2.2	Anodni inhibitori.....	67
4.2.3	Katodni inhibitori.....	69
4.2.4	Organski inhibitori.....	69
4.2.5	Inhibitori atmosferske korozije.....	69
4.3	Neorganske zaštitne prevlake.....	70
4.3.1	Oksidne prevlake.....	71
4.3.2	Oksidne prevlake na čeliku.....	72
4.3.3	Hromatne prevlake.....	73
4.3.4	Emajli i obloge.....	73
4.4	Organski premazi kao zaštita od korozije.....	74
4.5	Elektrohemijska zaštita.....	75
4.5.1	Anodna zaštita.....	76
4.5.2	Katodna zaštita.....	76
4.5.3	Protektorna zaštita.....	78
4.6	Metali za prevlake.....	79
4.7	Konstrukcijske metode.....	83
4.8	Izbor materijala.....	84
4.9	Zaštita od galvanske (elektrohemijske korozije).....	84
4.10	Promena sredine.....	86
4.11	Kontrola korozije u vojnoj industriji i savremene informacione tehnologije u zaštiti od korozije.....	87
5.	ZAKLJUČAK.....	89
6.	LITERATURA.....	90





1. UVOD

Korozija je proces dezintegracije metalnih i drugih konstrukcija u atome odnosno hemijska jedinjenja zbog hemijske reakcije materijala konstrukcije sa okolinom. Pitanjima korozije prvi se naučno bavio ruski naučnik Mihail Vasiljevič Lomonosov, 1756. godine. Međutim, u to vreme se malo šta moglo preduzeti na zaštiti od korozije, zbog niskog nivoa tehnološke razvijenosti tadašnje industrije.

Rečeno drugim rečima, korozija je elektro-hemijska oksidacija metala u reakciji sa oksidantima, najčešće kiseonikom. Najčešća i najpoznatija je korozija gvožđa i čelika, koja proizvodi rđu, oksid gvožđa karakteristične crvenkaste boje. Ova vrsta oštećenja metalnih konstrukcija najčešće ima za rezultat stvaranje naslaga oksida i/ili soli metala na površini.

Korozija napada i druge materijale, ne samo metale. Tako postoji korozija keramičkih materijala, polimera, betona, plastike i stakla. Razgradnja ovih materijala usled korozije je mnogo sporija od razgradnje metala, zbog manje podložnosti tih materijala oksidaciji.

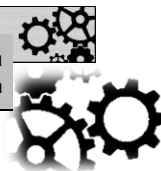
Mnoge legure metala korodiraju samo kada su izložene vlazi iz vazduha, ali taj proces može da bude znatno ubrzan ako su prisutne određene hemijske materije, na primer kiseline i baze. Koroziona oštećenja konstrukcija mogu da budu lokalnog karaktera, u kom slučaju se stvaraju lokalne pukotine i degradirana mesta na konstrukciji, ili mogu da budu zahvaćene cele izložene površine konstrukcija.

Korozija metala, posebno gvožđa i njegovih legura, zahteva troškove. Troškovi zaštite od korozije i uklanjanje posledica su neophodni - ako se ne preduzmu, cela konstrukcija/postrojenje u vrlo kratkom periodu dolazi u situaciju da postaje neupotrebljiva za svoju namenu.

Studija pod nazivom "Troškovi zbog korozije i strategije preventive" koja je urađena u SAD 2002. godine, ukazala je da su procenjeni troškovi zbog korozije samo u SAD tokom 1998. godine bili oko **276 milijardi dolara!** Ova suma predstavlja 3,1 % od godišnjeg bruto nacionalnog proizvoda SAD za tu godinu. Druga studija (autor: Jones) tvrdi da godišnji troškovi samo zbog elektro-hemijske korozije u SAD iznose između 8 i 128 milijardi dolara, [1].

Prema procenama svetskih autora u ovoj oblasti, korozija gvožđa i njegovih legura u celom svetu, za godinu dana, uništi 2% ukupne godišnje proizvodnje gvožđa i čelika. Iz ovih nekoliko brojki, lako je uočiti koliko je značajno ovu pojavu poznavati do detalja, i koliko je značajno stalno razvijati nove, sve efikasnije mere i metode zaštite od korozije.





2. TIPOVI KOROZIJE

Korozija je u suštini hemijska ili elektro-hemijska reakcija u kojoj atomi metala reaguju sa kiseonikom (ili kiselinom/bazom) stvarajući metalni oksid ili so konkretnog metala. Sve podele korozije na vrste izvedene su prema efektima korozije na metalne strukture i na njihov uticaj na pouzdanost konstrukcije, dok suštinskih razlika u hemijskom smislu nema.

Prema mehanizmu odvijanja, korozioni procesi se dele na hemijske i elektro-hemijske. Prema uslovima u kojima teku procesi korozije se dele na procese u vodi, u gasovima, u vazduhu, u tlu. Brzina kojom se korozija odvija je funkcija više faktora, kao što su sastav metala, stepen izloženosti vlazi i temperaturi, prisustvo pora, naponi i tipovi površinskih naslaga. Dejstvo korozije može biti ili spoljašnje ili unutrašnje.

Postoje spoljni i unutrašnji faktori korozije. Spoljni faktori su prisustvo kiseonika, vode, broj anjona, temperatura, kretanje materijala, a unutrašnji karakteristike samog metala od kojeg je konstrukcija izgrađena.

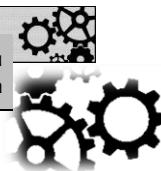
2.1 Hemijska korozija

Hemijska korozija se javlja na visokim temperaturama na kojima ne može doći do kondenzacije vodene pare iz gasne sredine sa kojom je metal u dodiru. Izazivaju je gasovi: hlor, hlorovodonik, gasovita jedinjenja sumpora, oksidi azota, oksida ugljenika i drugi.

Veliki broj aparata, mašina, uređaja i materijala u toku tehnološkog procesa je izložen dejstvu gasova na visokim temperaturama. pa je pojava gasne korozije česta. Mnogi tehnološki procesi obrade metala (zagrevanje pri valjanju i kovanju, termička obrada) izvode se na visokim temperaturama do 1200°C. Motori sa unutrašnjim sagorevanjem kod automobila i aviona rade u oksidacionoj atmosferi pri temperaturi od 500 - 900 ° C. U svim ovim slučajevima mogu kao produkt korozije nastati oksidi, hloridi i druga hemijska jedinjenja zavisno od gasne atmosfere u kojoj se zbiva korozija.

Korozija metala i legura u neelektrolitima, rastvorima neorganskih materija u organskim rastvaračima i tečnostima organskog porekla predstavlja drugi oblik hemijske korozije. Razaranje raznih metala u nafti zavisi od sadržaja i karaktera jedinjenja sumpora koja su rastvorena u nafti: merkaptani prouzrokuju





koroziju većine obojenih metala i legura gradeći merkaptide. Sumpor-vodonik rastvoren u nafti deluje na gvožđe i obojene metale (olovo, antimon, bakar, srebro) obrazujući sulfide: elementarni sumpor iz nafte deluje agresivno na bakar, živu i srebro. Fenoli, koji u sebi sadrže jedinjenja sumpora, takođe razorno deluju na metale.

Hemijska korozija metala obično se poznaje po promeni spoljašnjeg izgleda metala i po obrazovanju opne na površini metala za vreme korozije. Pod dejstvom suvih para joda površina srebra se za kratko vreme izmeni. Opna koja nastaje na površini srebra je u početku zelenkaste boje, a na kraju je crvenkasto mrke boje. Opna koja se obrazuje na površini srebra je po hemijskom sastavu srebrojodid, a promena boje nastaje zbog promene debljine opne. Pri zagrevanju u prisustvu vazduha ili kiseonika gvožđe i bakar se prevlače oksidnom opnom.

Kao pokazatelj gasne korozije služi i konstanta ravnoteže koja je okarakterisana odnosom parcijalnih pritisaka gasova u ravnoteži. Gvožđe se na visokoj temperaturi oksiduje pomoću CO_2 iz gasne smeše prema jednačini:

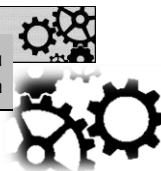


tj. proces oksidacije gvožđa na određenoj temperaturi teče sve dotle dok se uspostavi ravnoteža između CO_2 , koji oksiduje i CO produkta redukcije CO_2 gvoždem. Ova konstanta je određena parcijalnim pritiscima P_{CO_2} i P_{CO} u ravnotežnom stanju i na 900°C iznosi :

$$K_{(\text{oks})} = \frac{P_{\text{CO}}}{P_{\text{CO}_2}} = 2,2. \quad (2.2)$$

Ako je odnos radnih pritisaka $P_{\text{CO}} / P_{\text{CO}_2} = 3,0$ gvožđe neće oksidirati. Korozija se može sprečiti pogodnim izborom sastava gasne smeše u kojoj se metal obrađuje.





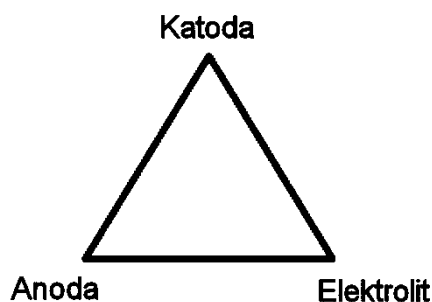
2.2 Elektrohemijska korozija

Elektrohemijska korozija nastaje stvaranjem galvanskih elemenata između dva različito provodljiva metala, koji se nalaze u elektrolitu (slika 1).

Prema shvatanju Augusta De La Riva (Auguste Arthur De La Rive) (1830. godine) rastvaranje metala i legura u rastvorima elektrolita nastaje usled delovanja lokalnih galvanskih elemenata. Karakter krive korozija - vreme pri rastvaranju cinka u sumpornoj kiselini (slika 2) pokazuje da se brzina korozije posle izvesnog vremena jako povećava što nije slučaj pri hemijskoj koroziji metala. Rastvaranje cinka u sumpornoj kiselini teče uz razvijanje vodonika prema jednačini :

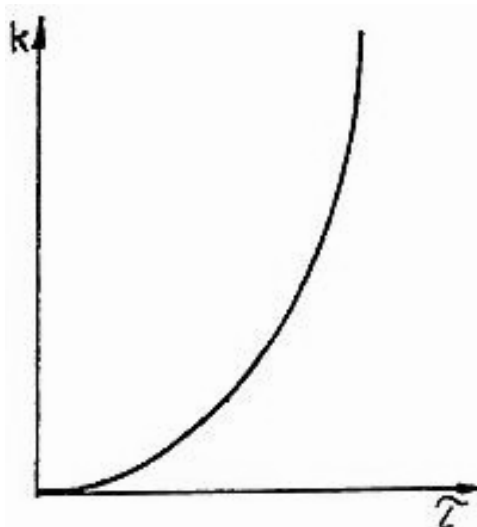
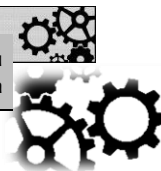


Brzina rastvaranja cinka u sumpornoj kiselini zavisi od sadržaja primesa u cinku. Cink sa većim sadržajem gvožđa, kalaja, olova, kalaja i bakra se lakše rastvara od cinka sa manjim sadržajem istih primesa. Čist cink se vrlo slabo i dugo rastvara čak i u kiselinama velike koncentracije. August de la Riv je primetio da se na cinku koji je uronjen u rastvor sumporne kiseline izdvajaju mehurići vodonika i da se cink rastvara kao u galvanskom elementu (-) Zn | H₂SO₄ | H₂ (+). De la Riv je pretpostavio da primeše u cinku (Sn, Pb, Cu, Fe) čine na površini pozitivne elektrode (katode), a da sam cink predstavlja negativnu elektrodu (anodu) galvanskog sprega . Pri radu ovakvih galvanskih spregova cink se rastvara, a na mikrokatodama razvija vodonik (slika 3), [2].

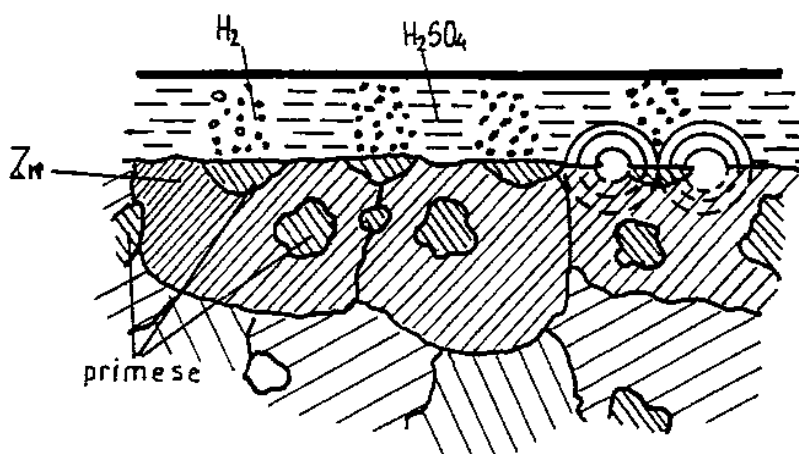


Slika 1: Tri neophodna elementa za nastanak elektrohemijske korozije [3]





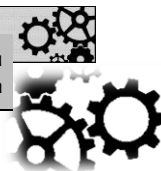
Slika 2: Rastvaranje Zn u H_2SO_4 [4]
k - koeficijent brzine korozije, τ - vreme rastvaranja cinka



Slika 3: Difuzija vodonika kroz opnu

Pojedine primese u cinku koji se rastvara bivaju pojedene i na kraju se sasvim odvajaju od osnovne mase metala. Odvojene i nerastvorene čestice ovih primesa padaju na dno suda ili na metal u zavisnosti od položaja uzorka u sudu. Ove čestice primesa ponovo obrazuju mikrokatode na površini cinka rastvorene kiseline. U tom slučaju u rastvoru se pored jona cinka mogu naći i joni plemenitih metala, Cu, Cd, Fe i drugih metala.

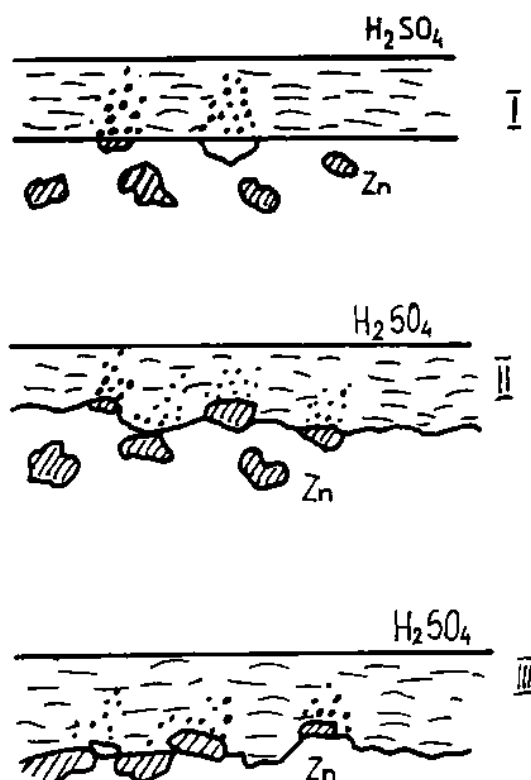




U prisustvu još nerastvorenog cinka, bakar i kadmijum se kao plemenitiji izdvajaju (cementiraju), a feri joni redukuju do fero jona na površini cinka. Redukcijom jona, odnosno sekundarnim taloženjem plemenitijih metala na površini cinka se obrazuju nove mikrokatode. Sa povećanjem broja mikrokatoda raste brzina rastvaranja cinka (slika 4).

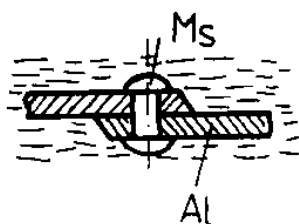
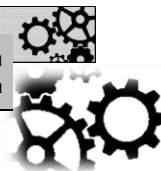
Korozija metala nastaje i pri radu makrogalvanskih spregova. Limovi od aluminijuma spojeni mesinganim ili bakarnim zakivcima pri eksploataciji u morskoj vodi kao elektrolitu brzo korodiraju (slika 5).

Zakivci bakra, odnosno mesinga deluju kao katode, a aluminijumov lim kao anoda. U ovom slučaju aluminijum se rastvara, a na bakru (mesingu) se izdvaja vodonik.



Slika 4: Faze rastvaranja cinka u sumpornoj kiselini

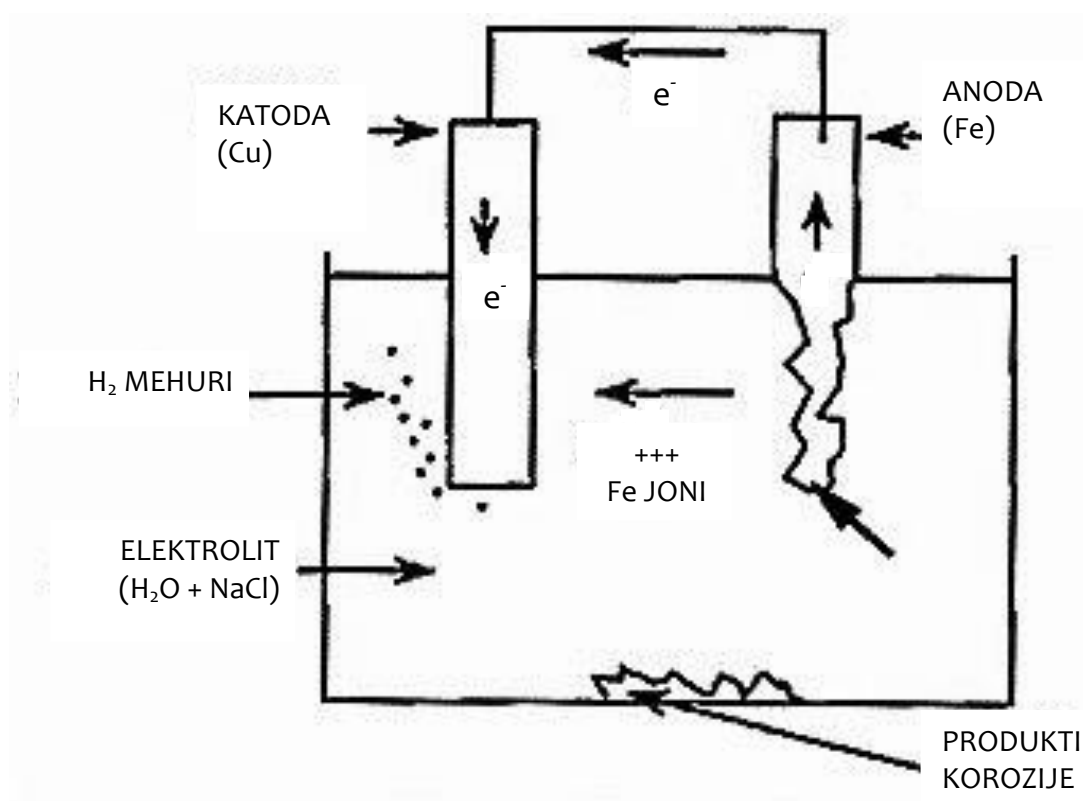




Slika 5: Spoj dve ploče zakivcima

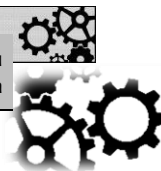
Rastvaranje drugih metala u kiselinama objašnjava se hipotezama August de la Rivea o nastajanju galvanskih elemenata, [2].

Galvanski element (par) se obrazuje između anode i katode u elektroprovodnoj sredini (elektrolitu). Pri tome nastaju dve glavne reakcije, jedna na anodi, druga na katodi (slika 6).



Slika 6: Galvanski par

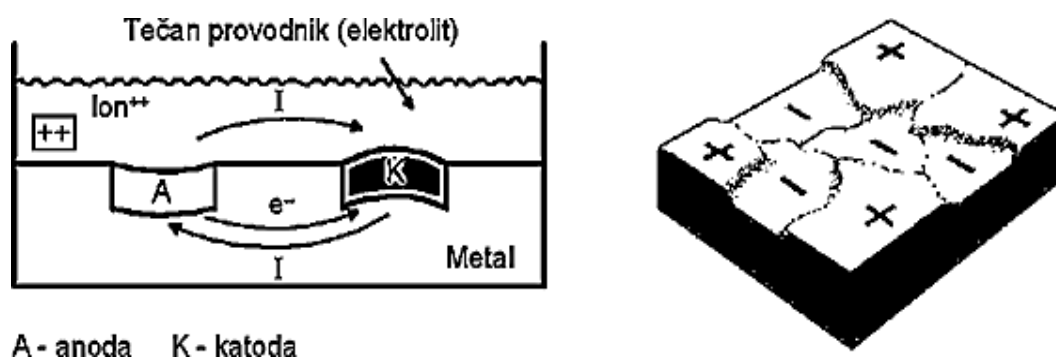




Ako su u kontaktu dva različita metala, stvorena je galvanska ćelija (slika 7). Da bi se stvorila galvanska ćelija moraju postojati anoda i katoda, kao i tok jednosmjerne struje. Korozija nastaje na anodi ili u njenoj blizini. Anoda je mesto sa koga struja napušta materijal prouzrokujući time da se metal razgrađuje. Razgrađivanje se koristi u suprotnom smislu od oblaganja.

Anode i katode se mogu obrazovati na površini metala usled lokalnih razlika u sastavu legure. U prisustvu elektrolita nastaje galvanska sprega anoda - katoda. Ta sprega može se pojaviti zbog nečistoća, unutrašnjih napona, površinskih zarezova, rupa, greški na granicama zrna. Usled korozije na anodi se stvara ulegnuće, a na katodi zadebljanje.

Elektroni i tok struje imaju suprotne smerove. Ako struja teče u smeru kazaljke na satu, elektroni se kreću u suprotnom smeru, što je prikazano na slici 7.



Slika 7: Galvanska ćelija

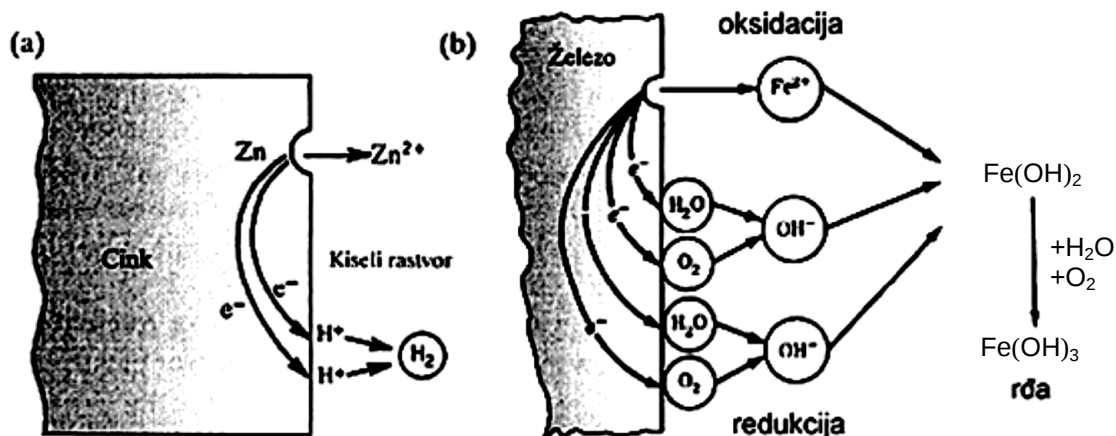
Na površini metala se odvijaju dve posebne, lokalno odvojene reakcije prikazane na slici 8:

Anodna - dovodi do oksidacije metala (disipacije elektrona):



Katodna - dovodi do redukcije (primanja elektrona) i time poremećaja ravnoteže uspostavljene na anodi:





Slika 8: Šematski prikaz elektrohemijskih reakcija, oksidacije i redukcije, koje dovode do korozije: (a) cink u rastvoru kiseline, (b) gvožđe potopljeno u vodu zasićenu kiseonikom

Anodna reakcija: Delovi metala sa nižim potencijalom daju sa svoje površine u elektrolit pozitivno naelektrisane jone metala otpuštajući elektrone, što se naziva oksidacijom.

Primeri:

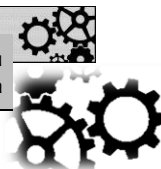


Mesto na kome se dešava oksidacija naziva se anoda, a proces oksidacije se naziva anodna reakcija.

Katodna reakcija: Pri prelazu metala u jone oslobađaju se elektroni, koji odlaze na delove sa većim potencijalom - katodu i stupaju u drugu hemijsku reakciju koja se naziva redukcijom.

Primer:

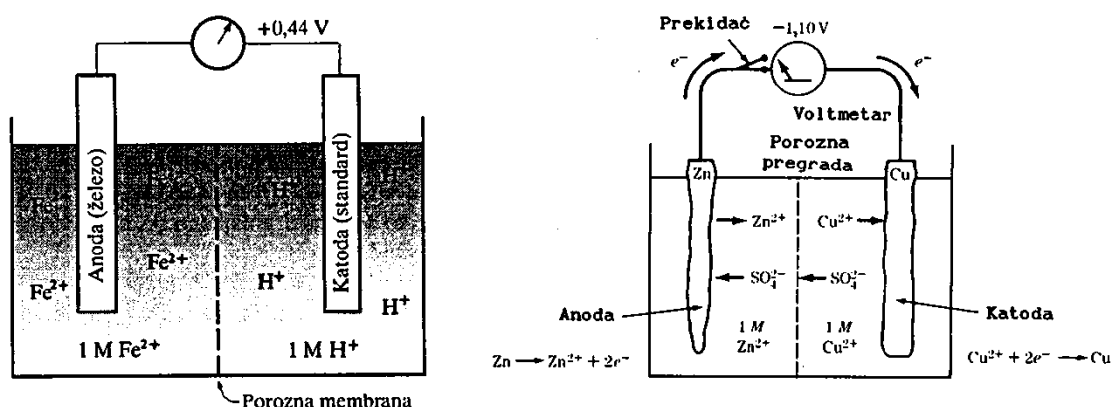




Anodne reakcije su uvek oksidacione i one dovode do toga da se metal u obliku jona, oksida ili hidroksida rastvara u elektrolitu. Kaže se da anoda korodira ili oksidiše što se manifestuje gubitkom metala, dok se na katodi odvijaju redukcionne reakcije koje manje utiču na metal katode, jer je u većini slučajeva on već dovoljno redukovan.

Za određivanje sklonosti metala da daje svoje elektrone meri se potencijalna razlika između metala i referentne elektrode (vodonične elektrode). Merenjem napona između dve elektrode određujemo razliku potencijala, što je prikazano na slici 9. Ako metal ima veću sklonost da otpušta elektrone nego vodonik onda je potencijal metala negativan.

Elektrodni potencijal je karakteristika svakog metala i izražava se prema referentnoj elektrodi. Da li je metal anoda ili katoda zavisi od njegove sposobnosti za jonizaciju. U zavisnosti da li je metal katoda ili anoda i masa metala ce se smanjivati odnosno povećavati (slika 10). Elektrodni potencijal nekih elemenata prikazan je u tabeli 1.

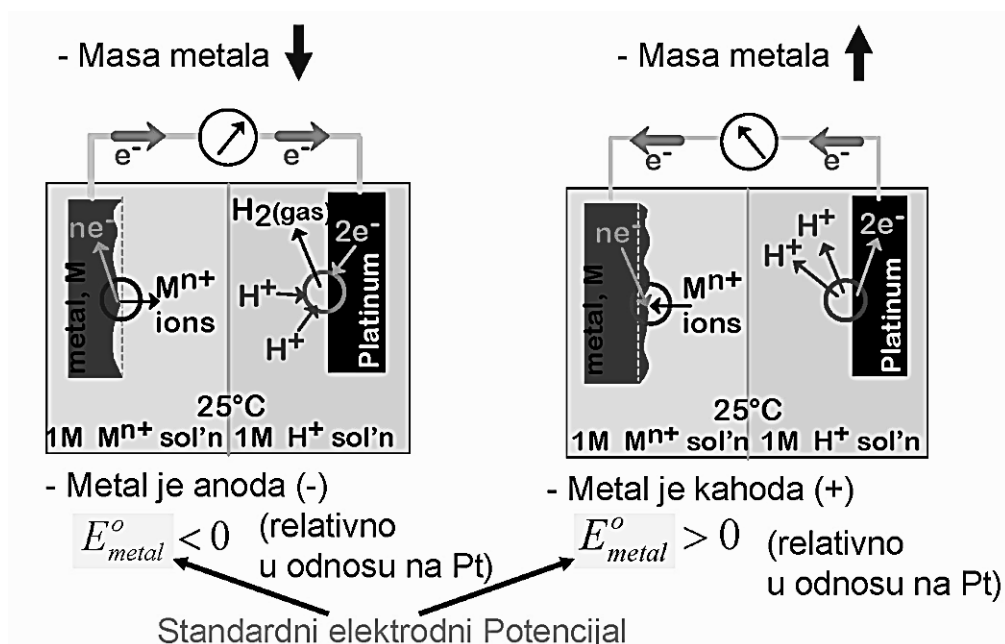
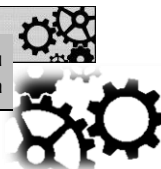


Slika 9: Određivanje razlike potencijala između dve elektrode

Korozioni procesi zavise ne samo od vrste metala već i od sredine u kojoj se taj metal nalazi. Uticaj korozionog medijuma (kisel, neutralni, alkalni vodeni rastvor), prikazuje se Purbeksovim (Pourbaix) dijagramom E-pH (slika 11), [5]. Tu se razlikuju tri oblasti:

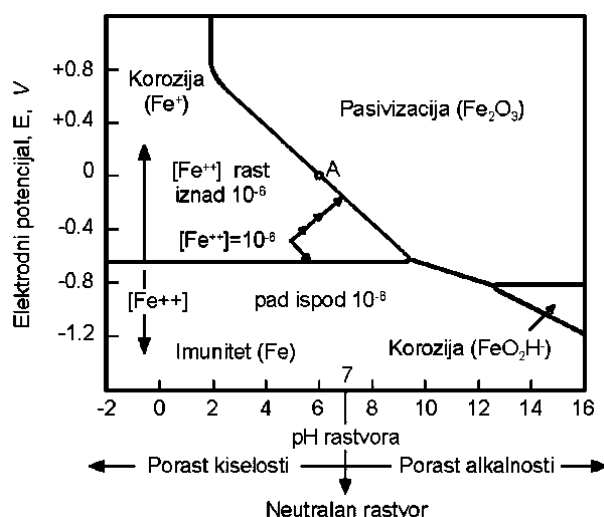
- koroziona,
- imuna na koroziju i
- pasivizirana oblast.





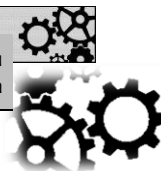
Slika 10: Korozija i oblaganje kao suprotni procesi

Dijagram pokazuje da korozija gvoždja uglavnom nastaje u kiselim sredinama. Ako se prirodni elektrodni potencijal pogodno modifikuje pomoću spoljašnjeg električnog izvora, moguće je prevesti gvozdeni uzorak u oblast označenu kao "imunitet". Promena od korozionih uslova do imuniteta nije tako oštra, ali je usvojeno da ona nastaje pri $E = -0,62$ V.



Slika 11: Purbeksov dijagram

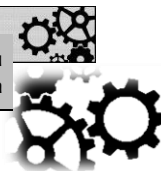




	Oksidaciona (korozijska reakcija)	Elektrodni potencijal E° (volti u odnosu na standardnu vodonikovu elektrodu)
Više katodni (manja težnja prema koroziji)	$Au \rightarrow Au^{3+} + 3e^{-}$ $2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^{+} + 4e^{-}$ $Pt \rightarrow Pt^{2+} + 2e^{-}$ $Ag \rightarrow Ag^{+} + e^{-}$ $2Hg \rightarrow Hg_2^{2+} + 2e^{-}$ $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+} + e^{-}$ $4(OH)^{-} \rightarrow O_2 + 2H_2O + 4e^{-}$ $Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e^{-}$ $Sn^{2+} \rightarrow Sn^{4+} + 2e^{-}$	+1,498 +1,229 +1,200 +0,799 +0,788 +0,771 +0,401 +0,337 +0,150
Referentni	$H_2 \rightarrow 2H^{+} + 2e^{-}$	+0,000
Više anodni (viša težnja prema koroziji)	$Pb \rightarrow Pb^{2+} + 2e^{-}$ $Sn \rightarrow Sn^{2+} + 2e^{-}$ $Ni \rightarrow Ni^{2+} + 2e^{-}$ $Co \rightarrow Co^{2+} + 2e^{-}$ $Cd \rightarrow Cd^{2+} + 2e^{-}$ $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^{-}$ $Cr \rightarrow Cr^{3+} + 3e^{-}$ $Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^{-}$ $Al \rightarrow Al^{3+} + 3e^{-}$ $Mg \rightarrow Mg^{2+} + 2e^{-}$ $Na \rightarrow Na^{+} + e^{-}$	-0,126 -0,136 -0,250 -0,277 -0,403 -0,440 -0,744 -0,763 -1,662 -2,363 -2,714

Tabela 1: Elektrodni potencijal za neke elemente

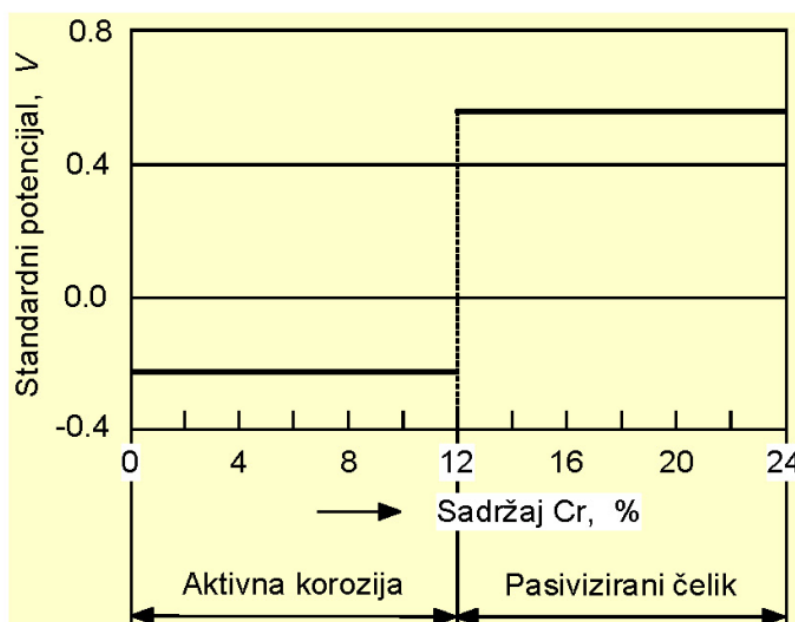




Metali sa negativnijim standardnim potencijalom bi trebalo da korodiraju intenzivnije nego metali sa manje negativnim, odnosno pozitivnim standardnim potencijalom. Međutim, uočeno je da ta pretpostavka ponekad ne odgovara onome što se događa u stvarnosti.

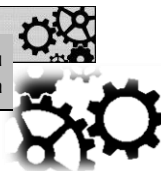
Naglo smanjenje brzine korozije mnogih aktivnih metala i njihovih legura u jačim oksidujućim sredstvima naziva se pasivizacija, a stanje metala pasivnim. Ovo pasivno ponašanje rezultat je formiranja tankog (nekoliko slojeva atoma) i jako prionljivog oksidnog sloja koji služi kao barijera od dalje korozije. Ovaj fenomen ispoljen je kod hroma, nikla, gvožđa, titana, aluminijuma i njihovih legura. Aluminijum na svojoj površini stvara tanak, homogen, jako prionljiv tvrdi oksidni sloj Al_2O_3 , koji štiti površinu od daljeg korozionog delovanja okolne sredine. Titan stvara sloj TiO_2 . Sličan fenomen pojavljuje se i kod nerđajućih čelika. Veći procenat hroma (>12%) rastvoren u rešetki gvožđa formira zaštitni sloj na površini. U slučaju oštećenja zaštitnog sloja na oštećenom mestu veoma brzo (nekoliko časova) formira se novi.

Pri sadržaju hroma od 12% čelici prelaze u pasivno stanje (postizu pozitivniji potencijal nego vodonikova elektroda) i ne korodiraju. Promena standardnog potencijala ovde nije kontinualna, potencijal se pri sadržaju 12% Cr menja skokovito. Pasivnost ovih čelika nastaje zbog površinskih oksida hroma i rastvaranja Cr u gvoždju (slika 12).



Slika 12: Zavisnost standardnog potencijala hromovih čelika od sadržaja Cr





U toku procesa elektrohemijske korozije elektrodni potencijal (EP) se menja u odnosu na početnu vrednost. Drugim rečima, njihov potencijal ne ostaje dugo na početnim vrednostima. Ovo odstupanje potencijala od ravnotežnog, to jest promena potencijala anode i katode, naziva se polarizacija i nastaje usled prolaska struje i sporog odvijanja elektrodnih reakcija.

U zavisnosti od uzroka koji izaziva promenu potencijala anode i katode razlikuju se dva vida polarizacije:

- aktivaciona polarizacija i
- koncentraciona polarizacija.

Aktivaciona polarizacija je više fizička ili električna barijera, dok je koncentraciona polarizacija barijera hemijskog tipa.

Ukupna polarizacija na elektrodama u elektrohemijskim reakcijama je jednaka sumi efekata aktivacione i koncentracione polarizacije. Opšte je pravilo da polarizacije bilo koje vrste ograničavaju protok stuje kroz galvanski element i obe smanjuju brzinu korozije.

Brzina elektrohemijske korozije, to jest količina metala koja ravnomerno korodira sa anode u vodeni rastvor u određenom vremenskom intervalu, određuje se korišćenjem Faradejeve (Faraday) jednačine, [6]:

$$w = \frac{I \cdot t \cdot M}{n \cdot F}, \quad (2.10)$$

gde je:

w [g/s] - masa korodiranog metala u jedinici vremena;

I [A] - jačina struje;

M [g/gmol] - atomska masa metala;

n - valentnost metalnih jona;

t [s] - vreme;

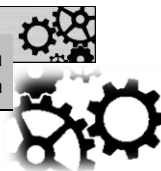
F - Faradejeva konstanta.

U procesu korozije uobičajeno je računanje gubitka mase sa određene površine u jedinici vremena.

U zavisnosti od sredine u kojoj se odigrava, razlikuje se više vrsta elektrohemijske korozije metala:

- Korozija u elektrolitima, koja je vrlo rasprostranjen vid korozije, nastaje usled delovanja prirodnih voda, vodenih rastvora i rastvora soli, baza i kiselina na metalne konstrukcije. Ovoj vrsti korozije podležu naročito hemijski aparati.





- Podzemna korozija, koja nastaje na podzemnim uređajima u dodiru sa zemljom. Razaranje cevi, kablova i uređaja podzemne železnice odvija se prema zakonima podzemne korozije.

- Atmosferska korozija nastaje u vlažnoj atmosferi ili pod dejstvom vlažnog gasa. Ovaj vid korozije je najrasprostranjeniji; veliki procenat metalnih konstrukcija u atmosferskim uslovima korodira pod dejstvom vlage.

- Elektrokorozija nastaje pod dejstvom spoja dovedene električne struje. Ovakav vid korozije prouzrokuje lutajuće struje.

- Kontaktna korozija nastaje pri dodiru dva raznorodna materijala.

- Naponska korozija nastaje pri jednovremenom mehaničkom naprezanju i delovanju agresivne sredine.

- Biokorozija nastaje pod dejstvom produkta raznih mikroorganizama.

- Korozija metala u dodiru sa organskim rastvaračima.

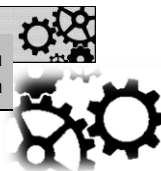
Obzirom na način kako se korozija ispoljava, razlikuju se sledeće vrste korozije:

- Ravnomerna korozija, pri kojoj se proces korozije vrši po celoj površini, ali bez prodiranja u dubinu metala. Ova korozija je vidljivo obeležena ravnomernom raspodelom produkta korozije po celoj površini metala. Sa njom se srećemo kod vrlo čistih metala sa homogenom strukturom u pogledu oblika i veličine kristalnih zrna i bez lokalnih koncentracija napona bilo kog porekla, kod legura homogenog sastava i homogene strukture (slika 13 a).

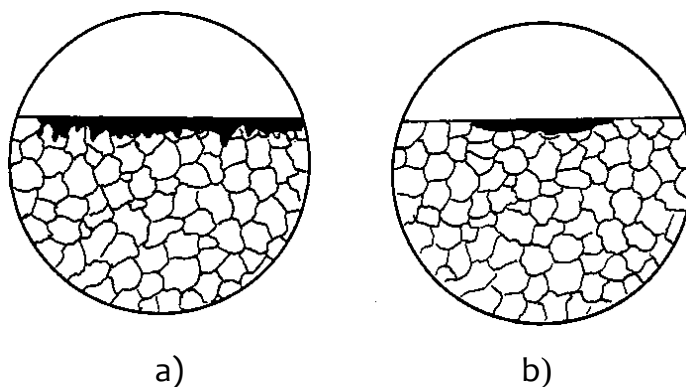
- Lokalna korozija, javlja se u vidu tačkastih površina, raspoređenih po celoj površini ili na pojedinim delovima površine na kojima je izrazito propadanje metala usled delovanja korozije. Ova vrsta korozije je znatno opasnija, jer proces korozije više ili manje prodire i u dubinu metala, pa je i razaranje metala opasnije, što se ispoljava u većem slabljenju mehaničkih osobina. Pri tome je tačkasta korozija opasnija, jer zahvata skoro celu površinu, a vidljivo tačkasto napadnuta mesta se mogu smatrati samo mestima sa kojih je proces razaranja metala po dubini otpočeo (slika 13 b).

- Selektivna korozija, ogleda se u tome, što u leguri dolazi do rastvaranja odnosno razaranja samo određenih komponenata, dok druge ostaju netaknute, zbog čega legura na površini postaje bogatija onim komponentama koje ne korodiraju. Kao primer može se uzeti mesing u dodiru sa rastvorom sumporne kiseline, pri čemu dolazi do rastvaranja cinka iz mesinga, dok bakar ostaje netaknut (slika 14 a).

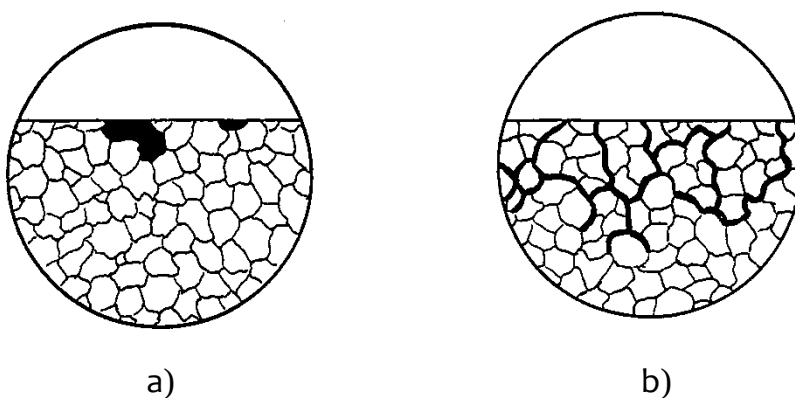




- Međukristalna korozija, deluje duž granica zrna, slabeći vezu između njih. Pretstavlja vrlo opasan oblik korozije i može učiniti metal potpuno neupotrebljivim (slika 14 b).

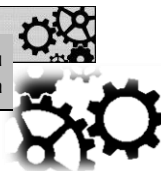


Slika 13: a) Ravnomerna korozija, b) Lokalna korozija



Slika 14: a) Selektivna korozija, b) Međukristalna korozija





3. MEHANIZMI KOROZIJE

3.1 Elektrohemijska korozija

Elektrohemijska korozija metala objašnjava se obrazovanjem galvanskih spregova i samom strukturom metala. Strukturu metala čine neutralni atomi, jonizovani atomi i elektroni. Atomi metala sa takvom strukturom se označavaju znakom $(M^{n+}.ne)$.

Potapanjem metala u elektrolit jonizovani atomi metala katjoni, prelaze u rastvor u obliku jona:



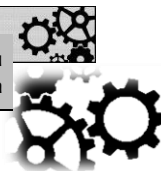
U vodenim rastvorima grade se hidratizirani katjoni:



Prelaz jonizovanih atoma metala, katjona u rastvor nastaje pod dejstvom energije solvatacije, odnosno u vodeni rastvor pod dejstvom energije hidratacije. Dokle god je energija hidratacije veća od energije elektroafiniteta, jonizovani atomi metala prelaziće u rastvor. Pri izjednačenju energije hidratacija i elektroafiniteta uspostaviće se ravnotežno stanje. Ukoliko je koncentracija jonizovanih atoma u graničnom sloju veća od ravnotežne koncentracije jonizovanih atoma metala reakcije (3.1) i (3.2) teku sa desne na levu stranu ($\leftarrow$) odnosno rastvaranje metala biće suzbijeno. Prelazom jonizovanih atoma u rastvor metali se u stvari rastvaraju. Na osnovu zakona o dejstvu masa zaključuje se da u rastvoru svojih jona metali manje rastvaraju i da postoje uslovi za brže uspostavljanje ravnotežnog stanja.

Prelazom jonizovanih atoma rastvor postaje pozitivno naelektrisan, a metal na kome ostaju elektroni, postaje negativno naelektrisan. Ovakva raspodela naelektrisanja između metala i rastvora prouzrokuje odmah elektrostatičko privlačenje viška pozitivno naelektrisanih jona od viška elektrona u metalu, uspostavljajući pri tome dalji prelaz jonizovanih atoma u rastvor. U ravnotežnim uslovima je elektrostatičko privlačenje najveće pošto se pri tome uzajamno privlači najveći broj elektrona sa metala i katjona iz rastvora.





Ako se elektrostatička sila privlačanja smanji uzajamnim razelektrisanjem elektrona u metalu i pozitivno naelektrisanih jona u rastvoru stvara se mogućnost daljeg prelaza jonizovanih atoma metala u rastvor što je potpuno u saglasnosti sa zakonom o dejstvu masa. Koliko dugo traje uzajamno razelektrisanje elektrona u metalu i pozitivnih jona u rastvoru, toliko vremena traje i proces rastvaranja metala. Ukoliko je ovo uzajamno razelektrisanje neprekidno, proces rastvaranja metala traje neprekidno odnosno sve dotle dok se sav metal ne rastvori. Korozija metala se odigrava i u slučaju razelektrisanja bilo kojih katjona u rastvoru elektrona sa metalom. U svim slučajevima kada elektroni sa metalom vrše razelektrisanje katjona u rastvoru ili redukuju neku materiju prisutnu u rastvoru, postoje uslovi za pojavu elektrohemijske korozije metala.

U toku elektrohemijske korozije jednovremeno se odigravaju dva procesa: oksidacija (rastvaranje) metala i redukcija katjona ili neke materije u rastvoru. Ova dva jednovremena procesa koja karakterišu rastvaranje metala u slučaju redukcije katjona u rastvoru šematski se prikazuju jednačinama :



gde je:

$(M^{n+}.ne)$ - metal koji se rastvara

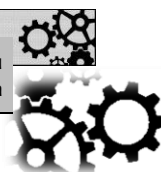
$(K^{n+}.pH_2O)$ - hidratizirani katjon koji se redukuje.

Pri reakciji hidronijum jona, koja se dešava pri koroziji mnogih metala u kiseloj sredini, izdvaja se gasoviti vodonik. Proces rastvaranja cinka u sumpornoj kiselini prema prethodnim jednačinama, teče ovako:



Elektroni u metalu mogu reagovati i sa neutralnim atomima i molekulima, a ne samo sa hidratiziranim katjonima. U prisustvu kiseonika u rastvoru proces rastvaranja metala prikazuje se jednačinama:



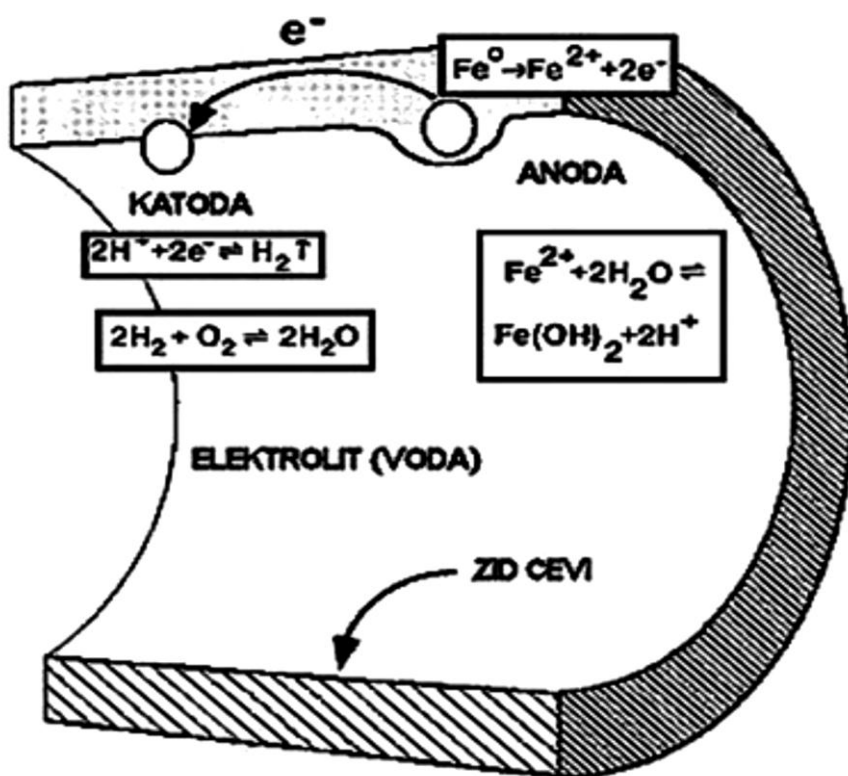


U ovom slučaju, u prisustvu vode kiseonik apsorbuje elektrone i obrazuje hidroksilni jon.

Proces rastvaranja metala se može odvijati u prisustvu bilo kog oksidacionog sredstava. Pod dejstvom feri jona u vodenom rastvoru korozija metala teče na sledeći način:

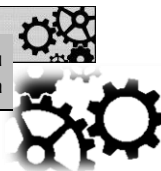


U ovoj reakciji feri jon oksidiše metal, a sam se redukuje do fero jona. Rastvaranje metala teče pri redukciji pozitivnih jona ili neutralnih molekula iz rastvora elektrona iz metala koji korodira (slika 15).



Slika 15: Elektrohemijaska korozija cevi za vodu





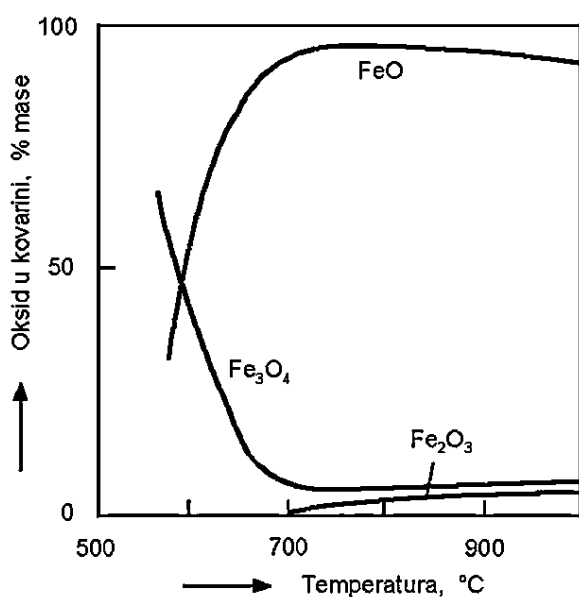
3.2 Hemijska korozija

Do hemijske korozije dolazi pri reakciji metala sa kiseonikom i suvim gasovima na povišenim temperaturama. Tako nastali oksidi mogu biti nestabilni, kao kod zlata, pa oksidacija ne nastaje, ili isparljivi, kao kod molibdena, gde se oksidacija odvija konstantnom brzinom. Na površini nekih metala formira se samo jedna vrsta oksida, kao na primer kod aluminijuma i titana, dok se kod gvoždja uočavaju tri različita oksida.

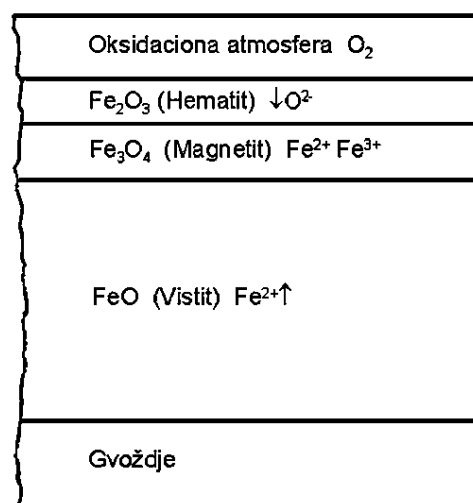
Oksidni sloj može biti zaštitni ili nezaštitni u zavisnosti od toga da li potpuno prekriva površinu ili je porozan (tabela 2).

Tri tipa oksida koji mogu da oblože metal (slika 19):

- na magnezijumu nastaje porozni oksidni film,
- na aluminijumu nastaje zaštitni neporozni oksidni film i
- na gvožđu se stvara oksid koji prska i predstavlja vrlo lošu korozionu zaštitu (slika 16).



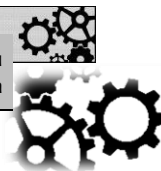
a)



b)

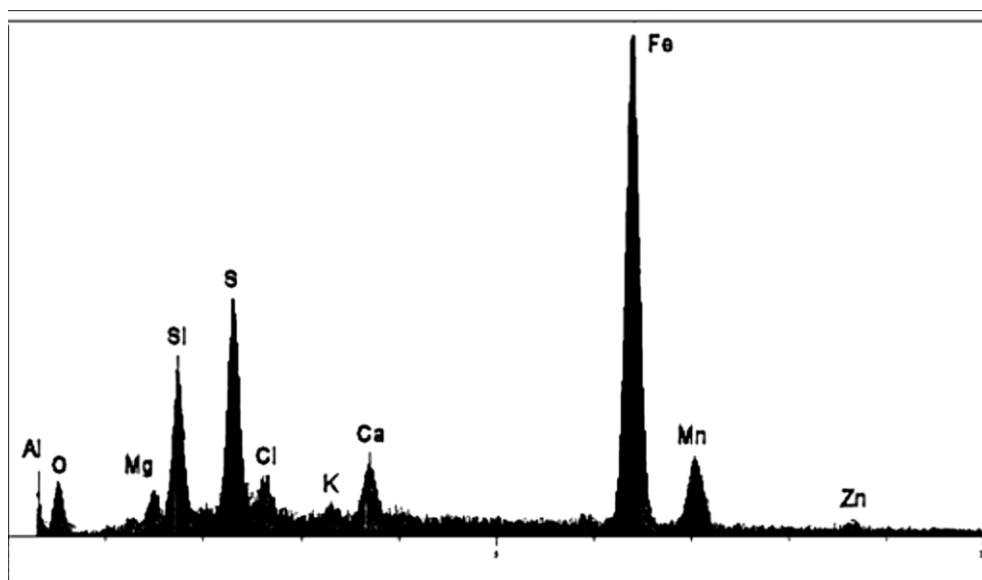
Slika 16: Sastav oksidnog sloja na gvožđu: a) u zavisnosti od temperature, b) u zavisnosti od udaljenosti od površine





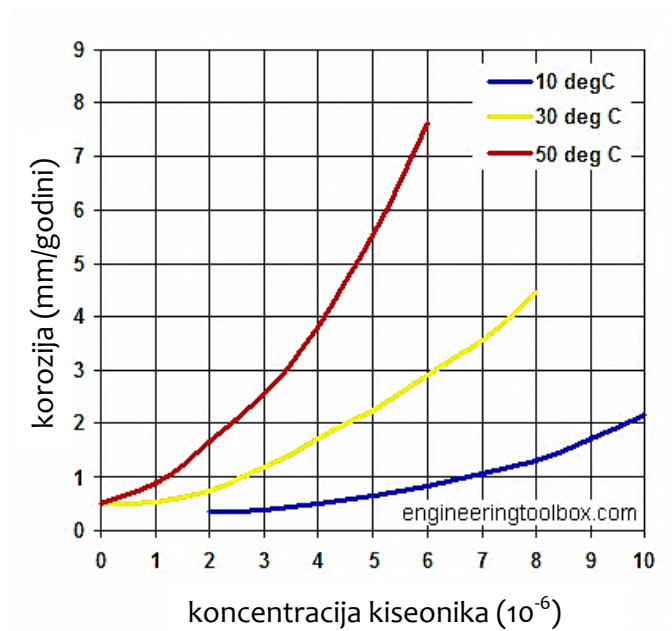
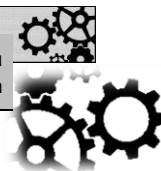
Metal	Temperatura topljenja metala °C	Produkt korozije	Temperatura topljenja produkta korozije °C
Sloj produkta korozije koji štiti metal			
Al	660	Al ₂ O ₃	2045
Pb	327	PbO	888
Ni	1453	NiO	1990
Zn	419	ZnO	1975
Cu	1083	Cu ₂ O	1235
Fe	1536	FeO	1420
Cr	1875	Cr ₂ O ₃	2434
Sloj produkta korozije koji ne štiti metal			
Cd	321	CdO	sublimira na 1559
Sn	232	SnO ₂	1127
Ag	961	Ag ₂ O	Razara se na 140
Ti	1668	TiO ₂	1840
V	1900	V ₂ O ₅	690
Mo	2610	MoO ₃	795
W	3410	WO ₃	1473

Tabela 2: Produkti korozije nekih metala koji štite i koji ne štite metal

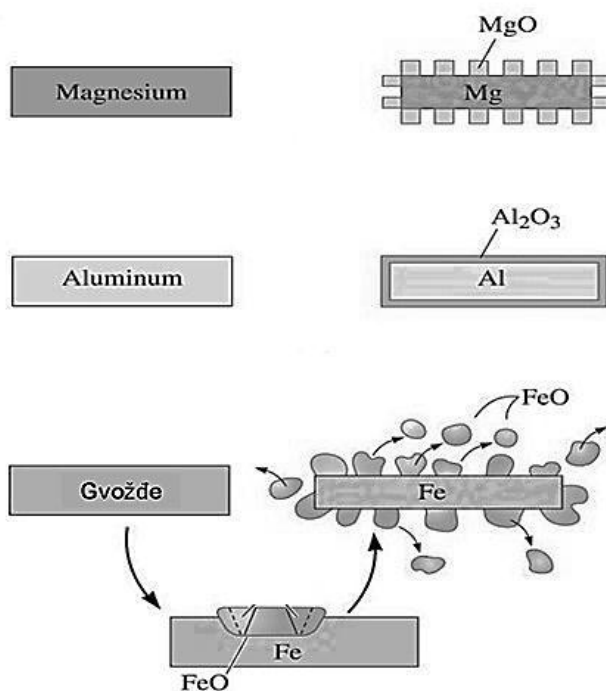


Slika 17: Produkti korozije cevi za gas



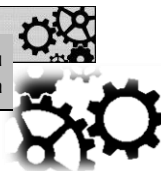


Slika 18: Korozija čeličnih cevi u zavisnosti od temperature



Slika 19: Tipovi oksida koji oblažu metal





Spoljašnji faktori koji utiču na hemijsku koroziju su:

Temperatura utiče na stabilnost nekih oksida. Ako prevlaku obrazuju više oksida, njihov relativni udeo zavisi od temperature. Korozija čeličnih cevi u zavisnosti od temperature prikazana je na slici 18.

Pritisak ima neznatan uticaj na debljinu prevlake kada je reč o atmosferskim uslovima.

Sastav korozione sredine znatno utiče na tok korozije. Promenu uticaja sredine može izazvati i veoma mala promena koncentracije njenih komponenata.

Pored oksidacione sredine koroziju mogu izazvati i redukujući gasovi. Najvažniji korozioni redukujući gas jeste vodonik.

Vodonična korozija - izazvana je reakcijom vodonika sa ugljenikom i stvaranjem metana koji nema mogućnost difuzije. Pri ovoj vrsti korozije nema produkata površinske korozije.

Poroznost oksidnih slojeva bitno utiče na dalji proces korozije. Kompaktni sloj sprečava direktan pristup korozionog medijuma u metal. Slabo prijanjanje sloja, poroznost ili sloj koji se ljušti, umanjuju zaštitu metala. Dobro prijanjanje oksidacionog sloja ne znači da je obezbedjena trajna zaštita. Na to još utiče i čitav niz unutrašnjih i spoljašnjih faktora.

Među **unutrašnje činioce**, koji direktno utiču na oksidacione slojeve, mogu se ubrojiti:

Fizičke osobine oksidnih slojeva - zaštitne osobine sloja zavise od njegovih difuzionih karakteristika.

Stabilnost produkata korozije - stabilnost nekih oksida menja se sa temperaturom. Produkti korozije cevi za gas prikazani su na slici 17.

Sastav oksidnih slojeva - prevlaka može biti obrazovana od jednog oksida (npr. Al_2O_3 , TiO_2) ili više oksida (FeO , Fe_3O_4 , Fe_2O_3) sa različitim osobinama.

Među **unutrašnje činioce**, koji se odnose na oksidisani metal, mogu se pre svega ubrojiti:

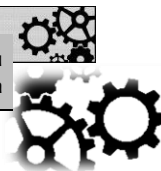
Hemijski sastav legure - pomoću odgovarajućih dodataka može se uticati na brzinu difuzionih procesa, a time i na brzinu korozije.

Struktura legure - povoljnija je homogena struktura koja se može dobiti odgovarajućom termičkom obradom. Negativnim se pokazalo prisustvo nemetalnih uključaka, naročito podpovršinskih, koji doprinose lokalnoj oksidaciji, odnosno odvijanju anodnih procesa.

Stanje površine metala - polirana površina je otpornija.

Procesi unutar metala - na povišenim temperaturama pri odredjenim uslovima dolazi do unutrašnje oksidacije, pri čemu ispod prevlake nastaje oksid koji razara prevlaku.





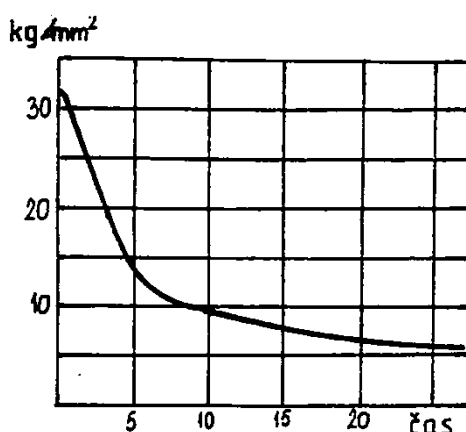
3.3 Naponska korozija

Pri istovremenom mehaničkom naprezanju i delovanju spoljne sredine ili raste brzina korozije ili se pojavljuju prsline ili jedno i drugo. Te pojave se nazivaju naponska korozija.

U praksi se najčešće sreću dva oblika naponske korozije pri kojoj se u metalu obrazuju prsline: **korozija usled zamora i korozija sa pojavom prsline**. Korozija usled zamora nastaje pri jednovremenom delovanju spoljne sredine i promenljivih mehaničkih naprezanja metala.

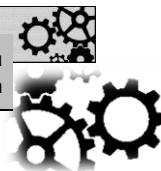
Usled pojave prsline mehanička čvrstoća metala se smanjuje znatno više pri naponskoj koroziji nego samo pri delovanju spoljne sredine ili mehačkih naprezanja. Na mestu na kome se pojavljuju prsline razlikuju se dve zone: zona krstog razaranja, koja ne podleže plastičnoj deformaciji, i zona u kojoj nastupa razaranje po prekoračenju granice čvrstoće metala u odnosu na stvarnu površinu zone. Pri pojavi prsline u sredinu u kojoj teče korozija sa izdvajanjem vodonika, neposredno pred razaranje nastaju veće količine vodonika zbog stvaranja malih mehaničkih pukotina i povećanja površina anodnih delova metala.

Veliki broj oglada pokazuje da se sa povećanjem sile zatezanja, kojoj se izlaže metal, smanjuje vreme pojave prsline na metalnoj površini. Kriva koja pokazuje uticaj sile zatezanja pri naponskoj koroziji mekog čelika u parama 50% rastvora amonijumnitrata na vreme pojave prsline od sile zatezanja prikazano je na slici 20.



Slika 20: Kriva uticaja sile zatezanja pri naponskoj koroziji mekog čelika u parama rastvora amonijumnitrata na vreme pojave prsline





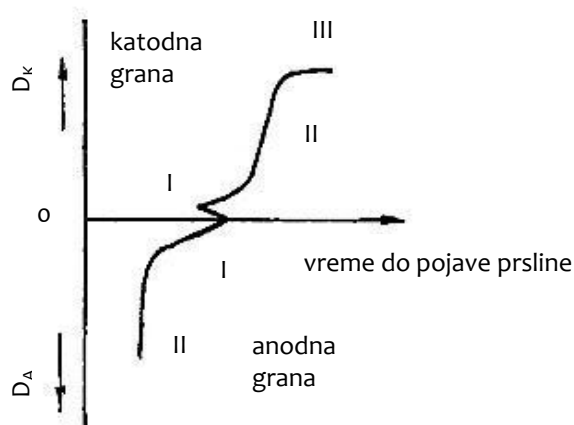
Plastična deformacija, kojoj se metali podvrgavaju, utiče kako na karakter prsline tako isto i na njeno vreme pojave. Mehanizam ovog uticaja je u uskoj vezi sa deformacijom strukture metala i pojavom unutrašnjih naprezanja. U izvesnim slučajevima plastična deformacija smanjuje vreme pojave prsline na metalnoj površini, a u drugim slučajevima ga povećava.

Kriva kojom se pokazuje zavisnost vremena pojave prsline na metalnoj površini od gustine struje data je na slici 21. Katodna grana krive ima tri dela: I - pokazuje da se prsline pri malim gustinama struje javlja ranije nego kod nepolarizovanih predmeta; II - pokazuje neznatan uticaj na vreme pojave prsline pri daljem povećanju katodne struje; III - označava vrednost zaštitne struje pri kojoj se prsline na metalnoj površini ne pojavljuju ili se tek posle dužeg vremena može pojaviti.

Anodna grana krive se sastoji od dva dela: prvi deo prikazuje da se prsline ranije javlja na metalnoj površini koja je anodno polarizovana pri malim gustinama struje. Drugi deo anodne grane označava da pri većim gustinama anodne struje nema bitnih promena u odnosu na vreme pojave prsline.

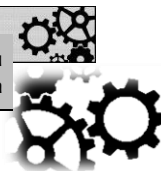
Pri naponskoj koroziji metala teku dva procesa: rastvaranje metala usled delovanja lokalnih galvanskih spregova i stvaranje prsline na mestima koncentrisanog napona. U početku se napon koncentriše na risevima koji ostaju na površini metala posle mehaničke obrade, džepovima (pitting) i granicama zrna.

U prvoj fazi naponske korozije metala s pojavom prsline, brzina obrazovanja prsline zavisi od razlike sila koje deluju na površini metala i na dnu mesta na kojima se koncentrišu naponi.



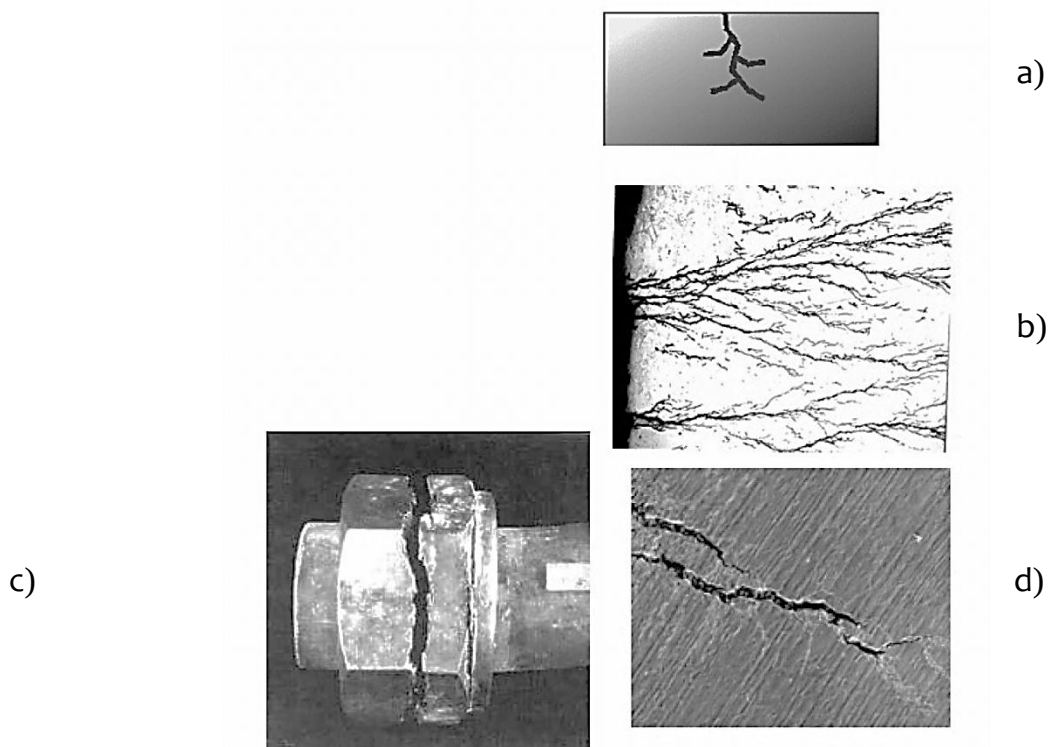
Slika 21: Zavisnost vremena pojave prsline od gustine struje: D_K – gustina struje na katodnoj grani, D_A – gustina struje na anodnoj grani





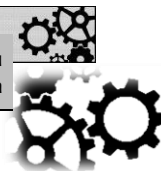
Prsline koje se pojavljuju pri naponskoj koroziji predstavljaju uske kanale koji se pune produktima korozije. Na taj način se omogućuje dovod kiseonika odnosno oksidacionih sredstava do dna, što olakšava rastvaranje slobodnih delova metala, a otežava obrazovanje zaštite opne koja je razorena delovanjem sile (slika 22).

Elektrohemijski potencijal na mestima koncentracije napona postaje negativniji u odnosu na bočne zidove prsline i površine metala, usled čega motorna sila obrazovanog galvanskog sprega raste što se raspoznaje i po intenzitetu razvijanja vodonika. Usled koncentracione polarizacije koja se pojavljuje na mestima koncentrisanog napona zbog akumulacije jonova metala anodni proces rastavljanja metala biva nešto usporen. Pri pojavi prsline katodni proces na zidovima kanala blizu anodnih delova prsline teku sporije pošto manje kiseonika, odnosno oksidacionih sredstava dospeva do zidova prsline. Iz tih razloga se ne obrazuje ni zaštitna prevlaka na unutrašnjim površinama prsline.



Slika 22: Primeri naponske korozije: a) šematski prikaz naponske korozije, b) naponska korozija cevi, c) naponska korozija navrtke, d) naponska korozija lima





Naponska korozija se objašnjava preko više teorija. Prva teorija je poznata pod nazivom **elektrohemijaska teorija**. U prvoj fazi korozije obrazuje se na površini metala džepovi raznih dubini. Potencijal na dnu džepa postaje negativniji prema potencijalu na površini metala zbog čega se obrazuje galvanski spreg: dno džepa i površina metala.

Pri promenljivom delovanju mehaničkih sila korozija se usresređuje na mesta koncentrisanog napona (pore, prsline). Na tim mestima potencijal postaje negativniji. Tako se stvaraju uslovi za pojavu korozije.

Prema **teoriji opne** naponska korozija nastaje usled prskanja zaštitne opne na površini metala pod dejstvom mehaničkih naprezanja. Zaštitna opna je slabija na granici kristalnih zrna zbog čega se na tim mestima pod dejstvom naprezanja opna razara uz stvaranje uslova za razvoj međukristalne korozije. Koncentracija naprezanja na dnu prsline su takođe uzrok razaranja zaštitne opne. Na taj način stvaraju se uslovi za obrazovanje galvanskih sprega: metal pokriven opnom - metal nezaštićen opnom.

Pored ovih teorija o mehanizmu naponske korozije poznate su i druge teorije: apsorpciono-elektrohemijaska razaranja metastabilnih faza i druge.

Prsline mogu biti transgranularnog i intergranularnog porekla.

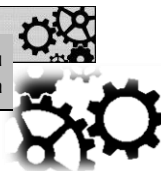
Transgranularni procesi. U ovakvim slučajevima prsline prolazi kroz kristalna zrna. Prolazna lokacija prsline je stvoreni piting koji je nastao usled delovanja korozione sredine. Koncentrisani naponi na rubu pitinga stvaraju prsline. Prema tome, prvi stadijum je elektrohemijaska korozija, koja stvara uslove da zbirni naponi mogu stvoriti prsline.

Intergranularni procesi. Prsline se šire pored kristalnih agregata, to jest sama zrna ostaju čitava. U najvećem broju slučajeva pri naponskoj koroziji prsline su intergranularne, to jest idu po granicama metalnih zrna. Preduslov za stvaranje ovakvih vrsta prsline su:

- mehanička opterećenost materijala, koja može biti rezultat i spoljašnjih i unutrašnjih sila,
- prisustvo određene korozione sredine, to jest takve sredine koja rastvara fazu izdvojenju na granicama zrna, ali ne i metal u celini,
- osetljivost metala na intergranularnu koroziju.

Kao posledica odgovarajućeg legiranja ili termičke obrade dolazi do stvaranja taloga - posebne faze, na granicama zrna. Ukoliko se ova faza ponaša anodno u odnosu na metal, rastvara se i nastaje intergranularna korozija. Ako su metali i legure osetljivi na interkristalnu koroziju onda delovanje statičkog napona dovodi do stvaranja prsline duž granice zrna.

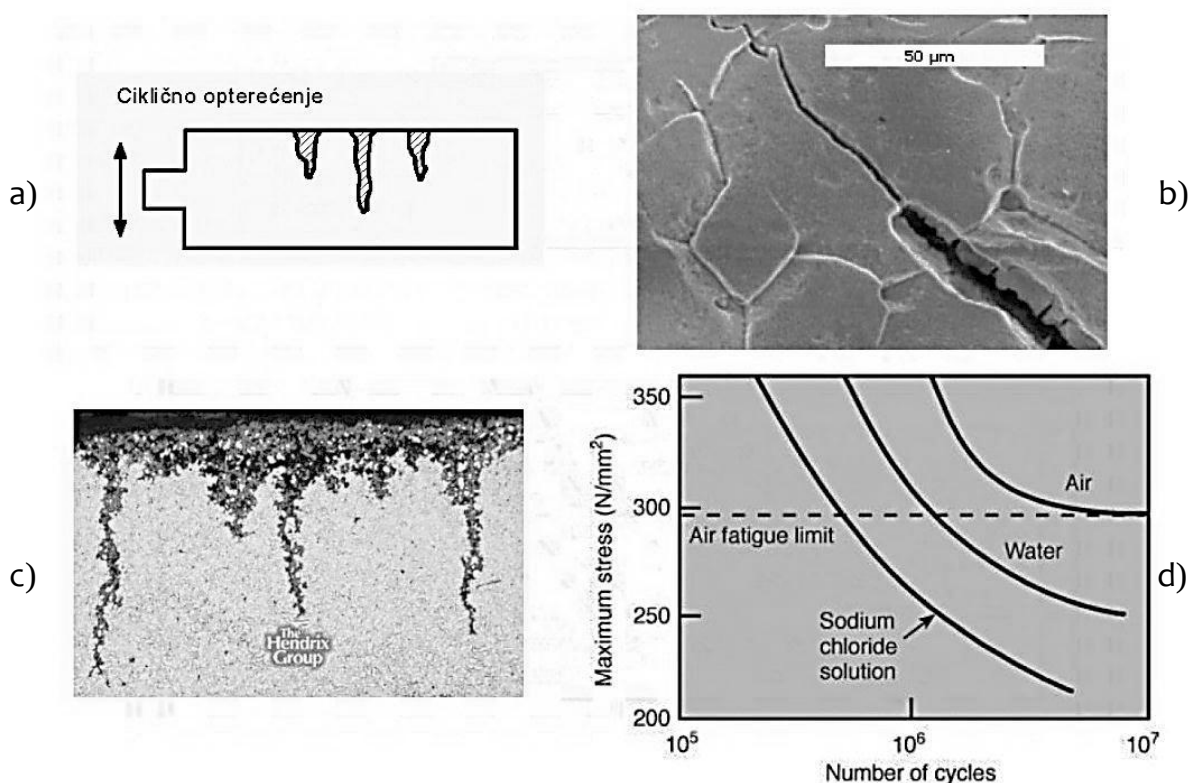




3.4 Zamorna korozija

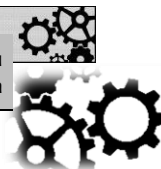
Zamorna korozija nastaje kombinovanim dejstvom korozionog medijuma i cikličnih napona. Primeri zamorne korozije dati su na slikama 23 i 24. Otpornost metala procenjuje se na osnovu odnosa korozione zamorne jačine u slanoj vodi i normalne zamorne jačine. Taj odnos je jednak:

- 0,2 za ugljenične čelike,
- 0,5 za nerđajuće čelike i
- 1 za bakar.



Slika 23: Primeri zamorne korozije: a) šematski prikaz zamorne korozije, b) zamorna korozija lima na elektronskom mikroskopu, c) zamorna korozija dela cevi, d) dijagram broja ciklusa opterećenja (number of cycles) i maksimalni napon (maximum stress N/mm²)



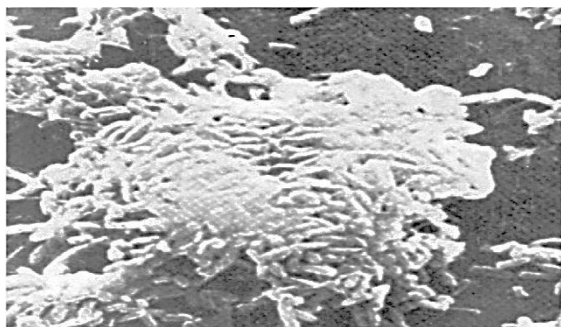
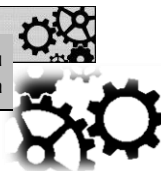


Slika 24: Primer zamorne korozije cevi izmenjivača toplote na elektronskom mikroskopu

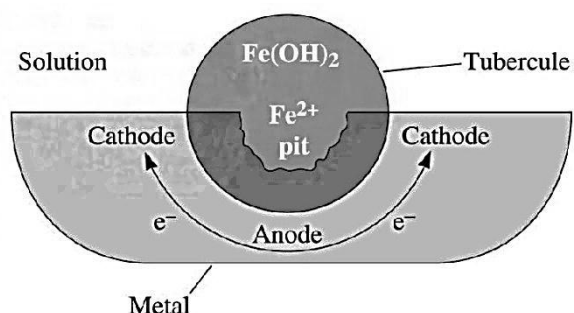
3.5 Bakterijska korozija (biokorozija)

Štetno dejstvo bakterijske korozije ogleda se u njenom stvaranju i uticaju na materijal. Prvo nastaje deoba bakterijskih ćelija i formiranje bakterijske kolonije. U drugoj fazi se formira tuberkula i udubljenje na materijalu (slika 25). Primeri bakterijske korozije dati su na slici 26.



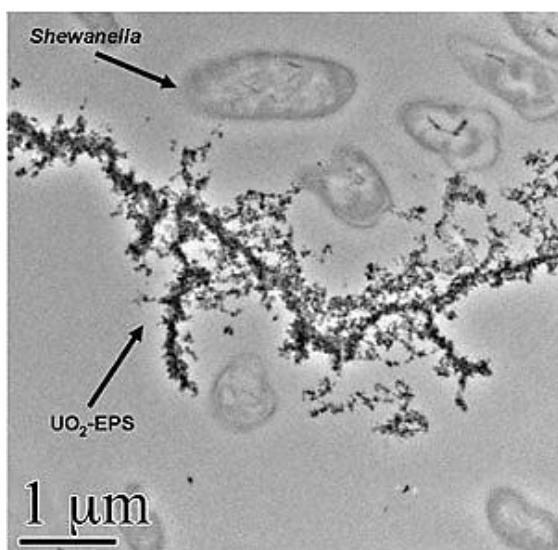


a)

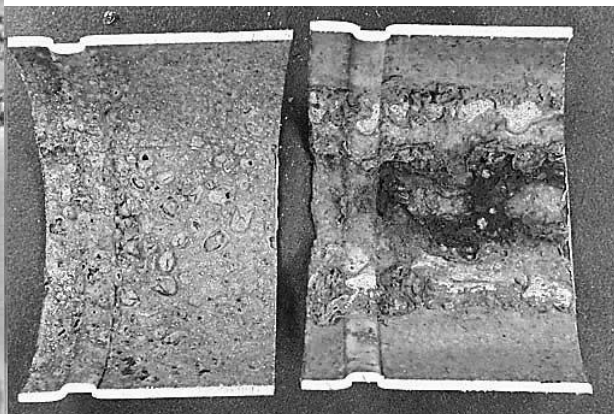


b)

Slika 25: Bakterijska korozija: a) bakterijska ćelija prerasta u koloniju, b) formiranje tuberkule (tubercule) i udubljenja sa biološkom kolonijom: cathode – katoda, anode – anoda, solution – razlaganje, pit – udubljenje



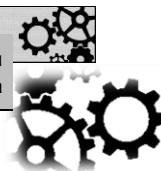
a)



b)

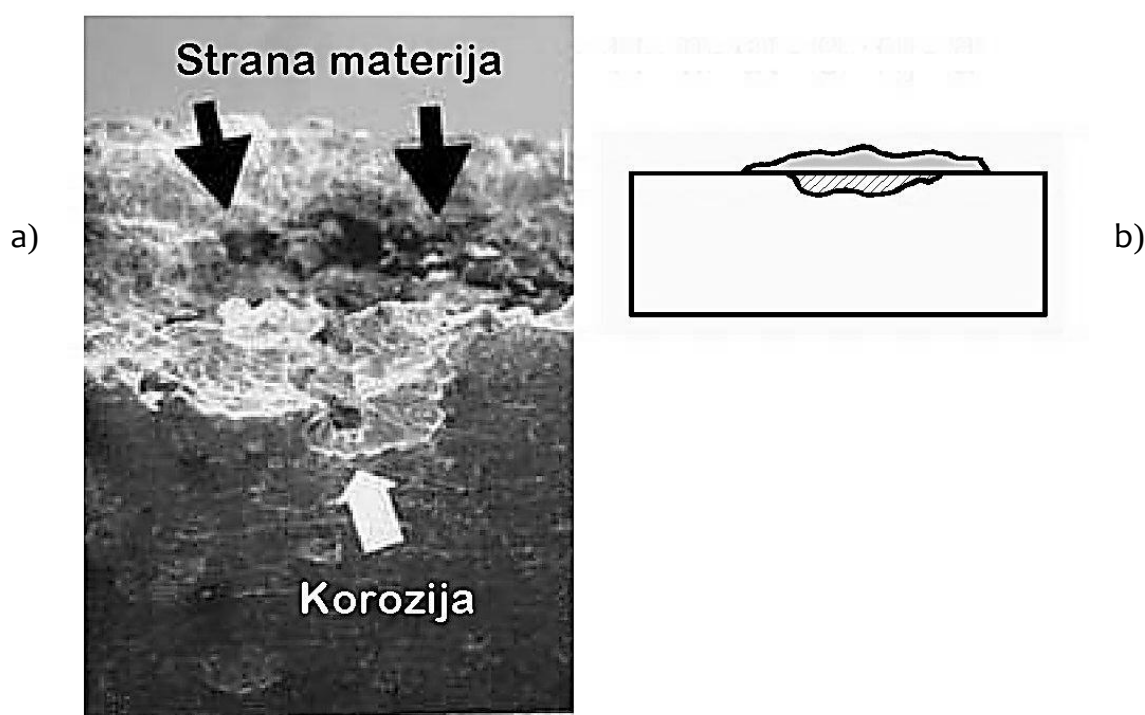
Slika 26: Primeri bakterijske korozije: a) bakterijska korozija cevi na elektronskom mikroskopu, b) bakterijska korozija zida cevi





3.6 Korozija ispod stranih materija

Korozija ispod stranih materija nastaje na delovima metala prekrivenim opalim lišćem, papirom, peskom, to jest na onim mestima gde je otežan pristup kiseonika, prikazano na slici 27. Izgleda paradoksalno da korozija upravo nastaje na površinama relativno najbolje zaštićenim od medijuma koji je izaziva, to znači vodenog rastvora zasićenog kiseonikom.

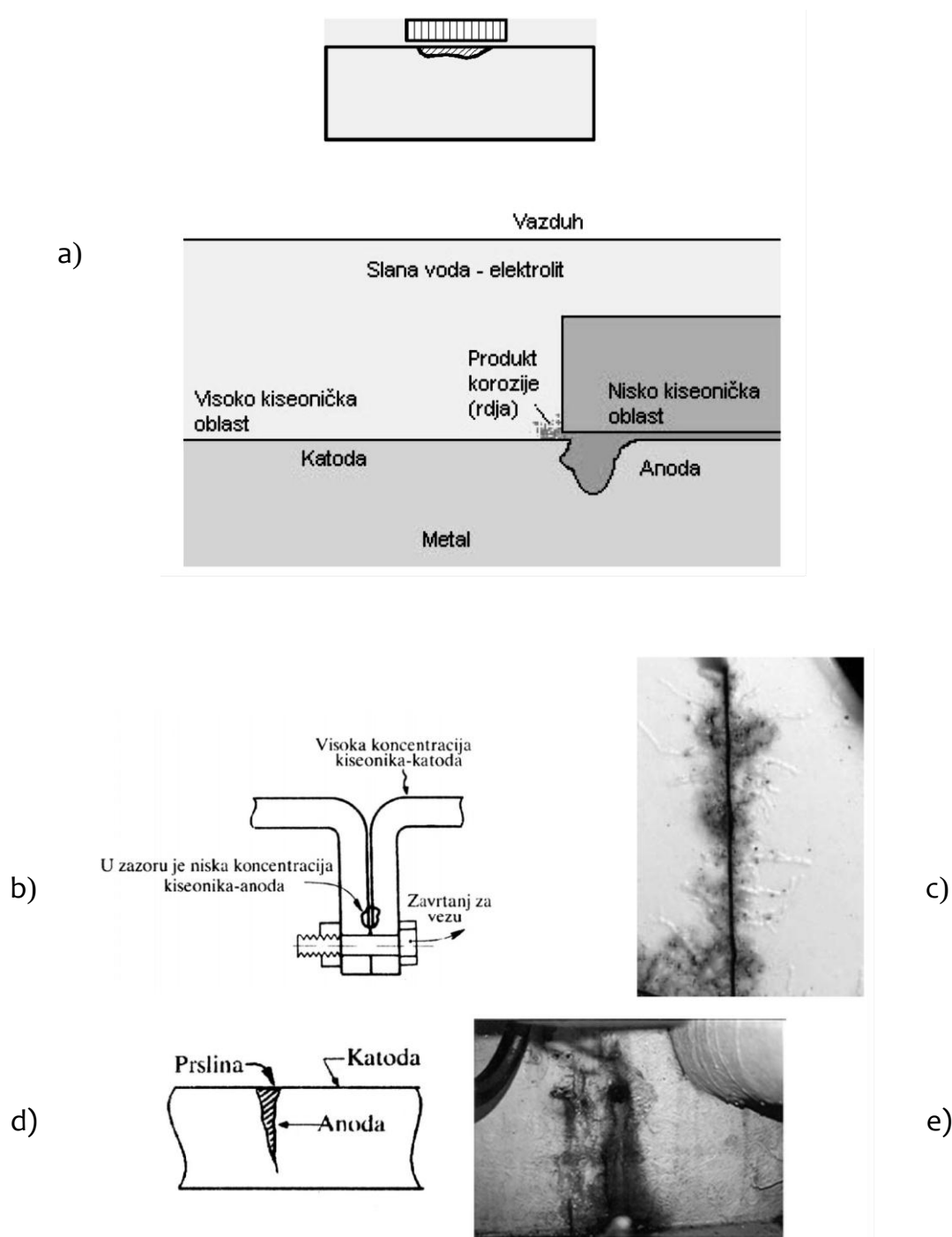
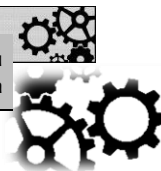


Slika 27: Primeri korozije ispod stranih materija: a) korozija lima koji je prekriven organskim materijama, b) šematski prikaz korozije ispod stranih materija

3.7 Korozija u zazorima

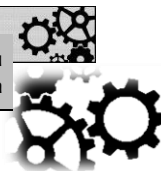
Korozija u zazorima napada metal u uskim zazorima koji postoje kod mnogih sklopova različitih metala ili nemetala (slika 28).





Slika 28: Primeri korozije u zazorima: a) i d) šematski prikaz korozije u zazorima, b) korozija u zazoru dva lima spojenih zavrtanjem, c) i e) korozija lima koji ima zazor [3]





3.8 Atmosferska korozija

Razaranje metala i legura koje nastaju pod hemijskim i elektrohemijskim dejstvom atmosfere naziva se atmosferska korozija. Ova korozija je najrasprostranjeniji vid korozije. Najveći broj metalnih konstrukcija pri eksploataciji na vazduhu korodira pod dejstvom vlage nastale kondenzacijom vodene pare.

Atmosferska korozija se javlja kao jedan oblik elektrohemijske korozije, a razlikuje se od drugih u tome što se proces korozije odigrava ispod tankog sloja elektrolita na površini metala. Pri apsorpciji vlage, kondenzaciji vodene pare i atmosferskim padavinama obrazuje se na površini metala tanak sloj elektrolita. Ovaj tanak sloj elektrolita ne predstavlja veliku prepreku za difuziju kiseonika do površine metala, zbog čega postaje vrlo povoljni uslovi za razvoj korozije sa utroškom kiseonika, koja se u atmosferi najčešće i odgovara. Apsorpcijom kiselih gasova: ugljendioksida, sumpordioksida, oksida azota i drugih gasova, vlaga na površini metala postaje kisela, što može usloviti i koroziju sa izdvajanjem vodonika. Pored kiselih gasova vlaga može apsorbovati amonijak i druge agresivne gasove pri čemu se povećava električna provodljivost, a korozija ubrzava. Brzina atmosferske korozije zavisi od atmosferskih uslova (stepena čistoće, vlažnosti i temperatura) pod kojima se nalaze metalne konstrukcije, vremena dejstva atmosfere na metal, prirode metala i stanja površine metala.

U zavisnosti od uslova u kojima se odvija, razlikuju se tri vida atmosferske korozije:

- **Mokra atmosferska korozija**

Ovaj vid korozije metala nastaje pri obrazovanju vidljivog sloja vlage na površini metala pri stoprocentnoj vlažnosti vazduha. U ovaj vid korozije uključuje se korozija koja nastaje pri neposrednom delovanju kiše, snega, mlaza vode i vodene pare na metalne površine.

- **Vlažna atmosferska korozija**

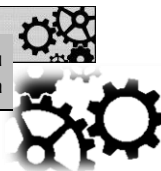
Nastaje pod nevidljivim slojem vlage, koja se obrazuje pri kondenzovanju vodene pare iz vazduha, vlažnosti manje od sto procenata. Ova kondenzacija pare, na površini metala, je kapilarne, apsorpcione i hemijske prirode.

- **Suva atmosferska korozija**

Ova korozija se odigrava u suvom vazduhu kada na površini metala nije moguća kondenzacija vodene pare.

Mokra atmosferska korozija u zavisnosti od pH vrednosti vidljivog sloja vlage može se odvijati sa utroškom kiseonika ili sa izdvajanjem vodonika.





Ovaj vid korozije je sličan elektrohemijskoj koroziji metala u elektrolitima sa jednom osobenošću da ovaj elektrohemijski proces teče pri velikom omskom otporu tankog sloja elektrolita koji ograničava brzinu korozije.

Nevidljiv sloj vlage se obrazuje na površini metala pri kapilarnoj kondezaciji vodene pare iz vlažnog vazduha pri temperaturi ispod tačke rose. Kondezacija vodene pare u kapilarima, uskim prslinama i malim udubijenima hrapave površine zavisi od napona pare tečnih elektrolita. Napon pare je najveći iznad tečnosti sa ispupčenim meniskom, a najmanji iznad tečnosti sa ugnutim meniskom. Iz tih razloga se vodena para najpre kondezuje na ispupčenim menisku tečnosti. Ova pojava se objašnjava kinetičkom teorijom gasova prema kojoj molekuli iz gasne faze pri svom haotičnom toplotnom kretanju najpre udare na ispupčeni menisk tečnosti i na njemu se kondezuju.

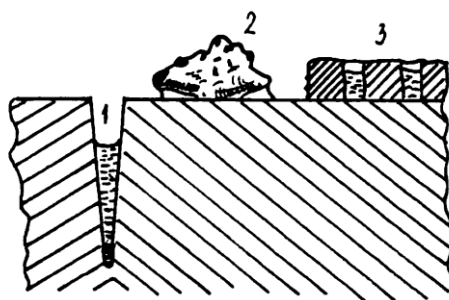
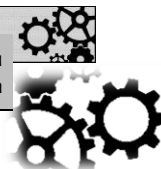
Na slici 29 prikazane su kapilare na metalnim površinama koje deluju kao centri kapilarne kondezacije u atmosferskim uslovima. Vodena para se može kondezovati u mikrokapilarnim otvorima koji nastaju pri blagom udaru i dodiru ispod čvrste čestice na metalnoj površini (čestice uglja, zrna peska), u pukotinama oksida koji se obrazuje za vreme korozije.

Šema obrazovanja sloja vlage data je na slici 30. Pri manjoj vlažnosti vazduha od 100% na glatkoj metalnoj površini se obrazuje samo monomolekulski apsorpcioni sloj vlage (slika 30 a). Pri sniženju temperature na površini metala se izdvajaju male kapi vode (slika 30 b). Pri daljoj kondezaciji vodene pare obrazuje se kompaktni sloj vlage po celoj površini metala (slika 30 c). Ukoliko je površina metala hrapava ili se na njoj nalaze čvrste čestice, to se u udubljenjima, pukotinama i ispod čvrstih čestica obrazuje sloj vlage bar od nekoliko desetina molekularnih slojeva (slika 30 d i e).

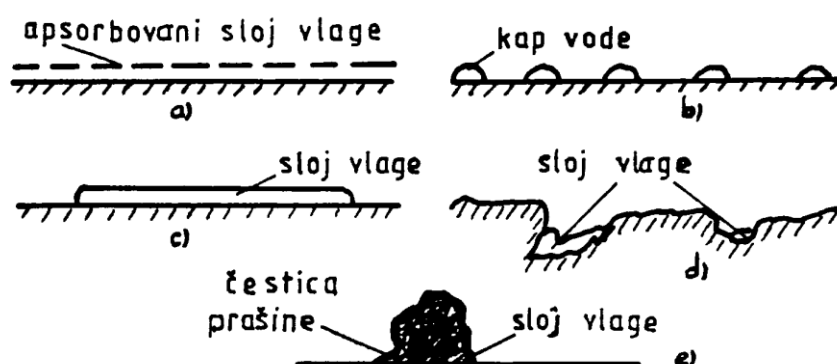
Pri običnoj temperaturi u suvoj atmosferi na površini metala se sporo obrazuje opna kao produkt korozije. Mehanizam obrazovanja ove opne je identičan mehanizmu obrazovanja opne pri hemijskoj koroziji. Opna koja se obrazuje u suvoj atmosferi prestaje da raste, već pri malim debljinama. Suva atmosferska korozija se poznaje po smanjenju refleksne moći reflektora, gubljenja sjaja niklenih, srebrnih i drugih metalnih prevlaka. Pri većem ili manjem sadržaju vlage na površini metala suva atmosferska korozija prelazi u mokru to jest vlažnu atmosfersku koroziju.

Pri atmosferskoj koroziji metala osnovni anodni proces je rastvaranje samog metala. Proces rastvaranja metala zavisi od debljine sloja vlage na površini metala i od koncentracione polarizacije. S obzirom da rastvorljivost produkta korozije tehničkih metala nije velika, koncentraciona polarizacija ne može u znatnoj meri da uspori rastvaranje metala.





Slika 29: Centri kapilarne kondenzacije vodene pare

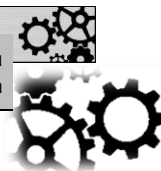


Slika 30: Šema taloženja vlage na površini metala: a) obrazovanje monomolekulskog sloja vlage na površini metala, b) obrazovanje kapi vode na površini metala, c) obrazovanje kompaktnog sloja vlage na površini metala, d) obrazovanje sloja vlage u udubljenjima na metalu, e) obrazovanje sloja vlage oko i ispod čestice prašine na metalu

Gasovi i čestice se rastvaraju u vlažnom vazduhu i atmosferskim padavinama prelazeći u kiseline, baze i soli koje mogu da nagrizažu metalne konstrukcije. Apsorpcijom gasova iz atmosfere, vlaga na površini metala postaje provodnik i zahvaljujući dobrim delom tome ona ubrzava koroziju metala.

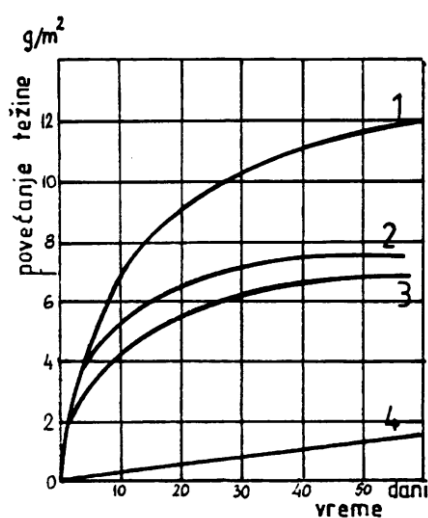
U atmosferi industrijskih oblasti vrlo često se nalazi sumpordioksid čak i u većim količinama. Sumpordioksid se može oksidirati u sumportrioksid koji sa vlagom iz vazduha daje sumpornu kiselinu koja ima vrlo agresivno dejstvo. U vazduhu sa većim sadržajem vlage, a sa neznatnim količinama sumpordioksida dolazi do intenzivnog razaranja ugljeničnih čelika. Uticaj vlažnosti vazduha na koroziju čelika u prisustvu samo 0,01 % SO_2 u vazduhu prikazan na slici 31.



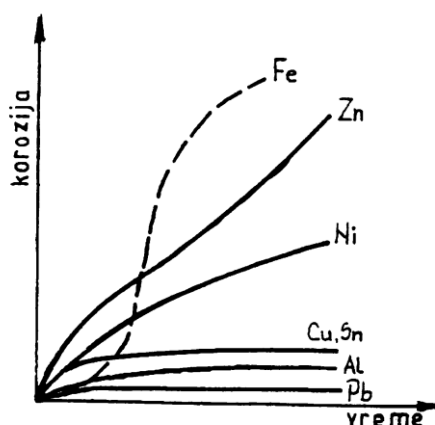


Vreme je takođe jedan od faktora koji utiče na brzinu korozije, koja se kod gvožđa vremenom povećava. Kod nikla, aluminijuma i olova sa vremenom opada brzina korozije, što je prikazano na slici 32. Neki primeri atmosferske korozije prikazani su na slikama 33 i 34.

Godišnje doba takođe utiče na koroziju, koja je u jesen veća zbog veće količine padavina.

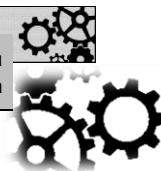


Slika 31: Uticaj vlažne atmosfere na koroziju u prisustvu sumpordioksida: 1. relativna vlažnost 99%, 2. relativna vlažnost 75 %, 3. relativna vlažnost 70 %, 4. čist vazduh relativne vlažnosti 0.9 % (Krive 1, 2, 3 dobijene su u vazduhu u prisustvu 0,01 % SO_2) [4]



Slika 32: Brzina korozije nekih metala



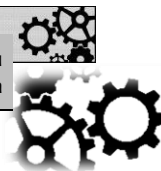


Slika 33: Atmosferska korozija aluminijuma



Slika 34: Atmosferska korozija automobila





3.9 Podzemna korozija metala

Cevi, kablovi i druge metalne konstrukcije i predmeti koji se nalaze u zemlji podležu koroziji. Vlažna zemlja u kojoj se odigrava korozija metala predstavlja heterogen kapilarno porozni kaloidni sistem, odnosno elektrolit druge vrste. Zemlju kao korozionu sredinu karakteriše više osobina:

- Razni oblici vezivanja vode sa česticama zemlje. Od načina vezivanja vode sa česticama zemlje zavise u znatnoj meri od elektrohemijske osobine zemlje.
- Heterogenost strukture zemlje. Fizičko-hemijska svojstva, a delom i elektrohemijska svojstva ne zavise samo od svojstva zemlje i njene vlažnosti, već i od strukture zemlje.
- Nepokretljivost zemlje prema površini metala koji korodira. Ove osobine utiču na tok elektrodnih procesa pri prelazu elektrohemijske korozije u elektrolitu u podzemnu elektrohemijsku koroziju.

Sa smanjenjem vlažnosti zemlje anodna polarizacija gvožđa raste. U kiselom zemljištu gvožđe se rastvara do fero jona. Pri uzajamnom delovanju fero jona i hidroksilnih jona u neutralnom ili baznom zemljištu obrazuje se ferohidroksid:



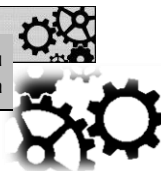
U prisustvu kiseonika obrazovani ferohidroksid se oksidiše u manje rastvoren ferohidroksid:



Korozija metala u zemlji sa utroškom kiseonika zavisi od brzine difuzije kiseonika prema metalu.

Iz atmosfere u zemlji do površine metala kiseonik dospeva kretanjem kroz gasnu i u manjoj meri kroz tečnu fazu zemlje u rastvorenom obliku. Kiseonik se prenosi do površine metala pri pojavi protoka gasne i tečne faze, konvekcijom mešanjem tečne i gasne faze i difuzijom u gasnoj i tečnoj fazi, prikazano na slici 35.





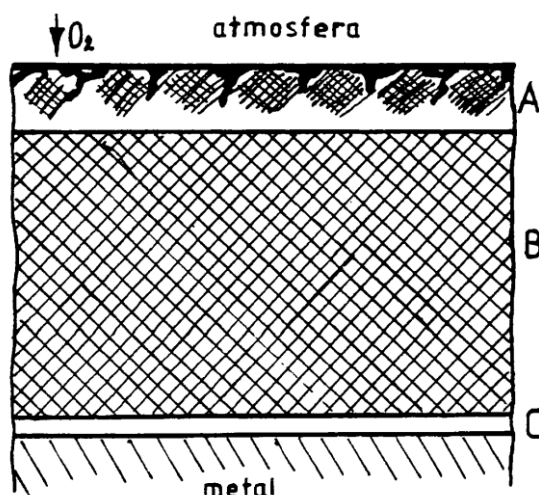
3.10 Podzemna korozija pod dejstvom lutajuće struje

Lutajuće struje su struje koje potiču od raznih električnih izvora, a protiču kroz zemlju i podzemne metalne konstrukcije. Pod dejstvom lutajuće struje, koja potiče od izvora jednosmerne struje, metali mogu jako da korodiraju, što nije slučaj ako lutajuća struja potiče od naizmjenične struje.

Principijelna šema korozije podzemnih cevi pod dejstvom lutajućih struja prikazana je na slici 36.

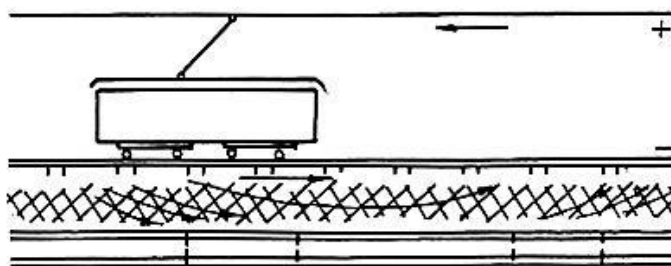
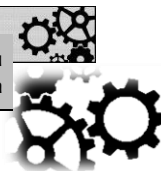
Na putu lutajuće struje po cevi razlikuju se tri oblasti:

- **Katodna oblast** cevi u kojoj ulazi lutajuća struja iz zemlje. U ovoj oblasti metal se obično ne rastvara.
- **Neutralna oblast** cevi u kojoj nema prelaza struje sa cevi u zemlju i obrnuto. U ovoj oblasti metal ne korodira.
- **Anodna oblast** cevi sa koje struja odlazi u zemlju pri čemu se metal rastvara. Korozija metala pod dejstvom lutajuće struje nastaje ne samo u zemlji malog specifičnog električnog otpora, već i u rastvorima elektrolita. Pri elektrolizi rastvora alkalnih hlorida nastaje korozija cevi i kupatila pri rasipanju struje usled loše izolacije električnih provodnika. Lutajuće struje mogu prouzrokovati koroziju armiranog betona, naročito ako beton sadrži hloride.



Slika 35: Mehanizam prenosa kiseonika u zemlji: A – zona konvencionalnog prenosa, B – zona prenosa difuzijom, C – zona prenosa kiseonika difuzijom kroz kompaktnu opnu





Slika 36: Korozija usled lutajuće struje

3.11 Korozija u morskoj vodi

Ovoj vrsti korozije podležu ne samo predmeti i objekti koji se nalaze u morskoj vodi, već i predmeti koje morska voda povremeno ili periodično kvasi. Pod dejstvom morske vode korodiraju i mnoge metalne konstrukcije na pristaništima i u primorskim krajevima (slika 37 i 42).

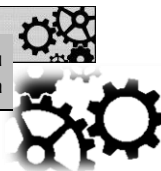
Morsku vodu kao agresivnu sredinu karakteriše znatan sadržaj soli. U morskoj vodi se nalaze i rastvoreni gasovi: azot, kiseonik, ugljendioksid, inertni gasovi, i drugi. Pored katjona (Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+) i anjona (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Br^- , F^-) u morskoj vodi se nalaze u manjim količinama i druge materije: azot, slobodan jod i brom (svi aktivatori korozije) i silikati (inhibitori korozije). Velika količina kiseonika rastvorenog u morskoj vodi vrednosti pH od 7,2 - 8,6 određuje karakter korozije većine konstrukcionih metala i legura u morskoj vodi.

Korozija metala u morskoj vodi teče potpuno po zakonima elektrohemijske korozije. U morskoj vodi metali se slabo pasiviraju zbog čega je brzina korozije znatna. Na brzinu korozije u morskoj vodi utiče geografski položaj mora, biološki faktori i brzina kretanja morske vode.

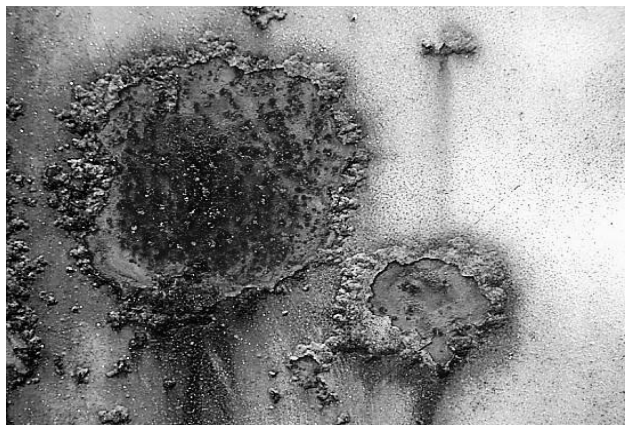
U morskoj vodi pri dodiru dva raznorodna metala intezivno korodira elektrohemijski negativniji metal. Elektrohemijski pozitivniji metal se katodno polarizuje i znatno manje korodira. Ova vrsta korozije poznata je pod imenom kontaktna korozija.

Brzina korozije metala je na onim površinama koje talasi periodično kvase, tri do pet puta veća od brzine korozije uronjenih metalnih površina. Ovo se objašnjava dolaskom do njih većih količina kiseonika kroz tanak sloj vlage i mehaničke snage talasa koji mogu skidati produkte korozije koji delimično štite od korozije. Korozija u morskoj vodi u zavisnosti od dubine prikazana je na slici 38. Korozija u morskoj vodi u zavisnosti

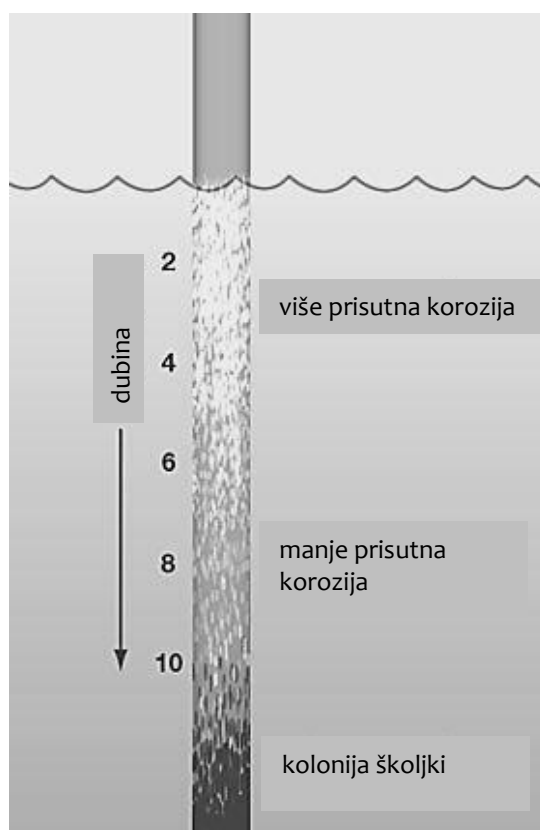




od temperature i koncentracije NaCl prikazana je na slici 39. Korozija u morskoj vodi u zavisnosti od pH vrednosti prikazana je na slici 40. Korozija u morskoj vodi u zavisnosti od potencijala i pH vrednosti prikazana je na slici 41.

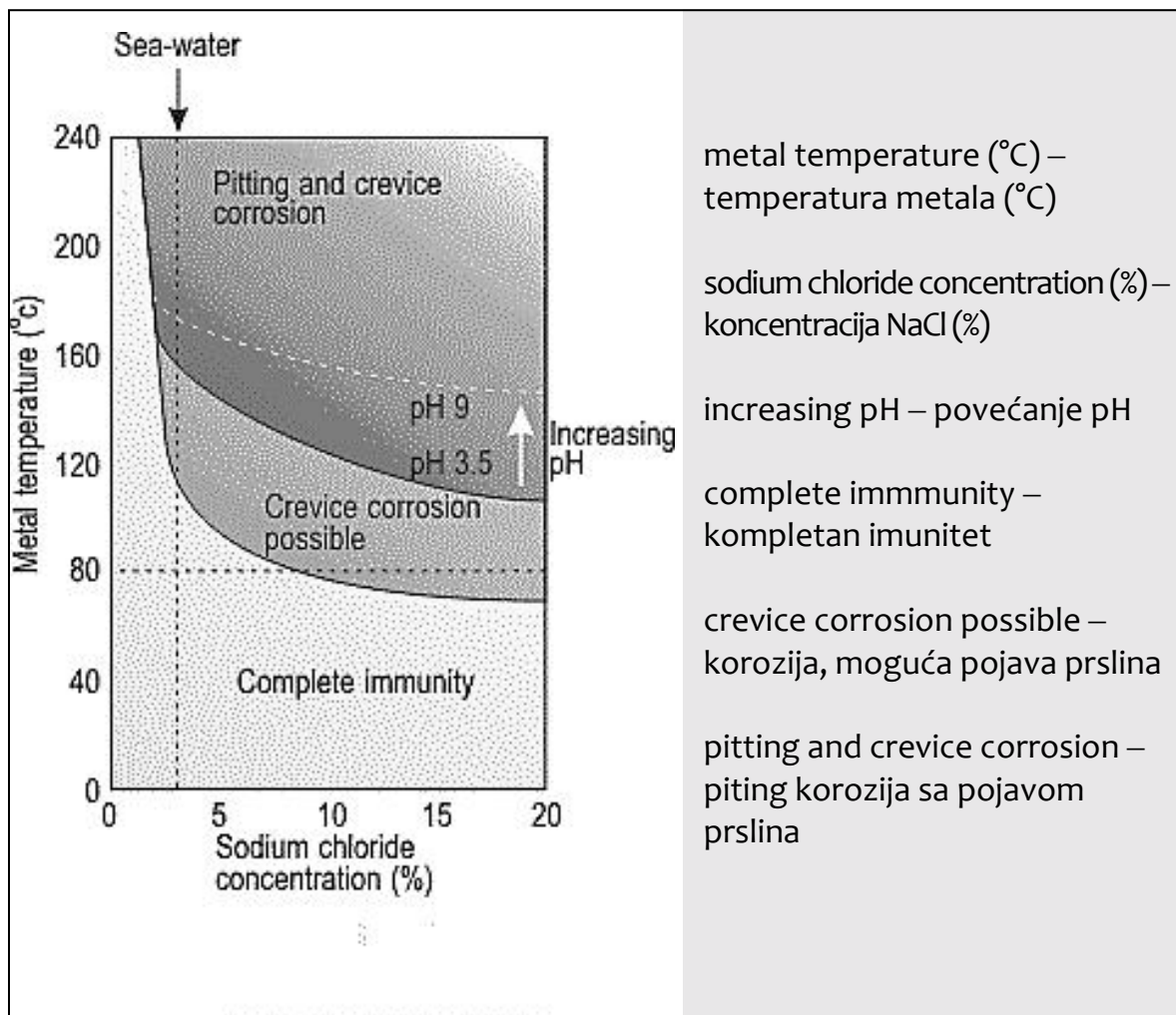
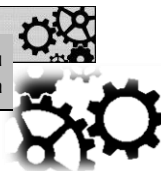


Slika 37: Korozija u morskoj vodi

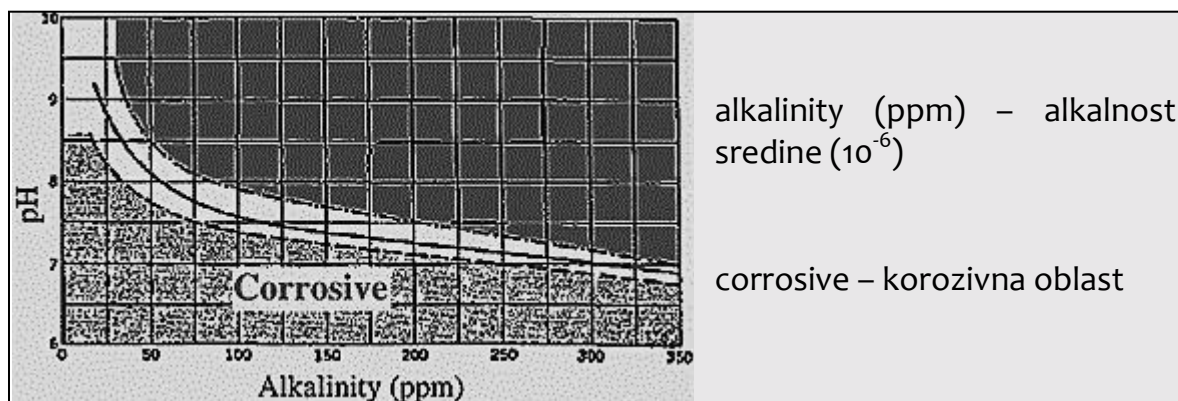


Slika 38: Korozija u morskoj vodi u zavisnosti od dubine



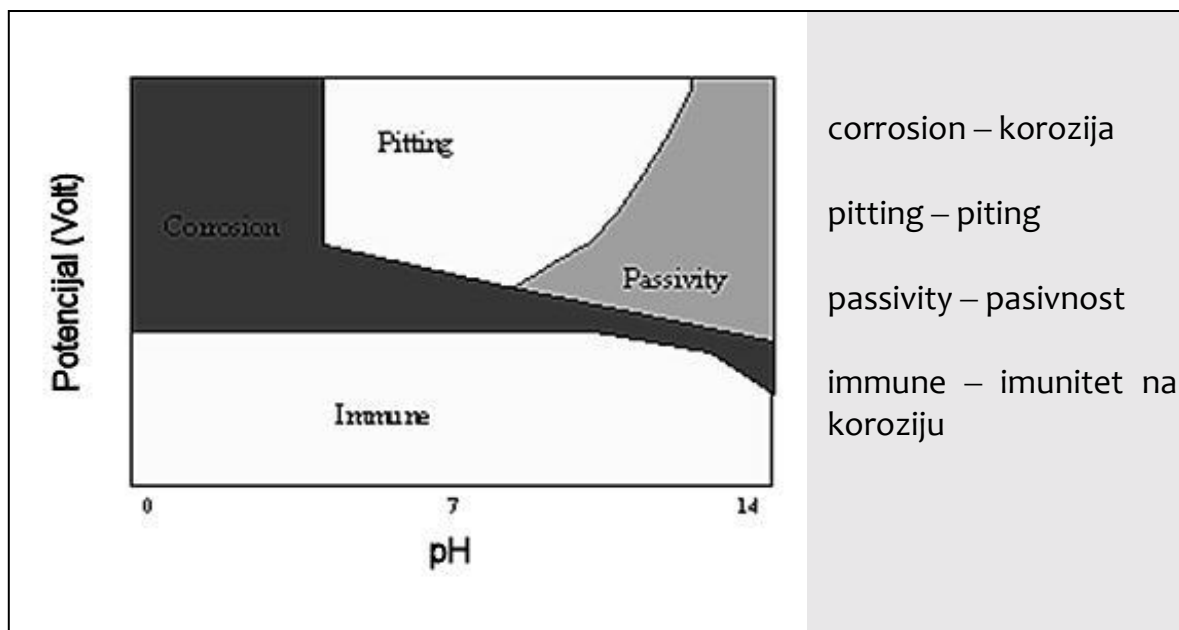
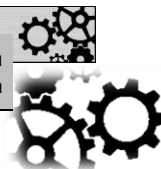


Slika 39: Korozija u morskoj vodi odnos temperatura/koncentracija NaCl



Slika 40: Korozija u morskoj vodi u zavisnosti od pH vrednosti



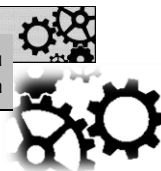


Slika 41: Korozija u morskoj vodi odnos potencijal/pH vrednost



Slika 42: Korozija broda u morskoj vodi





3.12 Piting korozija

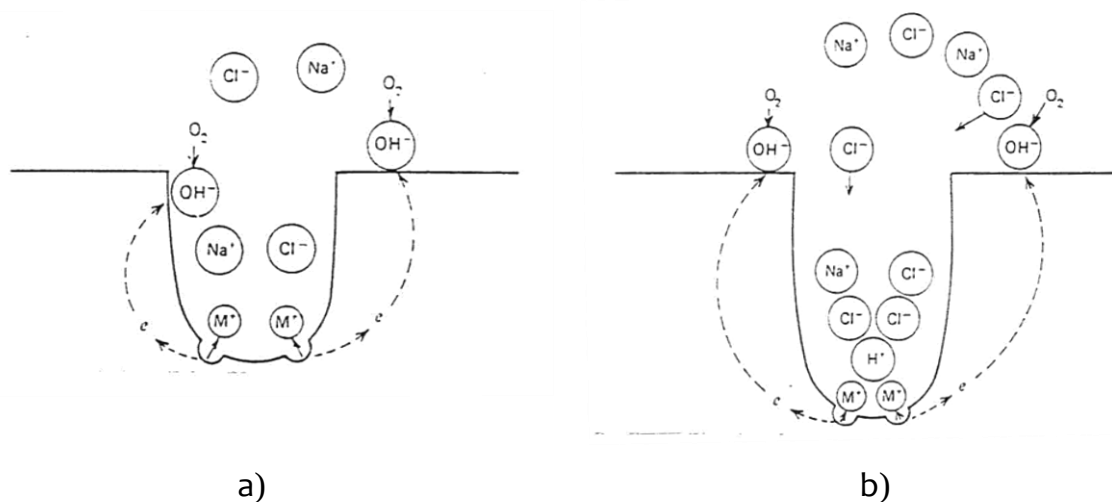
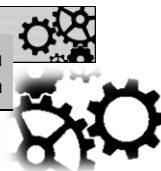
Piting je oblik lokalizovanog korozionog napada koji stvara rupice ili jamice u metalu. Ovaj oblik korozije je veoma razarajući za tehničke konstrukcije ako prouzrokuje potpuno probijanje rupica. Piting korozija zbog svoje lokalizovane prirode može često izazvati nagle, neočekivane lomove.

U većini eksploatacionih uslova piting može napredovati mesecima i godinama da bi nastalo bušenje metalnog preseka. Piting obično zahteva inicijalni period, ali čim započne, rupice se uvećavaju uvek rastućom brzinom. Uključci, druge strukturne nehomogenosti i heterogenost u sastavu na površini metala su obično mesta gde se iniciraju rupice. Razlike u koncentraciji jona i kiseonika stvaraju koncentracione spregove koji takođe doprinose stvaranju inicijalnih rupica. Piting se može javiti kod brojnih metala, ali najčešće se javlja kod nerđajućeg čelika i legura aluminijuma. Takodje se javlja i kod metala koji imaju zaštitnu prevlaku. Najčešće se javlja u rastvorima koji imaju vrednost pH bliskim neutralnim, a koji sadrže hloride, bromide.

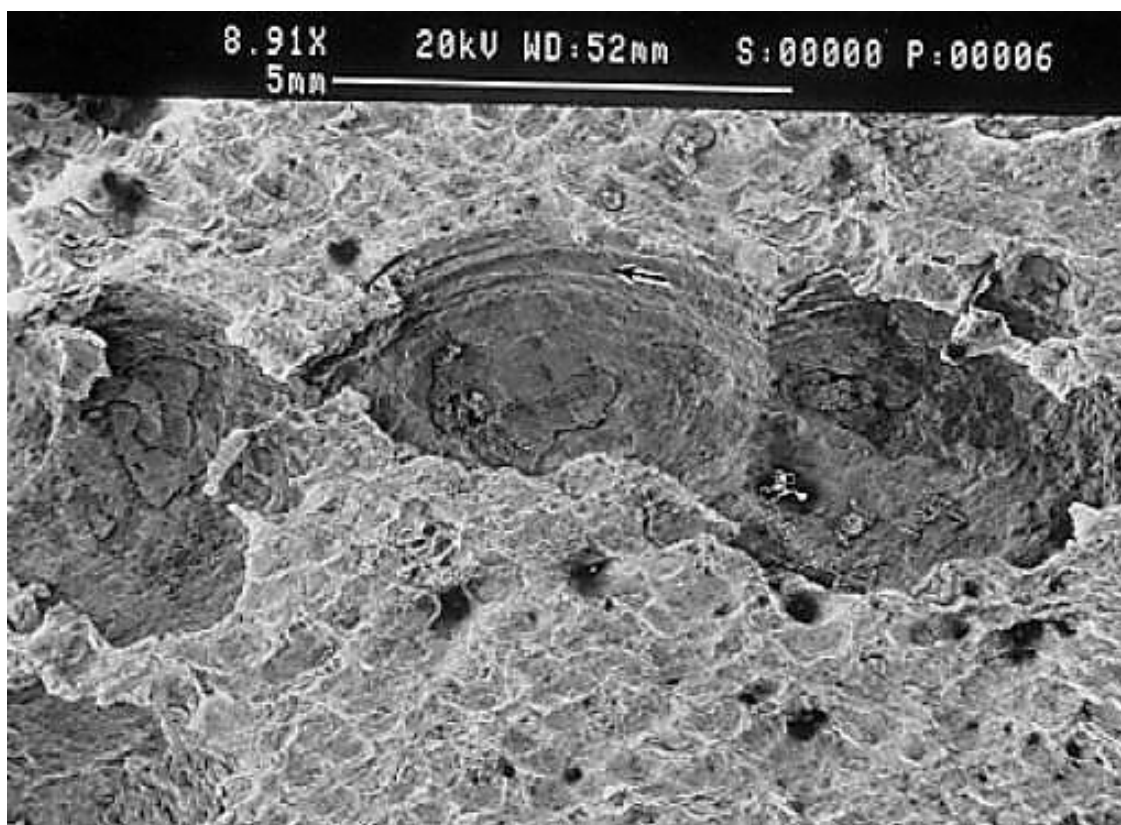
Razvoj pitinga se može podeliti na stepen inicijacije i stepen propagacije. Faktori koji utiču na stvaranje rupičastih mesta nisu najjasniji i donekle su kontraverzni. Čim se javi piting, na njegovu stabilnost može da utiče položaj susednih rupica i brzina. Mehanizam propagacije dosta zavisi od koncentracije proizvoda korozije unutar rupice.

Predložene su mnoge teorije koje objašnjavaju propagaciju rupica, ali najprihvatljivija je da je piting autokatalitički proces. U rupici se dešava rastvaranje metala, praćeno redukcijom kiseonika blizu otvora ili na površini metala (slika 43 a). Ovo prouzrokuje višak pozitivnog naelektrisanja (M^+) na osnovu rupice, dok se migracija hloridnog jona dešava da uspostavi ravnotežu (slika 43 b). Konačan efekat je povećanje koncentracije metalnog hlorida u rupici. Ove soli hidrolizuju, pa se povećava koncentracija vodonikovih jona (sniženje pH) unutar rupica, što povećava brzinu rastvaranja. Na elektronskom mikroskopu prikazan je piting cevi (slike 44 i 45). Primeri pitinga prikazani su na slikama 46 i 47, a odnos ravnomerne korozije i piting korozije je prikazan na slici 48.



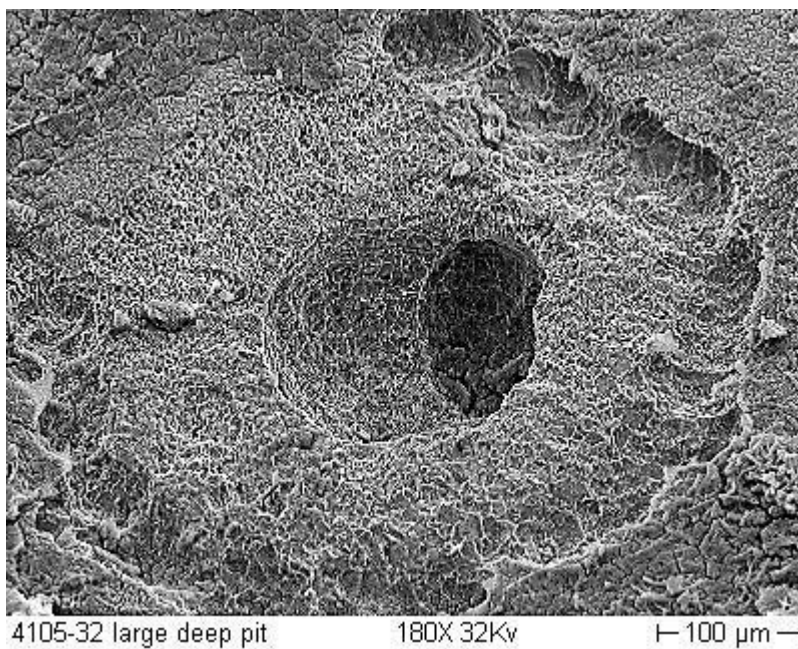
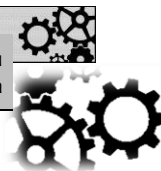


Slika 43: Piting korozija: a) inicijacija, b) rast korozionih rupica

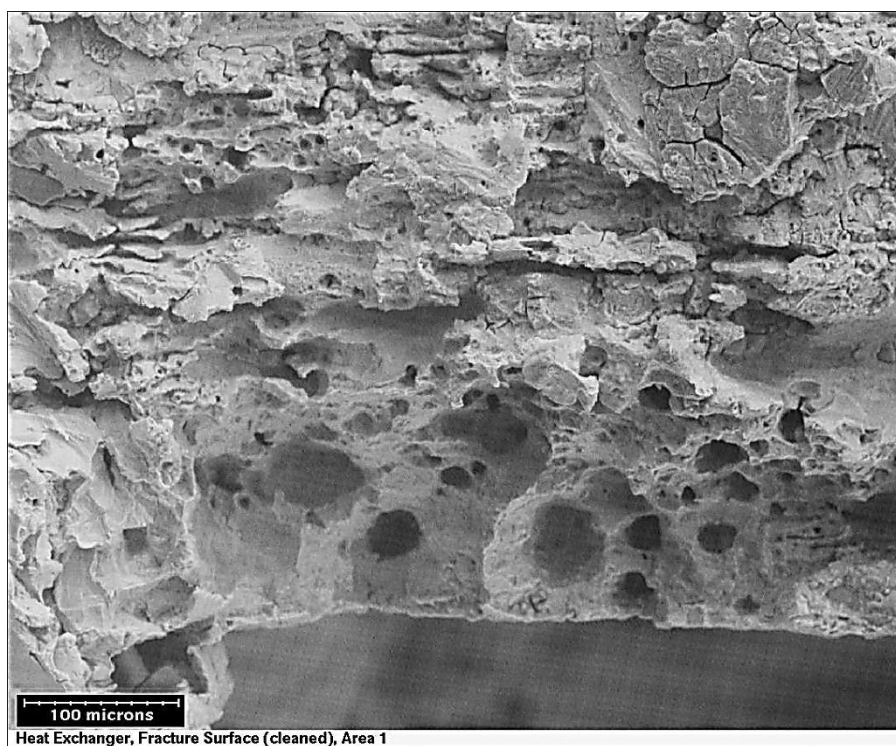


Slika 44: Korozija – piting cevi za gas na elektronskom mikroskopu (Carlsbad city, New Mexico US, 19 avgust 2000, 12 mrtvih, šteta 100,000,000 USD)





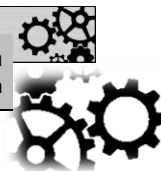
a)



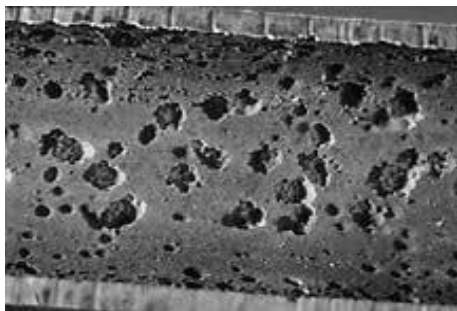
b)

Slika 45: Korozija – pitting cevi izmenjivača toplote na elektronskom mikroskopu:
a) prikaz udubljenja cevi izmenjivača toplote sa uvećanjem od 180 puta, b) prikaz
pitinga cevi izmenjivača toplote (površina loma)

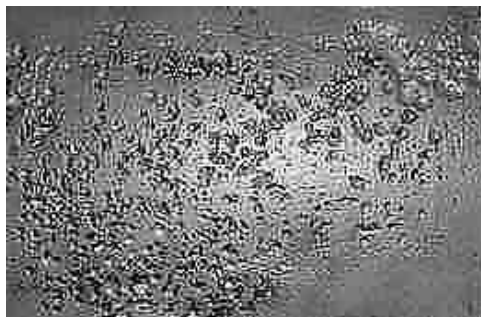




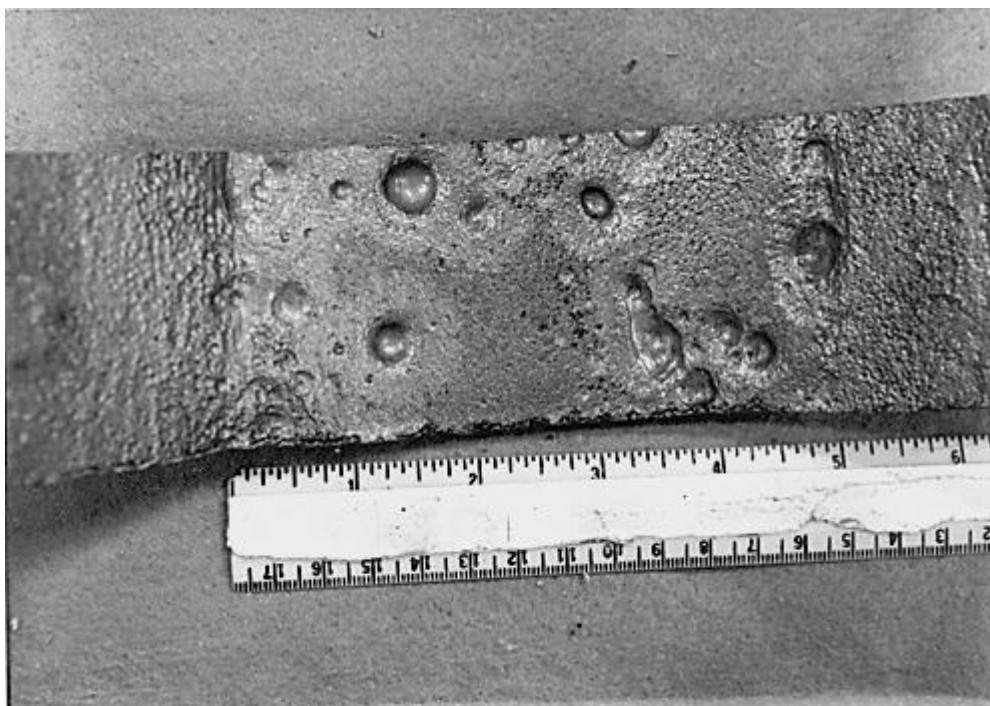
a)



b)



c)

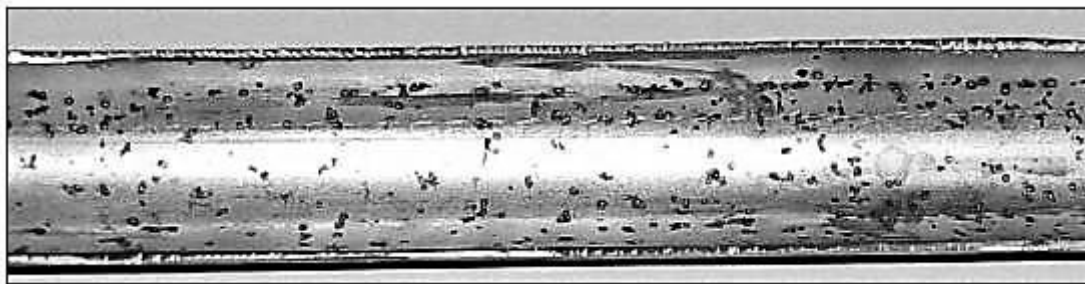
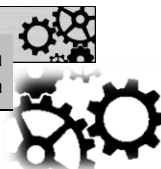


d)

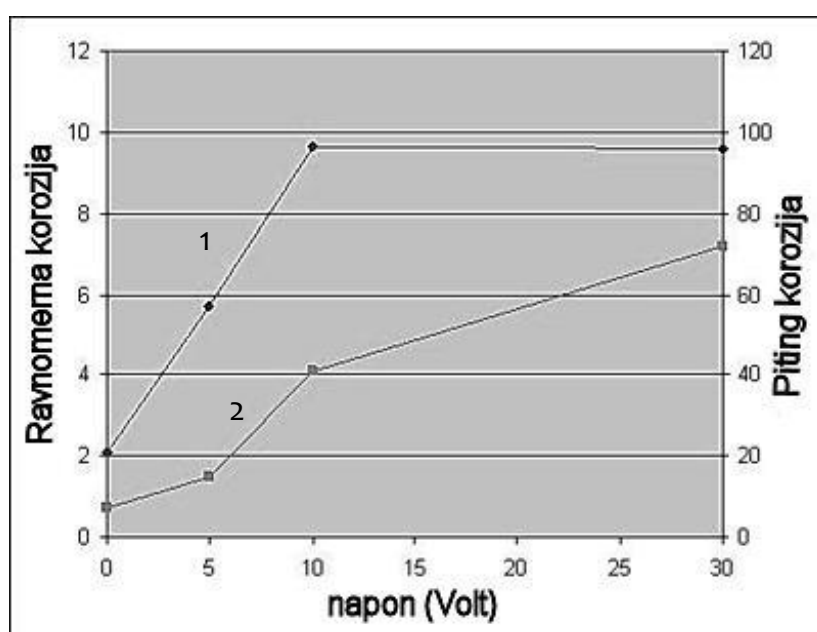


Slika 46: Korozija – piting: a) - d) primeri pitinga cevi





Slika 47: Korozija – piting cevi

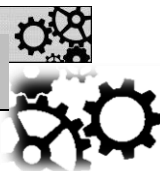


Slika 48: Odnos gubitka materijala usled ravnomerne korozije (kriva 1) i piting korozije (kriva 2) u eksperimentalnim uslovima pri naponu uzoraka do 30 volti [22]

3.13 Freting korozija

Freting korozija je vrsta habanja koja se javlja pri manjim oscilatornim pomeranjima jedne površine u odnosu na drugu u uslovima delovanja korozivnih sredina. Uslovi pri kojima se javlja ova vrsta korozije su: male amplitude pomeranja spregnutih elemenata (nekoliko desetina mikrometra) i otežanog odvođenja produkta habanja iz zone kontakta; male brzine relativnog pomeranja spregnutih





elemenata (nekoliko mm/s); prisustvo oksidacione spoljne sredine (na primer kiseonik) koji hemijskim reakcijama izaziva oksidaciju kontaktnih površina sa posledicama njihovog razaranja.

Razaranje kod fretting korozije ispoljava se u vidu iščupanih jamica ispunjenih kao po pravilu praškastim produktima habanja. Kao rezultat fretting korozije smanjuje se zamorna čvrstoća kontaktnih površina, 3 - 6 puta.

Mehanizam fretting korozije ima **tri stadijuma**:

I - stadijum: U ovom stadijumu dolazi do ojačanja kontaktnih površina i cikličnog tečenja površinskog sloja. Na delovima kontakta kod kojih je došlo do mesnog razaranja oksidnog sloja, intenzivno se razvijaju međumolekularne veze, što dovodi do stvaranja pohabanih čestica.

II - stadijum: U zoni kontakta se formira koroziono aktivna sredina koja predstavlja produkt habanja iz koje se apsorbuje kiseonik i vlaga. Uspostavlja se ravnoteža između brzine obrazovanja i udaljavanja iz kontakta pohabanih čestica.

Habanje u ovoj fazi je relativno malo. Prisutno je razaranje oksidnog sloja. U sledećem koraku dolazi do finog sitnjenja oksida i oni počinju da budu katalizatori - ubrzavajući apsorpciju kiseonika i vlage.

III - stadijum: U trećoj fazi razvija se razaranje materijala u dubini i brzina habanja se povećava nekoliko puta.

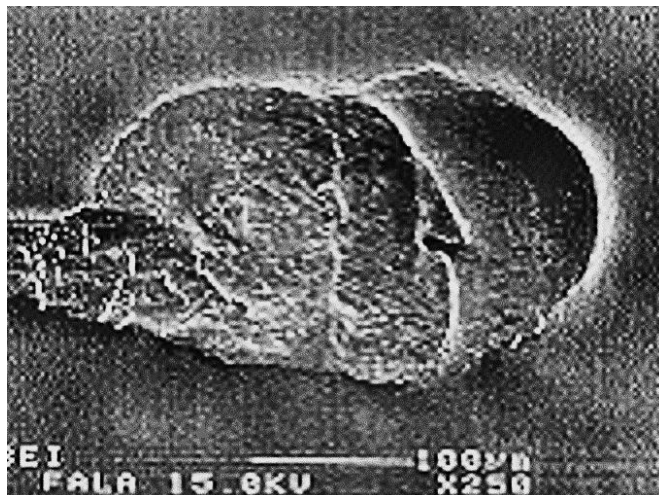
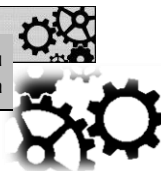
Fretting korozija kugličnog ležaja na elektronskom mikroskopu prikazana je na slici 49. Mehanizam fretting korozije prikazan je na slici 51, a primeri fretting korozije prikazani su na slikama 50, 52 i 53.

3.14 Erozivna korozija

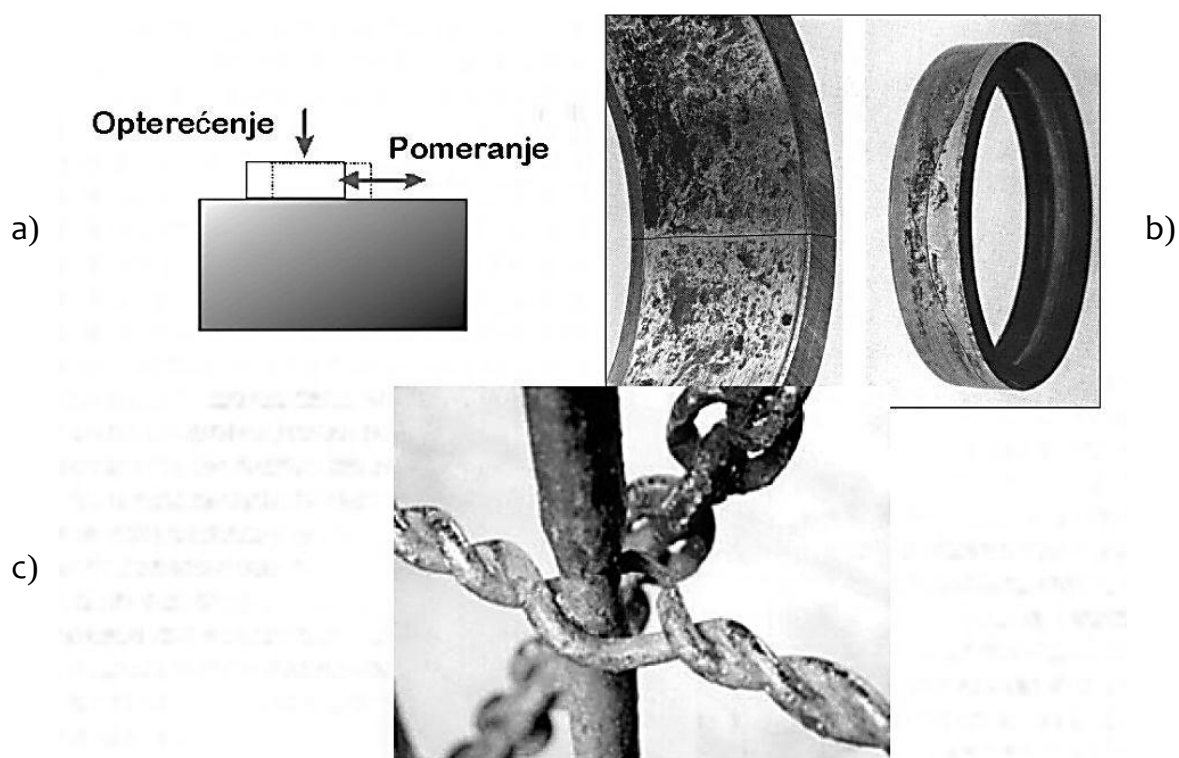
Erozivna korozija je posledica zajedničkog dejstva korozije i erozije. Pri erozivnoj koroziji nastaje povišenje brzine korozionog napada na metal usled relativnog kretanja korozionog fluida i površine metala. Erozivna korozija se karakteriše pojavom na površini metala - žlebova, udubljenja, rupica, jamica i drugih oblika oštećenja površine metala koji obično nastaju u smeru proticanja korozionog fluida.

Površina je obično izložena velikom gubitku težine, pa se javljaju mnoga jamasta, okrugla mesta. Celokupna pojava (slike 54 - 57) ostavlja vajarski utisak. Turbulencija može imati nepovoljan uticaj na zaštitni film. Erozivna korozija se javlja kada se prevaziđe Reynoldsov broj. Stepenn degradacije često zavisi od same legure. Gvožđe koje modifikuje Cu - Ni legure ima veliku otpornost prema turbulentiji. Bakar sa visokim sadržajem cinka i Al - Cu legure su manje rezistentne.



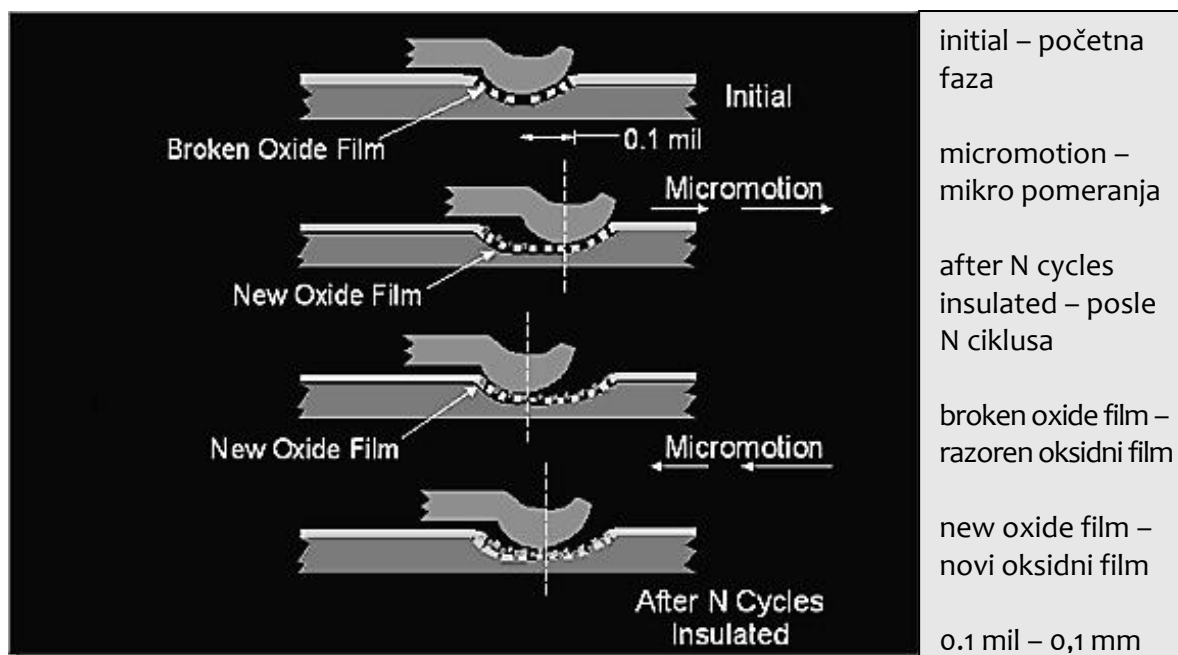
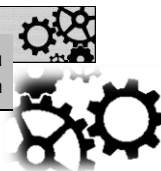


Slika 49: Freting korozija kugličnog ležaja na elektronskom mikroskopu



Slika 50: Freting korozija: a) šematski prikaz fretting korozije, b) fretting korozija kugličnog ležaja, c) fretting korozija lanca i užeta



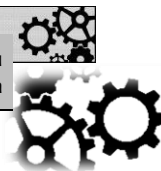


Slika 51: Mehanizam fretting korozije

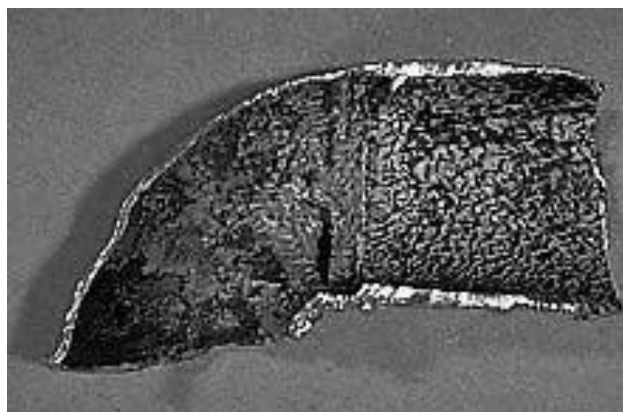


Slika 52: Fretting korozija kugličnog ležaja

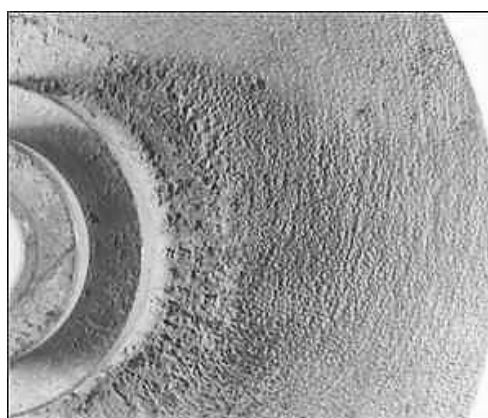




Slika 53: Fretting korozija osovine

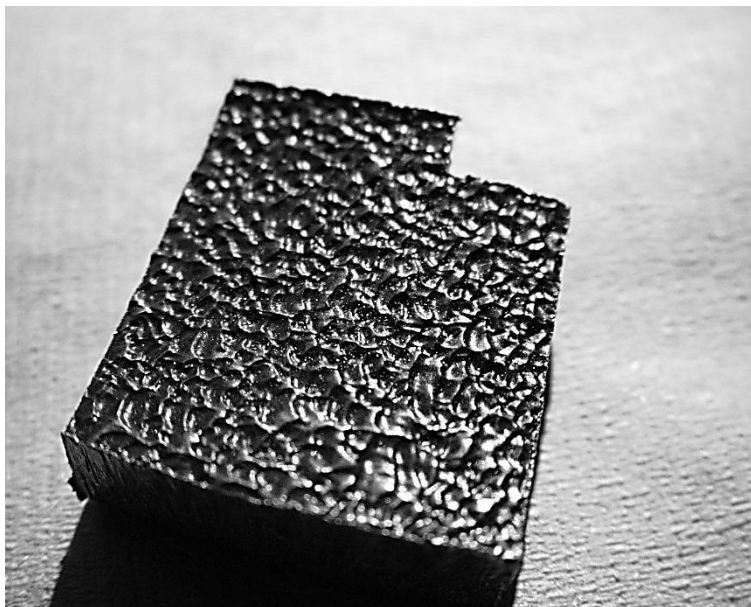
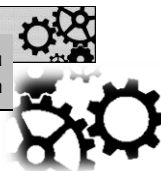


Slika 54: Erozivna korozija bakarne cevi

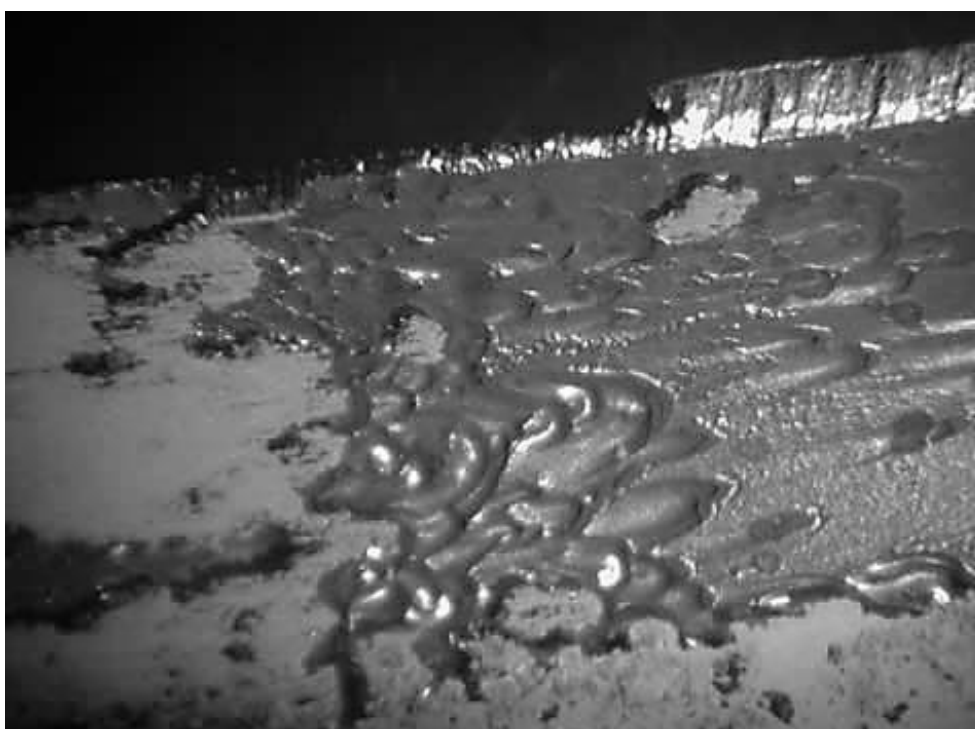


Slika 55: Erozivna korozija osovine



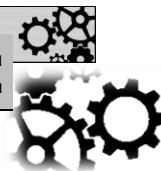


Slika 56: Erozivna korozija otsečenog dela materijala



Slika 57: Erozivna korozija brazde i udubljenja

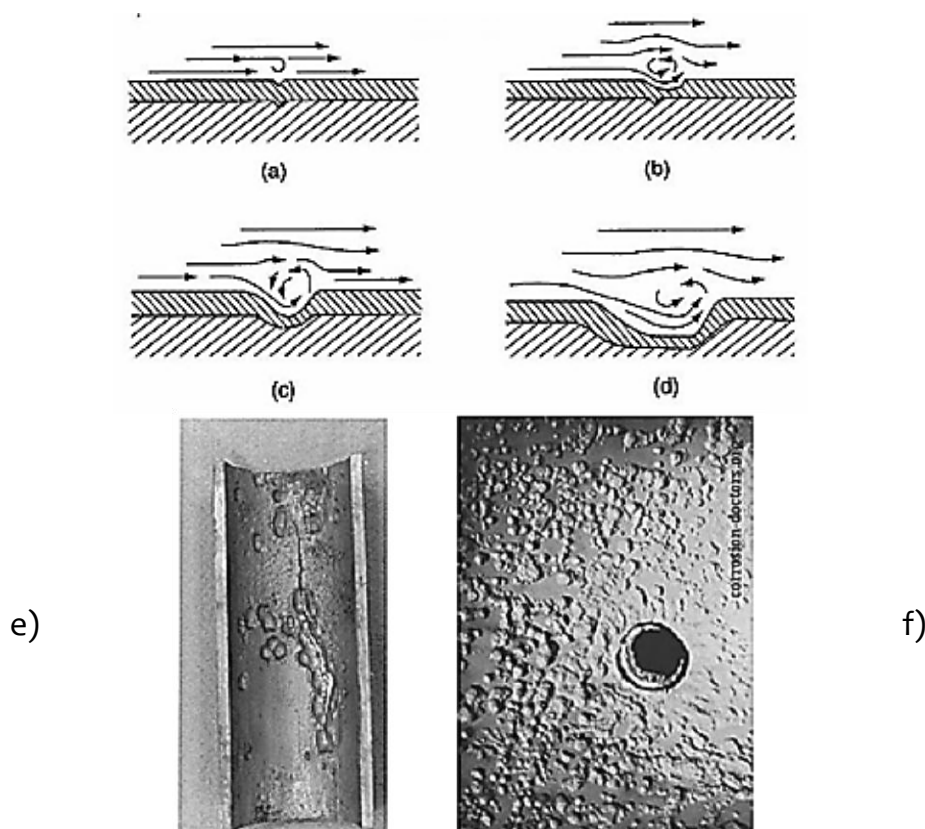




3.15 Kavitaciona korozija

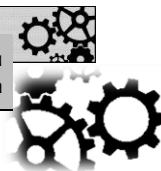
Kavitaciona korozija je posledica zajedničkog dejstva korozije i kavitacije. Ona predstavlja izdubljivanje metala obrazovanjem i propadanjem mehurića ili zazora ispunjenih parom u tečnosti i to u blizini površine metala. Uklanjajući metalne filmove i čupajući metalne čestice sa površine metala, kavitaciono oštećenje može povišiti brzinu korozije i prouzrokovati habanje površine.

Kavitaciono oštećenje površine podseća na piting, ali površina postaje zrnasto grublja i ima mnogo prslina na bliskom odstojanju. Kavitaciona korozija nastaje na površinama metala tamo gde nastaje promena protoka i pritiska tečnosti visoke brzine, kao što se to susreće kod pogonskih zupčanika, pumpi i brodskih propelera (slike 59 i 60). Šematski prikaz nastanka i primeri kavitacione korozije prikazani su na slici 58.



Slika 58: Kavitaciona korozija: a) početna faza kavitacione korozije, b) formiranje udubljenja na površini metala, c) i d) završne faze kavitacione korozije, e) i f) kavitaciona korozija cevi





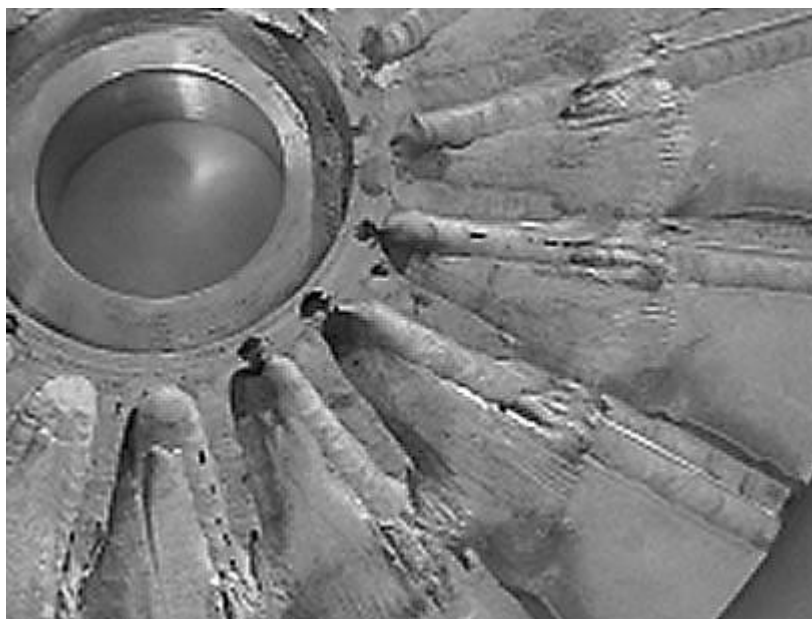
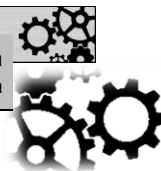
a)



b)

Slika 59: Kavitaciona korozija: a) kavitaciona korozija brodskog propelera manjeg stepena, b) kavitaciona korozija brodskog propelera većeg stepena [27]





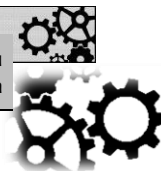
a)



b)

Slika 6o: Kavitaciona korozija: a) kavitaciona korozija radnog kola pumpe, b) kavitaciona korozija radnog kola pumpe većeg stepena

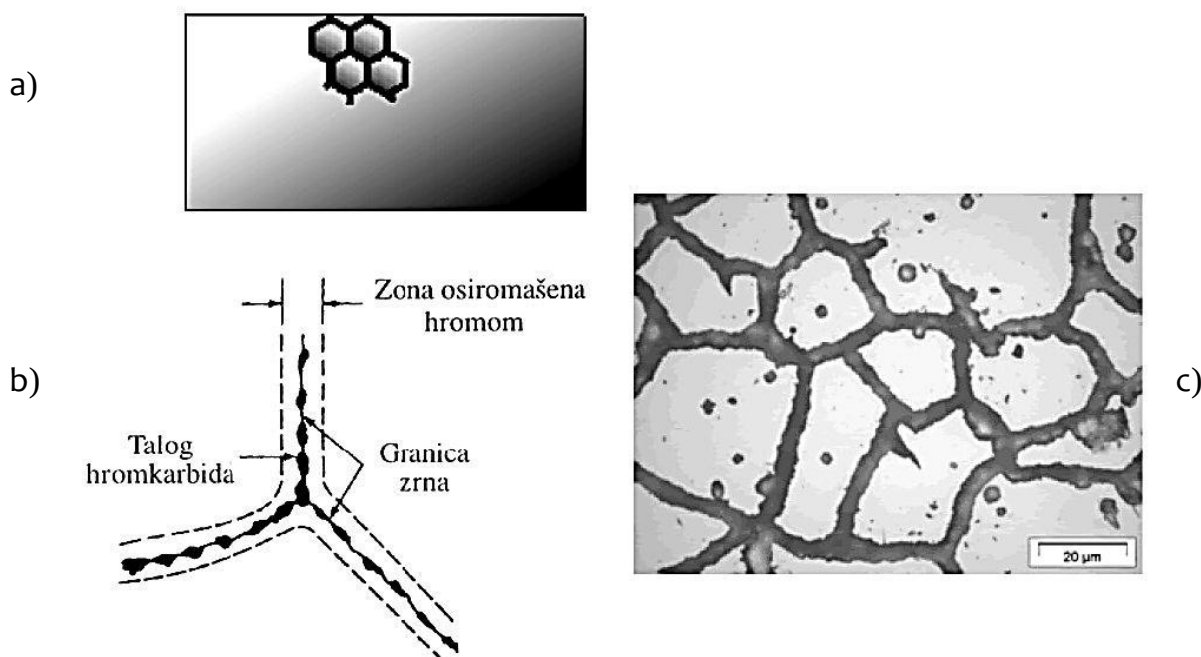




3.16 Interkristalna korozija

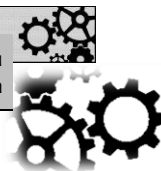
Međukristalna korozija nastaje zbog različite osjetljivosti granica zrna i samih zrna na korozioni medijum. Tipičan primer je austenitni nerđajući čelik, na čijim se granicama zrna, pri zagrevanju od 480-760°C, izlučuju karbidi hroma. Zbog toga granice zrna postaju anode, to jest rastvaraju se u elektrolitu. To se najčešće događa pri zavarivanju nerđajućih čelika u zoni oko šava. Šematski prikaz interkristalne korozije i taloženja hromkarbida na granici zrna austenitnog nerđajućeg čelika prikazano je na slici 61. Formiranje prsline po granici zrna austenitnog nerđajućeg čelika na elektronskom mikroskopu prikazano je na slici 62.

Kada se hrom karbidi istalože duž granica zrna u austenitnim nerđajućim čelicima, onda se za ove legure kaže da su u stanju povišene osjetljivosti. Kvalitet 304 (ASTM) je austenitni nerđajući čelik sa 18% Cr - 8% Ni i oko 0,06 do 0,08 ugljenika. Ako se ova legura dugotrajno zagreva u intervalu 500 - 800 °C, ona će preći u stanje povišene osjetljivosti i postaće sklona interkristalnoj koroziji.

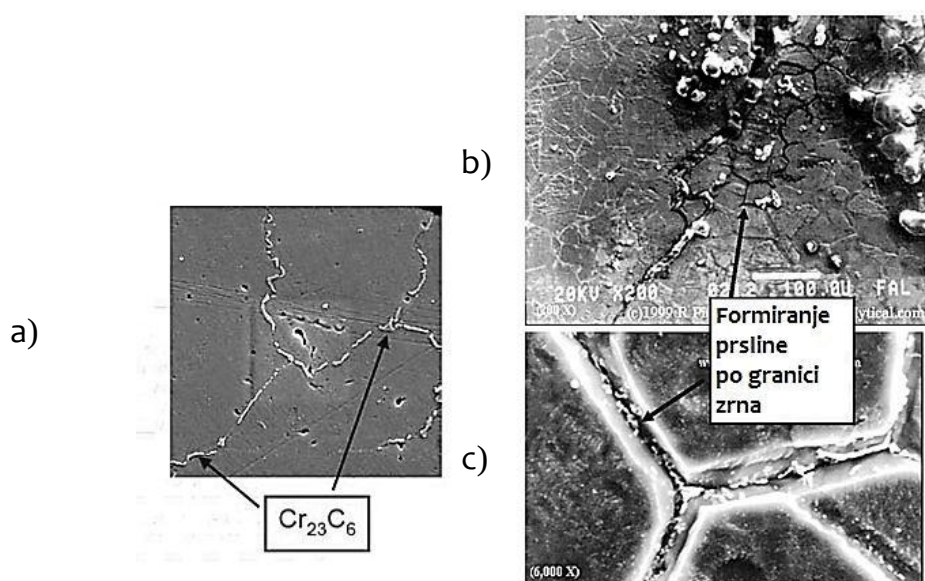


Slika 61: Interkristalna korozija čelika: a) šematski prikaz interkristalne korozije, b) šematski prikaz taloženja hromkarbida po granicama zrna, c) taloženje hromkarbida po granicama zrna austenitnog čelika na elektronskom mikroskopu





Kada se obrazuju hromkarbidi na granicama zrna, oni osiromašuju susedna područja granica zrna hromom, tako da se nivo hroma u ovim područjima snizi ispod nivoa hroma od 12% koji je potreban za pasivno ili "nerđajuće" ponašanje. Znači da ako se kvalitet 304 nerđajućeg čelika u stanju povišene osetljivosti izloži korozionoj sredini, susedna područja granice zrna biće jako napadnuta. Ova područja postaju anodna u odnosu na ostalo telo i zrna koje je katodna, čime se stvara galvanski spreg. Lom šavova izrađenih od ovih čelika naziva se raspadanje šava i karakteriše se zonom raspadanja šava koja je neznatno udaljena od središta linije šava.

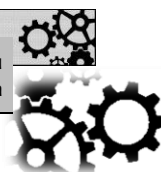


Slika 62: Formiranje prsline po granici zrna čelika na elektronskom mikroskopu: a) formiranje prsline austenitnog nerđajućeg čelika – uvećanje 50 puta, b) formiranje prsline austenitnog nerđajućeg čelika – uvećanje 200 puta, c) formiranje prsline austenitnog nerđajućeg čelika – uvećanje 6000 puta

3.17 Selektivna korozija

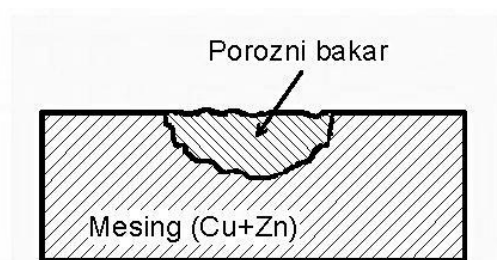
Selektivna korozija napada jednu fazu u dvofaznim legurama, ili samo jedan manje plemenit metal u jednofaznim legurama tipa čvrstog rastvora. Najpoznatiji primer selektivne korozije je gubitak cinka u mesingu sa više od 15% Zn. Selektivna korozija mesinga prikazana je na slici 63. Plemenitiji metal (Cu) ostaje nepromenjen, a korozioni



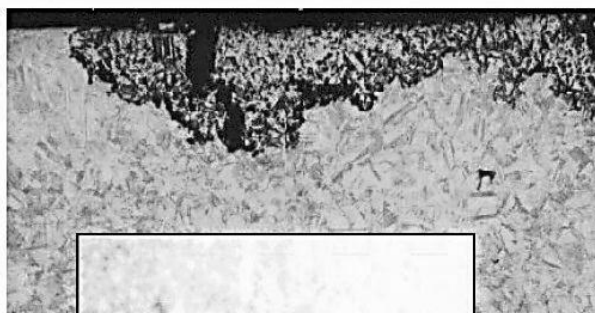


proces se odvija u galvanskom paru u kome je Cu katoda, a legura anoda. Pošto cink odlazi u elektrolit, u leguri ostaje "sundjerast" bakar znatno lošijih mehaničkih osobina. Sprečavanje gubitka cinka postiže se dodavanjem inhibitora: arsena, antimona ili fosfora u iznosu od nekoliko desetih delova procenta. Gubitak cinka nastaje i pri zavarivanju mesinga, što se sprečava primenom oksidišućeg acetilenskog plamena (sa viškom kiseonika).

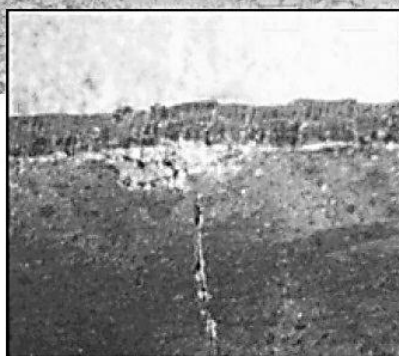
a)



b)



c)

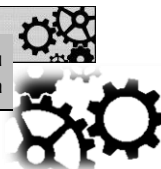


d)



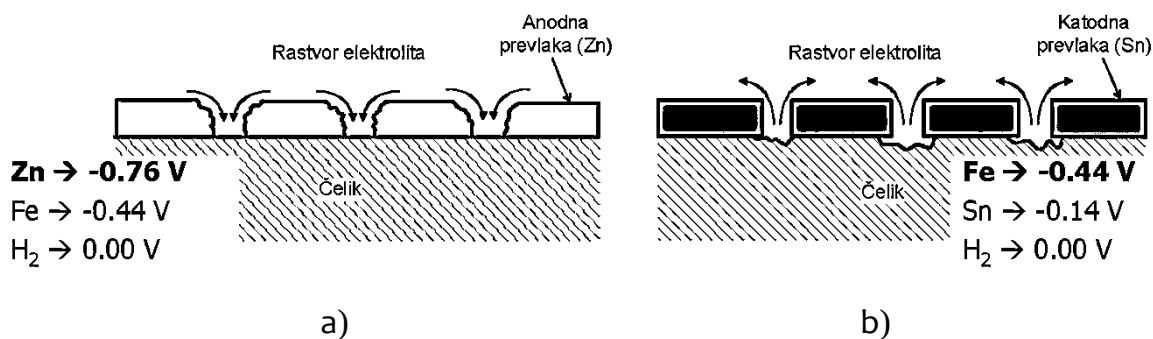
Slika 63 : Selektivna korozija mesinga: a) šematski prikaz selektivne korozije mesinga, b) - d) primeri selektivne korozije mesinga



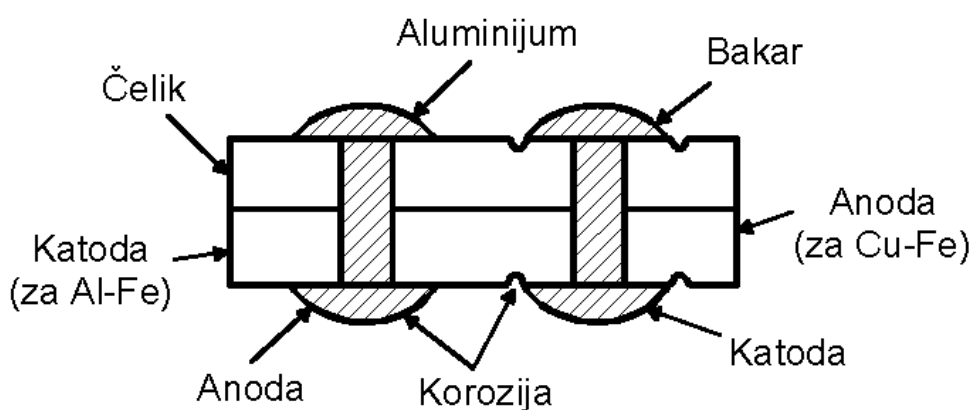


3.18 Galvanska korozija

Galvanska ili kontaktna korozija nastaje obrazovanjem odvojenih korozionih spregova, to jest određene oblasti se uvek ponašaju kao anoda, dok se druge oblasti ponašaju kao katoda. Šema proticanja struje kroz oštećenja sa cinkanim i kalajnim prevlakama prikazana je na slici 64. Uzrok galvanske korozije - nepravilna sprega različitih metala prikazan je na slici 65. Primeri galvanske korozije prikazani su na slici 66.

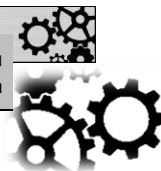


Slika 64: Šema proticanja struje kroz oštećenja: a) sa anodnim (cinkanim), b) katodnim (kalajnim) prevlakama



Slika 65: Nepravilna sprega različitih metala – uzrok galvanske korozije





a)



b)

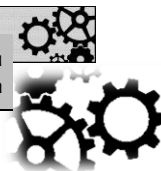


c)



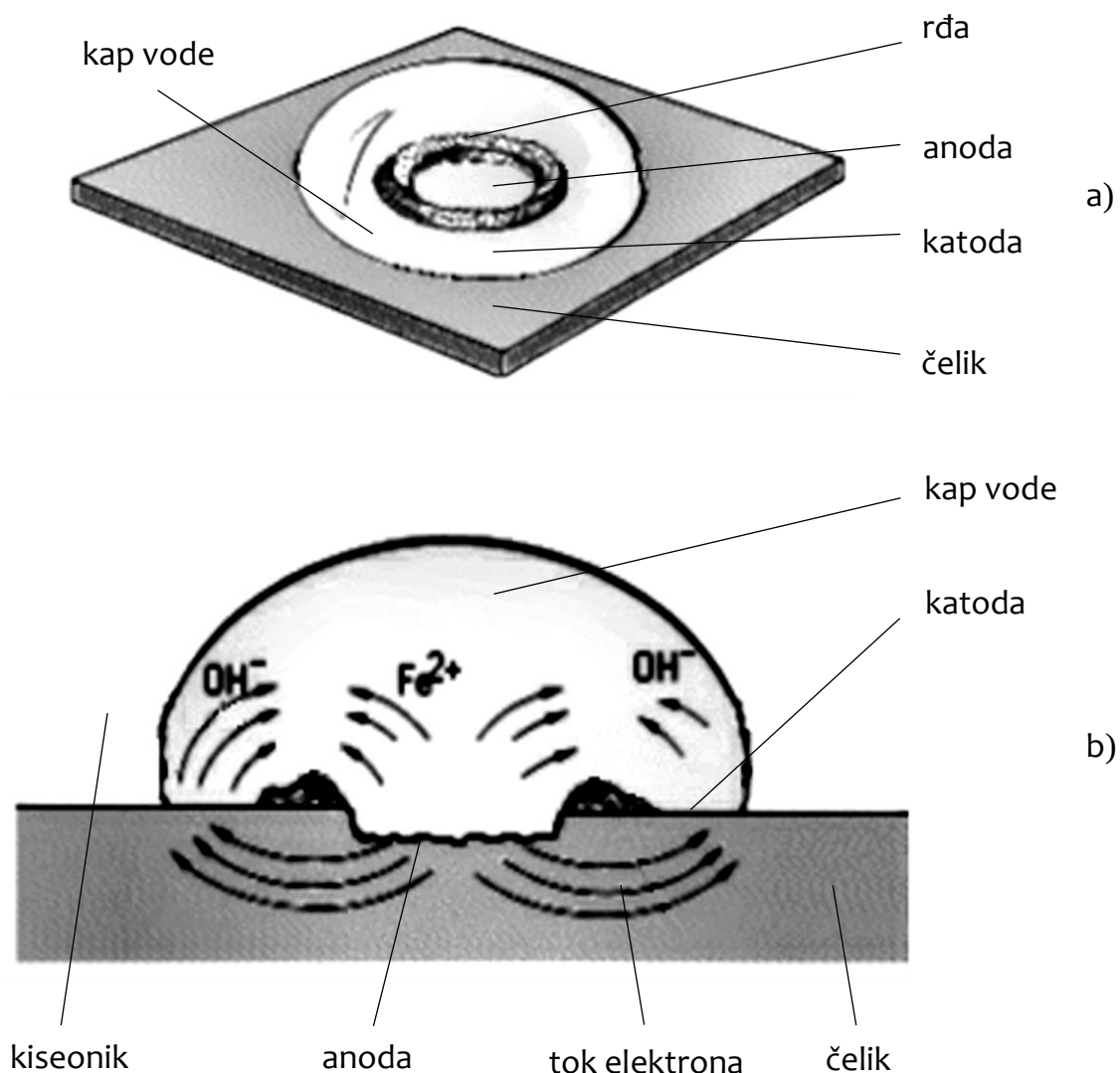
Slika 66: Primeri galvanske korozije: a) galvanska korozija nosećeg stuba u konstrukciji, b) galvanska korozija cevi, c) galvanska korozija stuba i ograde pored auto puta





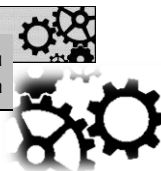
3.19 Tačkasta korozija

Tačkasta korozija nastaje aktiviranjem korozionog procesa ispod kapljice vode, gde je prisutna niska koncentracija kiseonika (anoda) i visoka koncentracija kiseonika van kapljice (katoda). Time je omogućeno kretanje elektrona i stvaranje korozionih produkata. Šematski prikaz tačkaste korozije prikazan je na slici 67.



Slika 67: Tačkasta korozija: a) prikaz kapi vode na čeliku u prostoru, b) presek kapi vode na čeliku i korozioni proces





3.20 Korozija u svemiru

U vakuumu svemira, gde nema ni kiseonika ni vode, ipak se dešava korozija metala i ostalih materijala. Umesto kiseonika i vode, faktori koji u svemiru prouzrokuju koroziju su vakuum, bombardovanje ultra-ljubičastom svetlošću Sunca, X-zraci i bombardovanje česticama veoma visoke energije (elektroni i protoni iz "Sunčevog vetra"). Ova pojava je utvrđena na delovima svemirskih letelica koje su provele duže vreme u svemiru (slika 68).

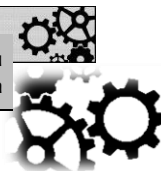
Već nakon povratka prvih satelita na Zemlju, utvrđeno je da su najviše korodirali njihovi pokretni delovi, posebno ležajevi. Zbog toga se danas svi pokretni delovi svemirskih letelica prevlače tankim slojem zlata, za koje je eksperimentalno utvrđeno da je uz platinu, najotporniji metal na svemirsku koroziju.

Pored metalnih materijala i plastični materijali korišćeni za delove svemirskih letelica su mnogo osetljiviji na koroziju u svemiru, nego na Zemlji, tako da neuporedivo brže korodiraju i gube svoju funkciju pod dejstvom faktora korozije u svemiru.



Slika 68: Korozija u svemiru: a) korozija zavrtnja i navrtke svemirskog broda, b) korozija dela stuba nosača solarnog panela svemirskog broda, c) korozija elemenata solarnog panela telekomunikacionog satelita [28]





4. ZAŠTITA OD KOROZIJE

4.1 Kontrola korozije i postupci zaštite materijala od korozije

Potpuna zaštita metala i legura od korozije skoro je nemoguća, ali izvesnemere se mogu preduzeti da se problem minimizira. To se postiže adekvatnim merama kontrole korozije (tabela 3).

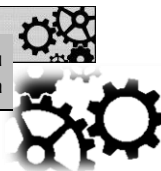
Kontrola korozije				
Izbor materijala:	Prevlake:	Projektovanje:	Katodna i anodna zaštita	Kontrola sredine:
Metalni Nemetalni	Metalne Neorganske Organske	Izbegavati prekomerne napone Izbegavati kontakt različitih metala Izbegavati zazore	Cink anode	Temperatura Brzina Kiseonik Koncentracija Inhibitori

Tabela 3: Kontrola korozije

Postupci koji se primenjuju pri zaštiti materijala od korozije dele se prema načinu izvođenja na:

- Postupke zaštite obradom korozione sredine koji se zasnivaju na smanjenju agresivnosti spoljne sredine primenom raznih inhibitora,
- Postupke zaštite prevlake organskog porekla (polimeri), neorganskog porekla (oksidi, fosfati, hromati) i prevlakama raznih metala (galvanske, metalizacije, vruće, difuzione i druge),
- Postupke oplemenjavanja materijala povećanja njegove otpornosti prema koroziji (legiranje),
- Postupke elektrohemijske zaštite koji se baziraju na katodnoj i anodnoj polarizaciji, a primenjuje se samo kod metala.





4.2 Inhibitori

Izvesne materije u rastvoru mogu pod određenim uslovima da smanje brzinu korozije metala. Takve materije se nazivaju **inhibitori**. Iz vodenih i drugih rastvora inhibitori se apsorbiraju na površini metala ili sa njim reaguju gradeći tanke prevlake koje štite metal od korozije. Delovanje inhibitora zavisi od njihove koncentracije u rastvoru. Pri malim ili vrlo velikim koncentracijama, inhibitori deluju čak štetno i ubrzavaju proces korozije.

Inhibitori se koriste u velikoj meri za zaštitu metala od korozije u rastvorima ograničene zapremine (hemijski aparati, kondezatori, parni kotlovi). Naročito veliku primenu inhibitori imaju pri nagrivanju metala u cilju uklanjanja same kovarine sa njihove površine. Krtost metala koji se javlja pri nagrivanju metala u kiselinama se smanjuje u prisustvu inhibitora. Dejstvo inhibitora se izražava pomoću zaštitnog efekta inhibitora (Z) koji predstavlja odnos brzina rastvaranja metala u rastvoru bez inhibitora i sa njima:

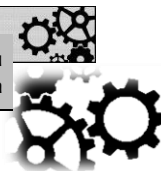
$$Z = \frac{S_0}{S}, \quad (4.1)$$

gde je: S_0 - brzina rastvaranja metala u rastvoru bez inhibitora; S - brzina rastvaranja metala sa inhibitorima.

Prema mehanizmu svog delovanja na proces elektrohemijske korozije metala inhibitori se dele na **anodne i katodne** inhibitore. Po svom sastavu inhibitori mogu biti **neorganskog i organskog** porekla. Po karakteru dejstva inhibitori se dele na **neisparljive i isparljive**. Prema vrednosti pH sredine u kojoj pokazuju svoje pozitivno dejstvo razlikuju se: **kiseli, alkalni** i inhibitori **za neutralnu sredinu**.

Efikasnost delovanja inhibitora zavisi od koncentracije inhibitora, temperature, brzine kretanja rastvora i drugih faktora. Zavisnost brzine korozije od koncentracije inhibitora ima oblik izoterme samo pri malim koncentracijama inhibitora u agresivnoj sredini. Pri većim koncentracijama inhibitora njihovo dejstvo slabi, a u izvesnim slučajevima čak dolazi i do povećanja brzine korozije pri većim koncentracijama inhibitora.





4.2.1 Mehanizam zaštitnog dejstva inhibitora

Apsorpciona teorija dejstva inhibitora je jedna od teorija kojom se objašnjava mehanizam dejstva inhibitora. Hakeman je sa saradnicima u cilju potvrde apsorpcione teorije mehanizma dejstva izveo niz oglada koristeći elektronsku difrakciju, [29].

Druga teorija o mehanizmu delovanja inhibitora poznata je pod imenom **teorija prenapetosti**. Prema ovoj teoriji inhibitora su materije koje povećavaju katodnu polarizaciju površine metala koji korodiraju. Po mišljenju autora ove teorije inhibitori pri apsorpciji na površini metala ne grade izolacioni sloj, već samo povećavaju prenapetost izdvajanja vodonika. Prema teoriji prenapetosti joni, molekuli ili koloidne čestice inhibitora blokiraju katodne delove površine metala i toliko povećavaju prenapetost izdvajanja vodonika da zbog toga redukcija vodonikovih jona može da teče vrlo sporo.

Zaštitno dejstvo inhibitora zavisi u velikoj meri od aktivnosti samih inhibitora. Različita aktivnost kod inhibitora sa jednakom molekulskom težinom, ali nejednakom strukturom uslovljava nejednaku apsorpciju inhibitora na površini metala, pa prema tome i različita izdvajanja vodonika.

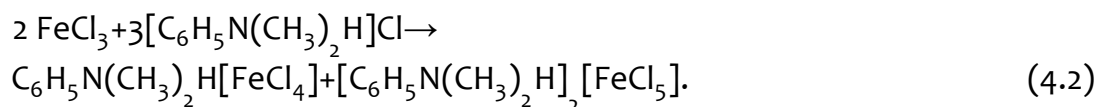
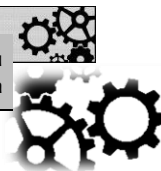
Zaštitno dejstvo inhibitora se uglavnom objašnjava preko hemijskih reakcija na površini metala (hemijske apsorpcije).

Pri delovanju većine organskih inhibitora u kiseloj sredini se sa jonima metala ili na površini metala obrazuju nerastvorna kompleksna jedinjenja.

Polazeći od pojave obrazovanja nerastvornih jedinjenja na površini metala u prisustvu inhibitora dolazi se do teorije opne kojom se objašnjava mehanizam delovanja inhibitora. Radi objašnjenja mehanizma dejstva inhibitora Brešer i Stouv su izveli eksperimente sa radioaktivnim natrijumbenzoatom (sa izotopom C^{14}) koji deluje kao inhibitor za niskougljenične čelike. Posle vađenja iz rastvora natrijumbenzoata uzorci čelika su dobro oprani vodom i metilalkoholom, a zatim sušeni. Radioaktivnost sušenih uzoraka ukazuje da je benzoat uključen u zaštitnu opnu. Ova zaštitna opna obrazuje se samo u rastvorima čiji je $pH > 5,5$, [30].

Gvožđe se sporo rastvara u sumpornoj kiselini u prisustvu dimetalanila kao inhibitora. Rastvaranje teče još sporije ukoliko rastvor sadrži halogenidne jone. Sporije rastvaranje gvožđa objašnjava se obrazovanjem površinskih kompleksnih jedinjenja u čiji sastav ulazi i dimetilanilin. U rastvoru ferihlorida i dimetilanilina teče reakcija:



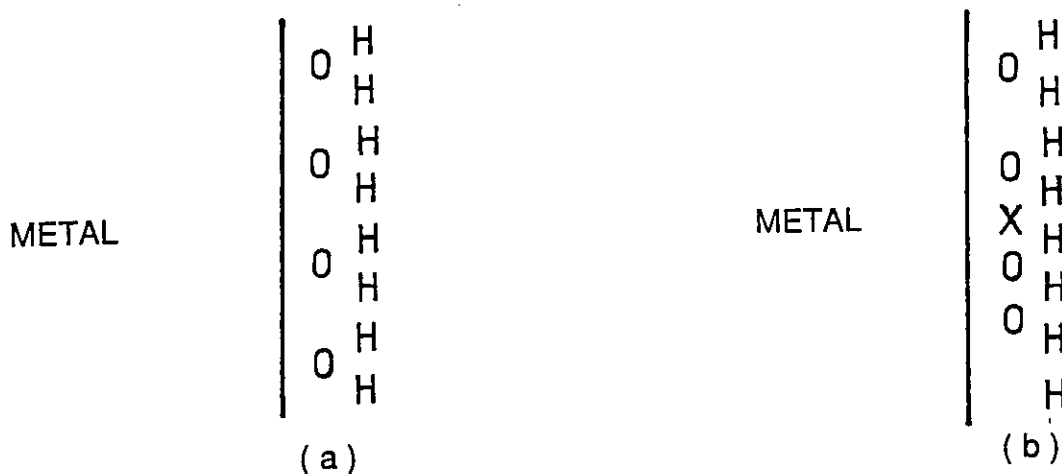
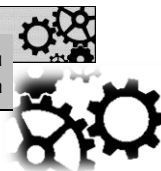


Pri ovoj reakciji nastaje ugljasta tečnost crvenomrke boje koja posle nekoliko časova kristališe u obliku prizme. Na ovoj reakciji zasniva se stvaranje opne na površini metala. Pri većim koncentracijama inhibitora redukcije između metala i inhibitora teču lakše i stvaraju se uslovi za obrazovanje faznih, a ne površinskih jedinjenja. Pod takvim uslovima reakcija teče intenzivnije i burnije uz utrošak veće količine metala nego u slučaju manje količine inhibitora kada reakcija teče samo na površini metala. U prisustvu efikasnijih inhibitora na površini metala se obrazuje zaštitna opna koja predstavlja produkt reakcije između inhibitora, metala i jona agresivne sredine.

4.2.2 Anodni inhibitori

Joni ili jedinjenja koja se lako apsorbuju na površini metala i grade sa metalom teško rastvorna jedinjenja, istiskujući sa površine metala jone i jedinjenja slabije apsorpcione i zaštitne sposobnosti, pasiviraju metal odnosno deluju kao anodni inhibitori. Broj anodnih inhibitora je relativno veliki: kiseonik, hromati, nitriti, bikarbonati, karbonati, fosfati, halogenidi i mnogi drugi deluju kao anodni inhibitori zavisno od spoljne sredine u kojoj se metali nalaze. Pri delovanju anodnih inhibitora na površini metala se obično obrazuje tanka opna koja štiti metal od korozije. Svojstvo i samo obrazovanje zaštitne opne na metalu zavisi od anjona, prisutnih u rastvoru. Obično se u prisustvu hlorida i rastvora ne obrazuje zaštitna opna. U prisustvu anjona koji sa metalima grade teško rastvorena jedinjenja obično se stvara zaštitna opna. Obrazovanje zaštitne opne u vodenim rastvorima objašnjava se kretanjem i elektrostatičkim privlačenjem naelektrisanih čestica. Svaki molekul vode sastoji se od pozitivno i negativno naelektrisane čestice. Ukoliko se pri kinetičkom kretanju nađe u anodnoj oblasti molekul vode će se pod dejstvom električnog polja sila orijentisati: tako da će kiseonik iz vode biti metalu bliže nego vodonik. Pri svom kretanju u elektrolitu molekuli vode se u blizini anodnih delova orijentišu i usmeravaju (slika 69 a).





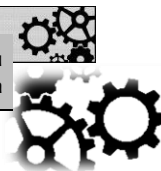
Slika 69: Kretanje molekula vode i njihovo usmeravanje: a) orijentacija i usmeravanje molekula vode – kiseonik bliži metalu, b) pojavljivanje složenog anjona u anodnom sloju

Orijentisanje i usmeravanje po ovoj šemi javlja se u jako razblaženim rastvorima. Pri ma kojoj koncentraciji anjoni se kreću prema anodi i istiskuju nenaelektrisane molekule vode iz anodnog spoja. Ukoliko je anjon prost (npr. Cl^- jon) molekul vode biva lako istisnut. U prisustvu složenog anjona: OH^- ili SO_4^{2-} i CrO_4^{2-} jona u anodnom sloju se pojavljuje i složen anjon X (slika 69 b). Ma koji složeni anjon X, pošto dospe do anodnih delova metala, ne može se kretati dalje. Prenos električne struje se pri tome može ostvariti preko površine metala uz pomoć njegovih katjona koji se kreće nasuprot anjona.

U procesu prenošenja elektriciteta javljaju se dve mogućnosti:

- Metal može preći u rastvor u obliku hidratiranih katjona uz obrazovanje rastvorne soli.
- Katjoni metala mogu da se smeste između atoma kiseonika u anodnom sloju istiskajući iz molekula vode odgovarajuću količinu jona vodonika. Pri ovoj razmeni može doći do nove orijentacije naelektrisanih čestica, ali oksid ostaje na metalu. Pošto se obrazuje sloj oksida ili hidroksida, molekuli vode se spajaju sa njim gradeći drugi sloj oksida ili hidroksida. Ovaj proces se ponavlja do obrazovanja opne tolike debljine da je dovoljna da spreči kretanje katjona prema spoljnoj sredini.





4.2.3 Katodni inhibitori

Materije koje redukuju kiseonik, vodonikov jon i druga oksidaciona sredstva, smanjuju površinu katodnih uključaka ili povećavaju prenapetost katode pri redukciji zovu se **katodni inhibitori**. Od katodnih inhibitora su poznati: natrijumsulfat, hidrazin, kalcijum bikarbonat, cinksulfat i drugi. Efikasnost dejstva katodnih inhibitora se ocenjuje prema njihovoj sposobnosti da polarizuju katode odnosno da učine potencijal katode što negativnijim. Mada su manje efikasni od anodnih inhibitora, katodni inhibitori su pri ma kojoj koncentraciji bezopasni po metale.

4.2.4 Organski inhibitori

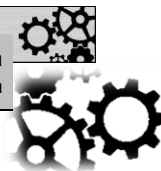
Kao katodni i anodni inhibitori u neutralnim i alkalnim rastvorima uglavnom se upotrebljavaju neorganske materije. Ovi inhibitori obično ne mogu da suzbiju koroziju metala u kiselim rastvorima uz izdvajanje vodonika. Korozija metala u kiselim rastvorima se obično sprečava odnosno smanjuje pomoću inhibitora organskog porekla. Grupi organskih inhibitora pripadaju razni organski kaloidi, površinski aktivne materije i druga organska jedinjenja. Među organskim inhibitorima naročito su efikasni **amini, aldehidi, ketoni, fenoli, alkaloidi** i druga jedinjenja pomoću kojih se metali mogu u znatnoj meri zaštititi od korozije u kiselim rastvorima.

Prema teoriji opne, efikasno deluju samo oni inhibitori koji obrazuju površinska kompleksna jedinjenja sa metalom koji se zaštićuje. Organski inhibitori našli su veliku primenu pri nagrizanju metala u kiselinama pri čemu se metal neznatno rastvara. Izvesni organski inhibitori istovremeno smanjuju krtost metala koja nastaju zbog difuzije obrazovanog vodonika u metal.

4.2.5 Inhibitori atmosferske korozije

Prema karakteru svog dejstva i svojih osobina inhibitori atmosferske korozije dele se na **neisparljive i isparljive**.





Neisparljivi inhibitori se nanose na površinu metala i materijala za pakovanje (hartija, kartona i drugih materijala).

Isparljivi inhibitori koji mogu da štite metal od korozije nalaze se u gasnoj ili parnoj fazi. Ovi inhibitori imaju veliki napon pare, brzo se šire u atmosferi i apsorbuju na metalnim površinama štiteći ih od atmosferske korozije. Primenom isparljivih inhibitora smanjuje se hidroskopsnost metalnih površina. Upotreba isparljivih inhibitora je rentabilna u zatvorenim prostorijama. Osnovni nedostatak isparljivih inhibitora je njihovo relativno kratko vreme delovanja.

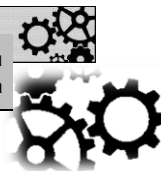
4.3 Neorganske zaštitne prevlake

Ovde spadaju i razne metalne prevlake koje se galvanskim putevima ili drugim postupcima nanose na površinu metala u zaštitne ili dekorativne svrhe. U ovu grupu spadaju: **oksidne, fosfatne i hromatske prevlake** kao najčešće korišćene, zatim **nitridne, karbidne i sulfidne** koje imaju daleko manji značaj i primenu. Neorganske zaštitne prevlake predstavljaju opnu ili sloj odgovarajućeg hemijskog jedinjenja na površini metala. Razlikujemo tri osnovna postupka za formiranje hemijskih prevlaka: **termički, hemijski i elektrohemijski**. U zavisnosti od vrste osnovnog metala i željenih osobina prevlake (debljina, poroznost, boja i slično) vrši se izbor najpogodnijeg odgovarajućeg postupka.

Za nastajanje i formiranje ispravnih hemijskih prevlaka neophodno je obezbediti određene uslove da bi se tehnološki proces mogao nesmetano odvijati u željenom pravcu. Postoji nekoliko osnovnih činilaca o kojima se mora voditi računa u tehnologiji hemijskih prevlaka.

Osnovni metal treba da ima potpuno čistu površinu da bi se na njoj formirala hemijska prevlaka optimalnih osobina. Pod čistim površinama podrazumeva se odsustvo produkata korozije, masti, otisaka korozije i slično. Sem toga na površini metala ne sme biti pora, uključaka i drugih primesa. U parama može da zaostane reagens, pa da kasnije u izmenjenim uslovima izazove koroziju. Samo homogena i čista površina osnovnog metala može ravnomerno da stupi u dodir sa reagensom i da ujednačeno reaguje s njim, što je bitan uslov za dobru hemijsku prevlaku. Termičke i mehaničke osobine površine takođe moraju biti ujednačene. Priprema metalne površine predstavlja veoma važnu operaciju u tehnologiji hemijskih prevlaka. Danas se smatra da se metalna površina najbolje priprema peskarenjem pomoću suvog kvarcnog peska.





Svi ostaci maziva, emulzija za obradu metala ili hlađenja, ulja za međuoperacijsku zaštitu, otisci prstiju moraju se potpuno ukloniti sa površine metala da ne bi kasnije došlo do pojave lokalnih grešaka u prevlaci. To se postiže odmašćivanjem i pranjem. Odmašćivanje i pranje se vrši sa organskim rastvaračima u tečnom ili parnom stanju, alkalnim sredstvima, a u zadnje vreme više se koristi elektrolitičko odmašćivanje.

Hemijski postupci sa vodenim rastvorima u principu se izvodi na dva načina: potapanjem i prskanjem. Potapanjem se vrši u kadama raznog oblika koje sadrže odgovarajući rastvor reagensa. Za velike komade kao što su delovi karoserija za automobile i slično, potapanje ne dolazi u obzir zbog velikih investicija, pa se na njihovim površinama formira prevlaka prskanjem određenim rastvorima pomoću komprimovanog vazduha i specijalnih pištolja.

4.3.1 Oksidne prevlake

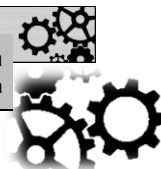
Opna kao proizvod korozionog procesa umanjuje dalje koroziono delovanje spoljnih činilaca time što pasivira površinu metala i izoluje ga od spoljašnjih uticaja. Ovako nastala opna je tanka, porozna, nehomogena i nije u stanju da obezbedi efikasnu zaštitu od korozije, pa se pribegava formiranju kvalitetnijeg oksidnog sloja veštačkim putem. Najčešće primenjivani postupci za nanošenje oksidnih prevlaka su: **hemijski** (iz rastvora pomoću oksidacionih sredstava) i **elektrohemijski** (anodnom oksidacijom).

Hemijske prevlake na aluminijumu dobijaju se uglavnom potapanjem u vodeni rastvore blago nagrizajućeg reagensa kome je dodato neko oksidaciono sredstvo.

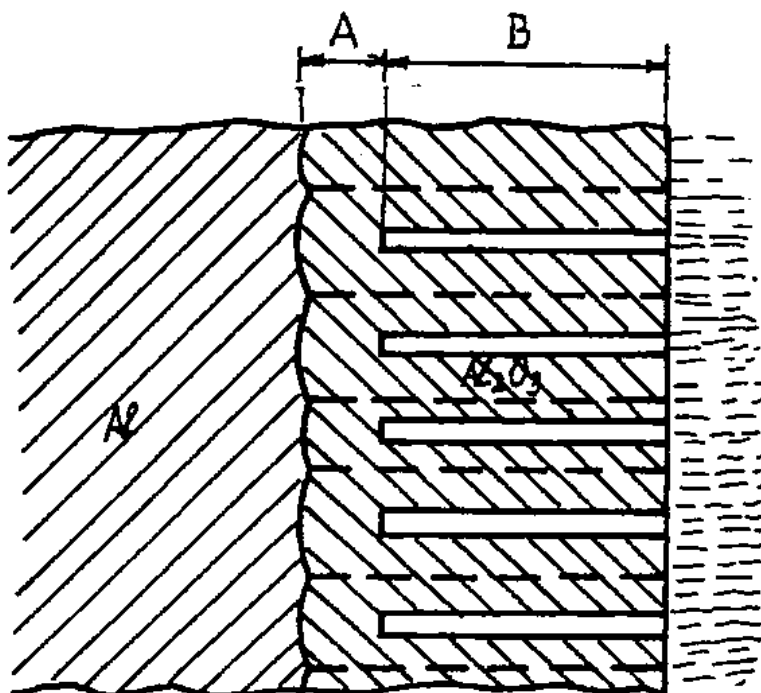
Elektrohemijske prevlake dobijaju se anodnom oksidacijom aluminijuma u rastvorima sumporne, oksalne ili hromne kiseline. Za rastvore sa sumpornom i oksalnom kiselinom koriste se i jednosmerne i naizmenične struje, dok se kod hromne kiseline radi samo sa jednosmernom strujom. Kupatilo sa sumpornom kiselinom prvi put je uvedeno u SAD. Danas se najviše upotrebljava "Eloxal GS" koji radi sa koncentracijom od iznad 10 % sumporne kiseline, jednosmernom strujom od 1 - 1,5 A/dm² pod naponom od 10 - 15 V i na temperaturi od 18 - 22° C. Na anodi se razvija znatna količina toplote. Katode su ili same obloge ili limovi od olova i aluminijuma, [31].

Vreme trajanja procesa za normalnu zaštitu od korozije obično iznosi 30 - 45 minuta, za strožije zahteve do 60 i više minuta, a za jeftinije masovne artikle 10-20 minuta. Debljina oksidne prevlake može biti najviše 45 µm i ne zavisi samo od temperature i vremena oksidacije, već i od sastava osnovnog metala.





Oksidna prevlaka na aluminijumu (slika 70) sastoji se iz dva različita sloja. Neposredno uz površinu metala nalazi se jedan kompaktan sloj oksida debljine $0,01 - 0,03 \mu\text{m}$, a iznad njega jedan porozan sloj čija debljina iznosi $1 - 300 \mu\text{m}$. Ova poroznost daje oksidnim prevlakama dobre apsorpcione osobine.

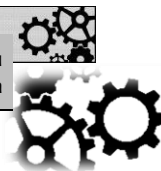


Slika 70: Šematski prikaz strukture oksidne prevlake na aluminijum dobijene anodnom oksidacijom: A - kompaktan sloj ($0,01 - 0,03 \mu\text{m}$), B - porozni sloj ($1 - 300 \mu\text{m}$)

4.3.2 Oksidne prevlake na čeliku

Slaba hemijska postojanost čelika potiče od neplemenitih osobina gvožđa, kao osnovne komponente svih vrsta čelika. Čak i slabo agresivna sredina izaziva promene na površini gvožđa i čelika. U vlažnoj atmosferi stvara se na površini tanak sloj rđe. Za formiranje oksidnih prevlaka na gvožđu i čeliku stoje na raspolaganju u principu tri postupka: **termički, hemijski i elektrohemijski**.





Termički postupci su najstariji i daju uglavnom najdeblje i najpostojanije prevlake. Najstariji je postupak "inoksidacije" po kome se gotovi čelični komadi sa potpuno očišćenom i odmašćenom površinom zagrevaju na $700 - 900^{\circ}\text{C}$, najpre u blagoj oksidacionoj, a potom redukcionoj atmosferi generatorskog gasa u prisustvu određene koncentracije ugljenik oksida.

Elektrohemijski postupci (anodna oksidacija) za formiranje oksidnih prevlaka na čeliku daju jako porozne prevlake. Zaštitne osobine se poboljšavaju, ako se posle anodne oksidacije prevlaka podvrgne naknadnoj elektrolitičkoj obradi u 5 % -nim rastvoru kalijumdihromata u toku 5 minuta pri gustini struje $3 - 5 \text{ A/dm}^2$ na $40 - 50^{\circ}\text{C}$.

4.3.3 Hromatne prevlake

Hromatne prevlake se sastoje iz trovalentnih ili šestovalentnih jedinjenja hroma i osnovnog metala. Najčešće se nanose na aluminijum, magnezijum, cink i kadmijum u cilju povećanja njihove korozione postojanosti, a našle su primenu i kod kalaja, srebra i bakra. Hromatiranje se izvodi iz kiselih rastvora kod svih ovih metala izuzev aluminijuma kod koga, zavisno od čistoće osnovnog metala, mogu biti ravnomerne i ujednačenog izgleda, a debljina im se kreće od $0,01$ do nešto preko $1 \mu\text{m}$. Boja prevlake zavisi od debljine, vrste osnovnog metala i sastava prevlake, a kreće se od providne do zelene.

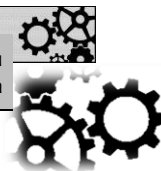
Hromiranje se izvodi u vrućim i hladnim kupatilima potapanjem ili prskanjem i traje obično nekoliko sekundi do nekoliko minuta. Ukoliko treba da služe kao samostalna zaštita od korozije, hromne prevlake se naknadno obrađuju u cilju smanjenja poroznosti. Služe kao odlična podloga za premaze.

4.3.4 Emajli i obloge

Emajli i obloge zbog svog mineralnog porekla se ubrajaju u grupu **neorganskih sredstava** za zaštitu od korozije.

Emajli predstavljaju tvrde, mutne ili različito obojene prevlake spoljne staklaste mase, sastavljene od neorganskih oksida. Za dobro prijanjanje emajla na metalnu podlogu, podloga mora da bude potpuno čista, oslobođena tragova korozije i masnoće.





Proces emajliranja teče u više faza. U prvoj fazi vrši se izbor i mešanje sirovina koje se na 1100 - 1200° stepeni u staklastu masu. Ova masa se posle otvrdnjavanja, još vrela izlaže dejstvu vodene pare ili jednostavno izliva u vodu pri čemu rasprskava u sitne krhotine, takozvanu "fritu", koja se mokro melje u mlinovima i homogenizuje uz dodatak gline i sredstava za zamućivanje, bojenje i slično. Emaji se sastoji od dva sloja, **osnovnog i pokrivnog**, koji se svaki za sebe nanosi i peče. **Osnovni sloj** ima zadatak da stvori čvrstu vezu između metalne površine i pokrivnog sloja, pa zato mora da sadrži materije koje povećavaju moć prijanjanja (oksidi nikla i kobalta). Nanosi se na površinu metala potapanjem u vodenu suspenziju ili prskanjem. **Pokrivni sloj** se nanosi mokrim postupkom ili suvim postupkom na osnovni u jedan ili više slojeva. Osušeni pokrivni sloj se peče na 800 - 900° C.

4.4 Organski premazi kao zaštita od korozije

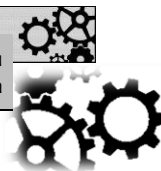
Zaštita metalnih površina premaznim sredstvima je jedan od najrasprostranjenijih postupaka. Od premaznih sredstava se traži da u isto vreme pruži zaštitu od korozije i da daje lepši izgled predmetu.

Svako premazno sredstvo se sastoji iz dva dela, više ili manje viskoznog veziva i pigmenata. Veziva su po pravilu organski rastvori, dok su pigmenti usitnjeni čvrsti praškasti materijali.

Najmanji broj premaza za zaštitu od korozije iznosi po pravilu četiri, i to: **dva osnovna i dva pokrivna premaza**. Iskustvo je pokazalo da se ovakav sistem od četiri premaza najbolje drži u spoljnim uslovima izlaganja u normalnim atmosferskim područjima. Za zaštitu predmeta, koji će biti unutar nekih prostorija pod normalnim atmosferskim uslovima upotrebljava se sistem zaštite od jednog osnovnog premaza. Dva osnovna premaza se koriste i za konstrukcije koje su dugo stajale zaštićene samo jednim osnovnim premazom, jer je ovaj usled atmosferskih uticaja delimično razoren po gornjoj površini. Kod sistema zaštite od visokih temperatura ne postavlja se osnovni prelaz.

Osnovni premaz je jedini koji sprečava koroziju. Zbog toga se od njega ne traži otpornost na vremenske uticaje. Osnovni premaz mora preuzeti funkciju pokrivnog premaza posle njegovog razaranja, dok se ne nanese nov pokrivni premaz. On se neposredno nanosi na pripremljenu podlogu i mora delovati fizički tako da lako i potpuno prodiere u sva udubljenja i pore podloge i da se po mogućnosti čvrsto drži kao premaz.





Nanošenje osnovnog premaza kod sistema zaštite od korozije vrši se jedino premazivanjem četkom.

Pokrivni premaz treba da ima što veću postojanost na vremenske uticaje, na svetlost, na hemijska razaranja kao i na mehanička oštećenja. Mora pokazivati što manje bubrenja i propustljivost za gasove. Pored normalnih vremenskih uticaja premazi su nekada izloženi i drugim uticajama. Pored spoljašnjih uticaja na premaz deluju i unutrašnja razaranja.

Ako premaz nije u stanju da sledi napone u čeliku prouzrokovane promenom temperature, onda dolazi do pucanja i na kraju do ljuštenja premaza. Nanošenje pokrivnih premaza treba izvoditi premazivanjem četkom ako se radi o zaštiti od korozije, ali se može primeniti i postupak prskanja pištoljem.

Najvažniji uslov za efikasnost zaštite, pored prethodne pripreme površine skidanjem rđe, jeste debljina premaza. Da bi se zadovoljile želje za dobrim prijanjanjem i izvrsnom zaštitom, nanose se premazi u više slojeva koji pojedinačno imaju malu debljinu. Debljina jednog zaštitnog premaza treba da iznosi tri puta koliko iznosi hrapavost metalne obloge.

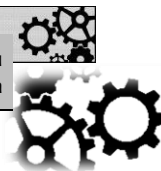
4.5 Elektrohemijska zaštita

Zaštita metalnih površina metalnim i neorganskim hemijskim prevlakama, premazima bojama, lakovima i sredstvima za privremenu zaštitu ima izvesna ograničenja. Ovim sredstvima se postiže potrebna sigurnost na svim onim konstrukcijama, uređajima i aparatima koji nisu lako pristupačni da bi se zaštita mogla održati u ispravnom stanju. Tu spadaju razni cevovodi koji su ukopani u zemlji (vodovodne cevi, naftovodi i slično), kablovi, ustave, brodovi, tankovi i rezervoari, uređaji i aparati u hemijskoj industriji, rudnicima i slično. Vrlo rasprostranjen način zaštite ovakvih konstrukcija jeste elektrohemijska zaštita.

Korozija jedne konstrukcije u nekom elektrolitu smanjiće se ili potpuno sprečiti ako se metalne površine polarizuju. Polarizacija metalnih površina može se ostvariti ako se konstrukcija spoji sa pozitivnim ili negativnim polom nekog spoljnog izvora jednosmerne struje ili sa nekim drugim metalom, čiji se elektrohemijski potencijal razlikuje od potencijala metala koji treba da se polarizuje.

Na ovome se zasniva elektrohemijska zaštita metalnih konstrukcija u nekom elektrolitu. U zavisnosti od toga koju elektrodu predstavlja metal koji se zaštićuje, razlikuje se **anoda** ili **katodna** zaštita.





4.5.1 Anodna zaštita

Ako se metalna konstrukcija spoji sa pozitivnim polom izvora jednosmerne struje (akumulatorske baterije ili ispravljač) ili sa nekim drugim metalom čiji je elektrohemijski potencijal pozitivniji od metala konstrukcije. Ovako formirana anoda u početku će se rastvoriti dok ne dođe do njenog pasiviranja. Ovaj period treba da bude što kraći, odnosno treba što pre da nastane zaštitni sloj na površini, koji pasivira metal. Za ovako polarizovanu metalnu konstrukciju kaže se da je **anodno** zaštićena.

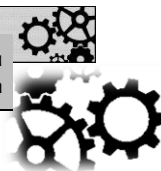
Anodna zaštita ima veoma ograničenu oblast primenu i u praksi se sreće samo u nekim specijalnim slučajevima, uglavnom u jakoj oksidacionoj sredini i ako nisu prisutni joni koji deluju kao aktivatori. Na primer, gvožđe se može anodno polarizovati i zaštititi u rasvorima sumporne kiseline, pošto se u toj sredini relativno brzo pasivira oksidnim slojem. Pri anodnoj zaštiti preči opasnost da se sa polarizacionim naponom pređe granica iznad koje dolazi do razaranja formiranog zaštitnog sloja i intenzivne korozije metala. Samo se u retkim slučajevima pri anodnoj polarizaciji može dobiti dovoljno deo, kompaktna i postojana zaštitni sloj bez koga nema anodne zaštite, pa je jasno što ovaj postupak ima ograničenu primenu.

4.5.2 Katodna zaštita

Spajanjem metalne konstrukcije u prisustvu elektrolita sa negativnim polom nekog izvora jednosmerne struje ili nekim metalom čiji je elektrohemijski potencijal negativniji, vrši se katodna polarizacija, odnosno katodna zaštita konstrukcije. U zavisnosti od toga sa čim se spaja metalna konstrukcija, razlikuju se dva postupka: zaštita pomoću spoljnog izvora jednosmerne struje, kada je konstrukcija spojena sa negativnim polom tog izvora ili zaštita metalnim anodama, kada je spojena sa manje plemenitim (negativnijim) metalom.

Prvi postupak je poznat još kao elektrozaštita ili prosta **katodna zaštita**, a druga kao **protektorna zaštita**. Protektorna zaštita se može primeniti samo u slučaju ako je razlika potencijala između metala koji se zaštićuje i galvanske anode, od čega zavisi i elektromotorna sila, dovoljno velika.





Ako se na površini metala, okruženog elektrolitom, pojave mestimične razlike potencijala iz bilo kog razloga (razlika u naponu, oštećena prevlaka, i slično), formira se lokalni galvanski spreg, u kome struja teče od anodnog ka katodnom mestu. Pri tome se metal na anodnom mestu oksidiše prelazeći u rastvor u obliku svojih jona. Jačina struje ovako formiranog lokalnog galvanskog sprega I_L zavisi od veličine elektrodnih potencijala i omskog spega i može se izraziti jednačinom:

$$I_L = \frac{E_C - E_A}{R_C + R_A}, \quad (4.3)$$

gde su :

E_C i E_A elektrodni potencijali katode i anode, a R_C i R_A otpori na katodnim i anodnim površinama.

Jačina struje lokalnog galvanskog spega će biti veća ukoliko je razlika potencijala između anode i katode veća, a otpori manji.

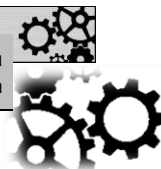
U toku rada sprega prvobitni potencijali E_A i E_C menjaju se usled polarizacije dok se međusobno ne izjednače, dajući jedan zajednički potencijal sistema. Jačina struje koja odgovara ovom zajedničkom potencijalu predstavlja maksimalnu jačinu struje koju može da proizvode sistem kao kad bi elektrode sistema bile kratko spregnute, a omski otpor sistema bio jednak nuli.

Pri povećanju polarizacije elektroda smanjuje se jačina struje koja izaziva koroziju, sve dok se potencijali ne izjednače, kada korozija prestaje. U prirodi praktično nikada ne dolazi do polarizacije elektroda dotle da bi im se potencijali izjednačili. Zbog toga se to vrši veštački - katodnom zaštitom.

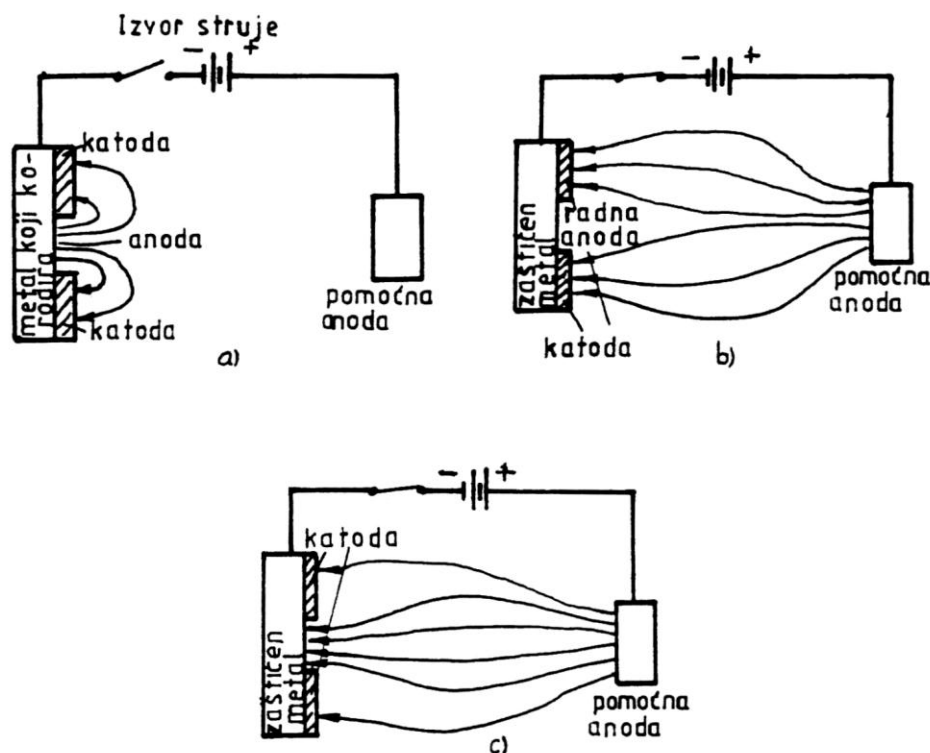
Pri otvorenom prekidaču (slika 71 a) odvija se normalan korozioni proces, odnosno anodno rastvaranje metala usled dejstva lokalnog galvanskog sprega. Minimalna jačina zaštitne struje, potrebna za polarizaciju treba da bude jednaka ili veća od maksimalne jačine struje sistema. Ako zaštitna struja ima istu vrednost kao maksimalna jačina struje korozije (slika 71 b), onda je metal zaštićen. Ako je zaštitna struja veća (slika 71 c), metal koji se štiti u celini postaje katoda. Zaštitna struja ne treba da bude mnogo veća nego što je potrebno, jer ima negativno dejstvo na prevlake zaštićenog metala i izaziva brže trošenje pomoćne anode, ako je ona od metala.

Kao materijal za pomoćne anode koriste se u principu svi materijali koji provode struju: metali, grafiti, ugalj i drugi. Od metala najviše se koriste liveno gvožđe i čelik (legirani ili nelegirani) kao najrasprostranjeniji.





Nedostatak običnog ugljeničnog čelika i gvožđa je u tome što je veliki elektrohemijski ekvivalent u svim aktuelnim elektrolitima (morska i rečna voda, zemljište, i slično) i što lako i brzo korodiraju. Zbog toga se češće upotrebljavaju legirani čelici (hromnikl čelici). Anode od ostalih metala (bakar, cink, aluminijum) ređe se upotrebljavaju, jer su skuplje i teže se postavljaju.

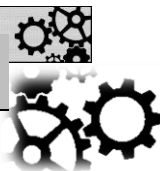


Slika 71: Dejstvo katodne zaštite: a) otvoreno strujno kolo – normalan korozioni proces, b) jačina struje potrebna za polarizaciju je jednaka jačini struje korozije, c) jačina struje potrebna za polarizaciju je veća od jačine struje korozije

4.5.3 Protektorna zaštita

Protektorna zaštita se ostvaruje spajanjem metalne konstrukcije sa metalom čiji je elektrohemijski potencijal negativniji, to jest upotrebom metalnih anoda negativnijeg elektrohemijskog potencijala od metala konstrukcije.





Ovde se zaštitna struja ne dovodi iz nekog spoljnog izvora, već se kratkim vezivanjem jednog metala sa negativnijim potencijalom od metala konstrukcije, u prisustvu elektrolita, stvara strujno kolo usled razlike potencijala. Negativniji metal anode troši se usled anodnog rastvaranja, dok metal konstrukcije, kao katoda, ostaje zaštićen.

Jačina zaštitne struje pri protektoranoj zaštiti uslovljavaju dva osnovna faktora: potencijali metala iz kojih su načinjene konstrukcije i anoda, odnosno razlika potencijala u datom elektrolitu, i električni otpor elektrolita. Što je razlika potencijala veća, a električni otpor manji, jačina struje biće veća, a samim tim se postiže efikasnija i ekonomičnija zaštita. Da bi se to postiglo za anode se uzimaju metali sa što negativnijim potencijalom (magnezijum, cink) i povećava se provodljivost elektrolita dodatkom soli. Za morsku vodu i druge rastvore to nije potrebno. Protektorna zaštita lista kormila i trupa broda korišćenjem cink anoda prikazana je na slici 72.

4.6 Metali za prevlake

U većini slučajeva izbor zaštite metalnih proizvoda od korozije najvažnija osobina prevlaka mora biti otpornost na koroziono delovanje sredine. Taj uslov ispunjavaju kako anodne, tako i katodne prevlake, a odluka koja se odnosi na primenu odgovarajuće prevlake zavisi od određenih uslova rada proizvoda. Kao najčešće primenjivani metali za anodne prevlake su: Al, Zn, Sn i Cd, a za izradu katodnih prevlaka su: Cu, Ni, Cr, Pb.

Aluminijum se široko primenjuje za zaštitu čelika od korozije, kao i za dobijanje dekorativnih prevlaka. Njegova otpornost na koroziju proizilazi iz postojane trajne oksidacione skrame koja se obrazuje na površini kao zaštita od daljeg delovanja oksidacionih činilaca. Stvaranjem antikorozone prevlake štiti se podloga istovremeno od uticaja atmosferska korozije, kao i dejstva temperature u oblasti do 500° C. Difuzione aluminijumske prevlake štite podloge od gasne korozije pri temperaturi od 750° - 900° C. Za nanošenje prevlaka primenjuju se najčešće metoda termičke metalizacije, eventualno dopunjena termičkom obradom, difuzionu metoda ili potapajuća za prevlačenje pojedinačnih proizvoda. Postupak se zasniva na polaganju tankog aluminijumskog lima putem valjanja na hladno ili na povišenoj temperaturi, a kao materijal se primenjuje Al visoke čistoće (99,999 %) kao i legure AlMgCu, AlMgMn. Postupak polaganja tankog lima na toplo dovodi do stvaranja tankog difuzionog sloja.





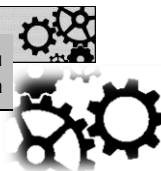
a)



b)

Slika 72: Protekorna zaštita: a) list kormila prekookeanskog broda sa cink anodama, b) list kormila i deo trupa tankera sa cink anodama [28]





Cink je najčešće korišćen element za zaštitu čelika, o čemu svedoči korišćenje više od polovine svetske proizvodnje cinka za stvaranje prevlaka. Prevlake se nanose na lak način i pokazuje veliku otpornost. Osnovne metode prevlačenja su metode potapanja, termička metalizacija, elektrolitička metoda, difuziona, a koriste se farbe koje sadrže znatne količine cinkovog praha. Prirodna koroziona otpornost cinka je osobina koju zadržavaju njegove prevlake, a njihova trajnost je srazmerna debljini prevlake.

Kadmijum pokazuje otpornost jednaku otpornosti cinkovnih prevlaka. Ipak znatno viša cena kadmijuma, neophodnost njegovog uvoza, kao i toksične osobine metala dovode do toga da se ovaj metal ne primenjuje široko. Za nanošenje prevlaka primenjuje se termička metalizacija, kao i elektrolitička metoda.

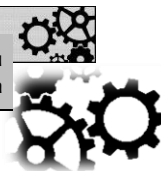
Kalaj se nanosi na pojedinačne proizvode kao i na čelične trake metodom potapanja, termičkom metalizacijom kao i metodom relativno primitivnim putem razmazivanja kalaja po površini čeličnog proizvoda. Debljina prevlake zavisi od metode prevlačenja, za metod metalizacije 25 - 300 μm , potapanjem 12 - 50 μm , elektrolitički 2 - 10 μm . Prilikom nanošenja razmazivanjem na toplo dobija se prevlaka neravnomerne debljine (od 2,5 do 20 μm ili više). Čelični lim sa zaštitnim kalajnim prevlakama primenjuje se za proizvodnju konzervi za životne namirnice, za proizvode različitih vrsta rezervoara za čvrste ili tečne proizvode, i slično.

Bakar se primenjuje za zaštitu mehaničkih uređaja od dejstva korozije okolne sredine i trenja. Prevlaka se najčešće nanosi elektrolitičkom ili hemijskom metodom, ređe termičkom metalizacijom ili potapanjem.

Nikl. Prevlake od nikla se široko primenjuju za zaštitu proizvoda od čelika, cinka ili mesinga od elektrohemijske korozije, erozije ili abrazije. Prevlači se uglavnom elektrolitičkom ili hemijskom metodom. U specijalnim slučajevima primenjuju se niklovanje pomoću četki odabranih površina metalnih predmeta. Dobijaju se prevlake ravnomerne debljine otporne na delovanje prirodne vode, destilisane, morske i industrijske, alkalnih rastvora, organskih rastvarača, masti, ulja i različitih organskih jedinjenja. Prevlake nisu otporne na dejstvo rastvora natrijum hlorida kao i oksidišućih soli.

Hrom je metal velike otpornosti na dejstvo korozije u prirodnim i industrijskim uslovima, dejstvo sumporvodonika, oksidnih sredina, na temperaturi od 20° C i višoj. Primenjuju se tri metode prevlačenja: elektrolitička, difuziona i vakuumsko naparivanje. S obzirom na poroznost elektrolitičkih prevlaka i njihovu sklonost ka prskanju nanosi se obično hrom na niklov podsloj, ali se primenjuje i takozvani dvostruki hrom ili više slojne prevlake. Primeri hromiranja prikazani su na slici 73.





a)



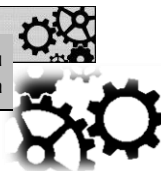
b)



c)

Slika 73: Primeri hromiranja: a) hromiranje nosećeg rama bicikla, b) automobil BMW sa hromiranom karoserijom, c) hromirana felna sportskog automobila

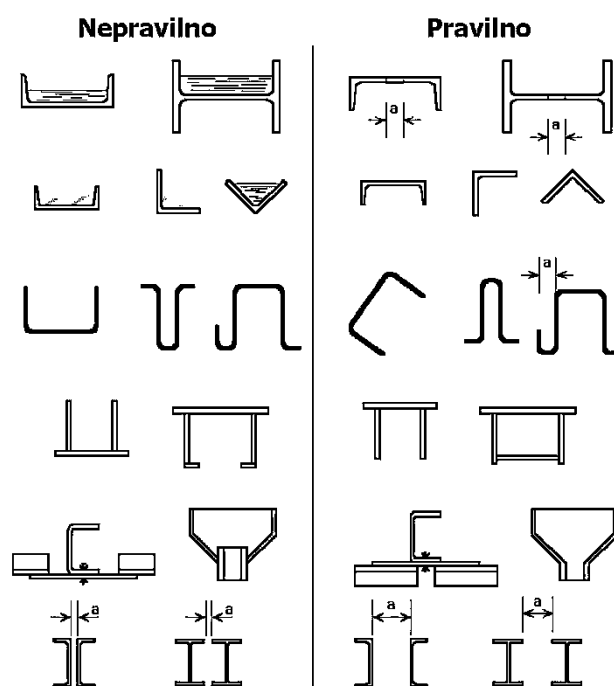




Olovo. Azotna i sonda kiselina kao i organske kiseline (sirćetna, mlečna, mravlja), brzo napadaju olovo. Prevlake najboljih osobina dobijaju se posle pažljivih čišćenja podloge, polaganja vezivnog međusloja od kalajnoolovne legure i najzad nanošenja olova ustaljenog sastava i čistoće u debelim i ravnomernim slojevima. Pri natapanju olova nastaje najpre stapanje kalaja ili nanete legure kao metala sa nižim temperaturama topljenja, zatim difuzije kalaja u gvožđe i istovremenim povezivanjem sa olovom. Mala prijanljivost olova na čelik tumači se time da ovi metali ne obrazuju rastvore, a takođe ne nastupa ni difuzija. Te teškoće razrešava međusloj od legure koja se vezuje s jedne strane za čeličnu podlogu, a s druge sa olovom.

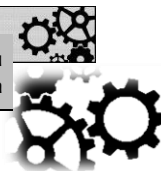
4.7 Konstrukcijske metode

Pri konstruisanju delova koji rade u atmosferskim uslovima, teži se da se smanji zadržavanje vode u otvorenim delovima konstrukcije. Zato profile, ugaonike i zavarene nosače treba postaviti tako da se omogući oticanje vode i provetravanje (slika 74). Pravilan izbor metoda spajanja dva čelična dela utiče na proces korozije (slika 75).



Slika 74: Konstrukcijske metode u zaštiti od korozije





4.8 Izbor materijala

Jedan od uobičajenih i najlakših načina zaštite metala i legura od korozije jeste pravilan izbor materijala za izradu delova konstrukcija koje su u toku eksploatacije izložene dejstvu agresivne sredine. Za izbor materijala mogu korisno poslužiti prepuruke o korozionoj otpornosti materijala u određenim agresivnim sredinama (katalozi proizvođača i priručnici). Pri izboru materijala i cena može biti jedan od značajnih faktora. Nije uvek ekonomski opravdano upotrebiti materijal koji ima optimalnu otpornost na koroziju. Ponekad je korisnije izabrati drugi materijal i neku metodu zaštite.

Aluminijum i njegove legure otporne su na vazduhu, u vodi, amonijaku, organskim kiselinama i većini organskih jedinjenja.

Hromni i visokohromni čelici otporni su na vazduhu, vodi, pari, slabim kiselinama, većini neorganskih kiselina, kao i na soli, alkalije (hidrokside alkalnih metala (Li, K, Na) i amonijak.

Bakar, mesing i bronz otporni su na vazduhu, u vodi, morskoj vodi, rastvorenim parama sulfata i karbonata, neoksidujućim kiselinama (kisele soli, HCl, H_2SO_4).

Olovo je otporno na vazduhu, u vodi, vlažnom amonijakom tlu, u alkoholu, sumpornoj kiselini i ferokloridu.

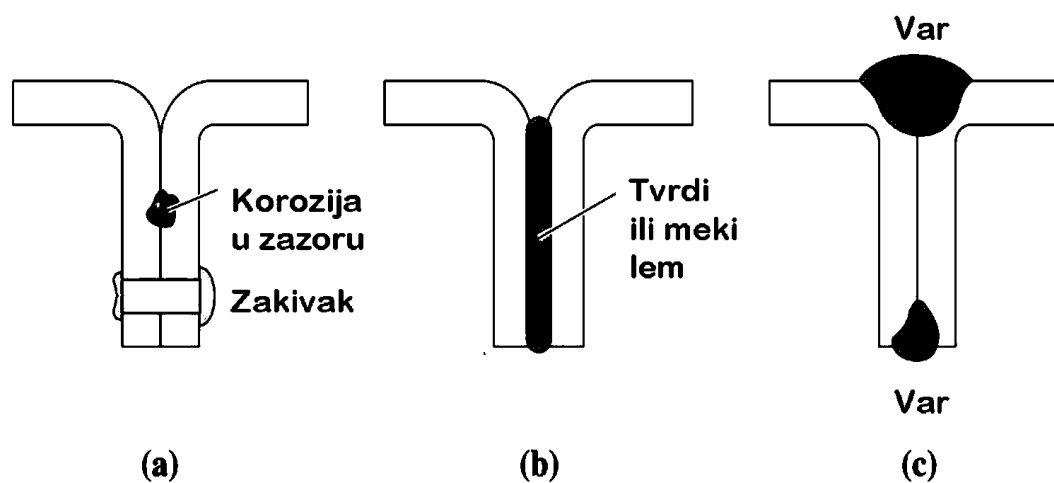
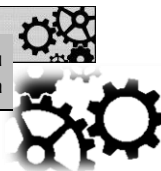
4.9 Zaštita od galvanske (elektrohemijske) korozije

Galvanska (elektrohemijska) korozija nastaje kad se ispune sledeći uslovi:

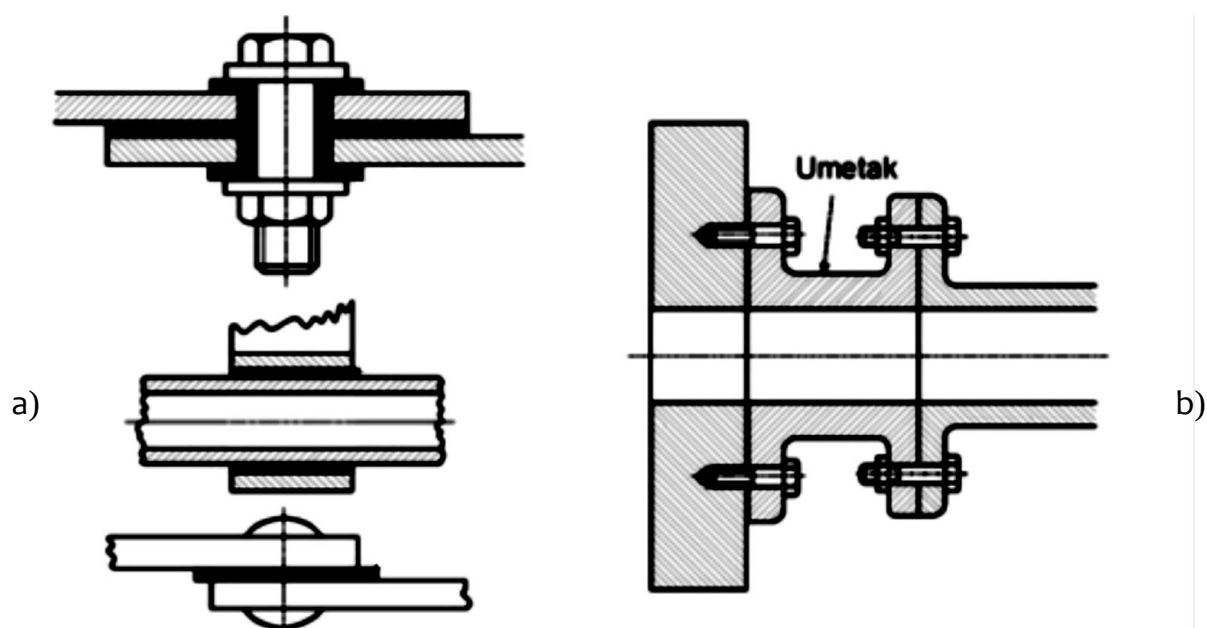
- spregnuti metali se razlikuju po elektrodnim potencijalima više od 50 mV,
- metali su u direktnom međusobnom kontaktu,
- oba metala su u dodiru sa istim elektrolitom i
- elektrolit sadrži rastvoren O_2 ili kiselinu, što doprinosi održavanju katodnog procesa.

Pri spajanju različitih metala treba težiti da spojni elementi budu katodne, a ne anodne zone. To znači da spojni element mora biti od plemenitijeg metala da bi u galvanskom paru preuzeo ulogu katode (slika 77). Pravilna sprega različitih metala korišćenjem podmetača i umetaka prikazana je na slici 76.



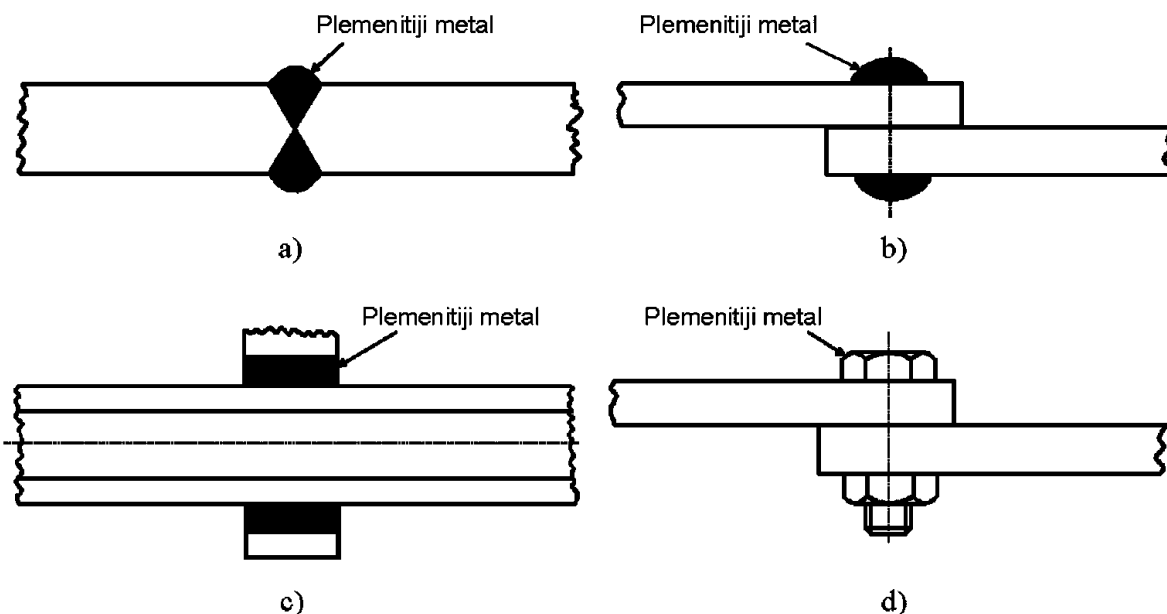
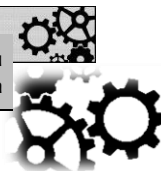


Slika 75: Alternativne metode spajanja dva čelična dela: (a) zakivak, (b) tvrđi ili meki lem i (c) var



Slika 76: Primena podmetača i umetaka: a) pravilna sprega različitih materijala primenom podmetača od elektroizolacionih materijala, b) povezivanje različitih metala pomoću umetaka čiji je elektrodni potencijal negde u sredini između potencijala spojenih delova





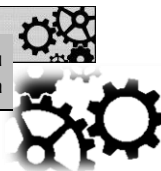
Slika 77: Spojevi izvedeni: a) zavarivanjem, b) zakivanjem, c) lemljenjem i d) zavrtnjem

4.10 Promena sredine

Značajne metode za snižavanje korozije usled promena u korozionoj sredini su:

- Snižavanje temperature sistema obično smanjuje koroziju,
- Snižavanje brzine korozionog fluida smanjuje erozionu koroziju,
- Eliminisanjem O_2 iz vode (deaeracijom), zasićenjem azotom, dezoksidacijom, ponekad je korisno za smanjenje korozije,
 - Neutralisanjem kiselih supstanci u vodi, na primer dodavanjem alkalija smanjuje se brzina korozije,
 - Dodavanjem inhibitora elektrolitima u zatvorenim sudovima da bi se postiglo inertno stanje. Oni deluju tako što oblažu anodu i prekidaju strujno kolo.

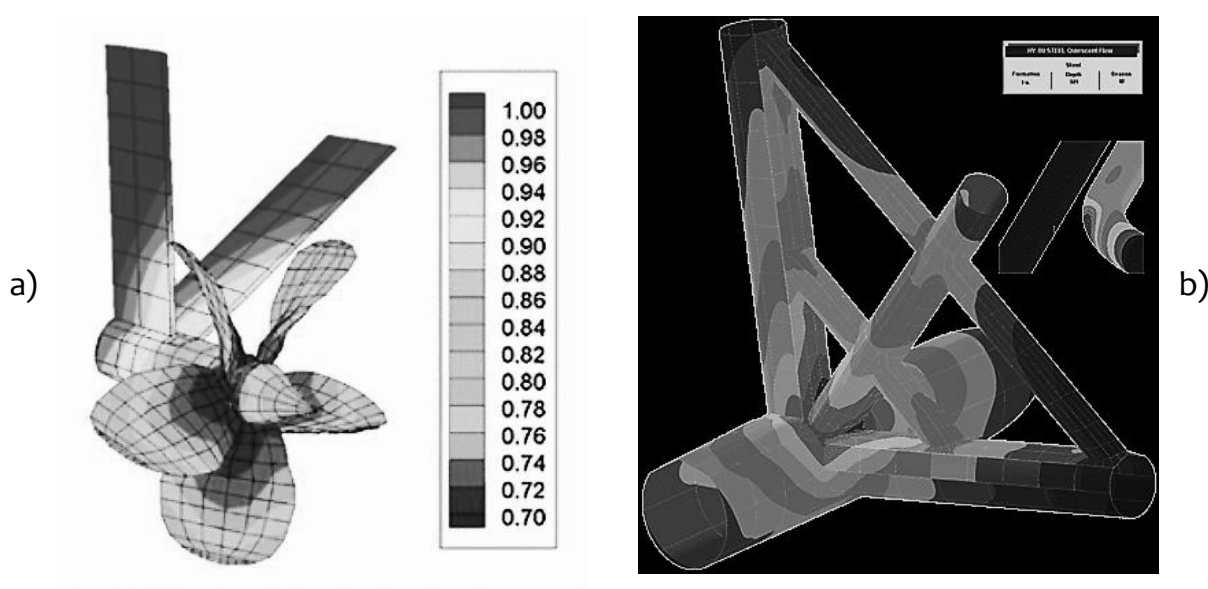




4.11 Kontrola korozije u vojnoj industriji i savremene informacione tehnologije u zaštiti od korozije

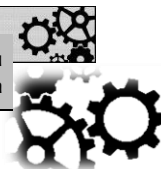
Zbog visokih troškova nastalih na otklanjanju posledica korozije, u vojnoj industriji se zaštiti od korozije pridaje veliki značaj. U tom smislu, koriste se sve najmodernije naučne metode, najnovije tehnologije i materijali. Jedan od primera je premazivanje takozvanim reaktivnim premazima delova koji se nalaze u koroziono aktivnom okruženju, ali kontrolisanom, dakle u zatvorenim cirkulacionim sistemima. Dodavanjem određenih inhibitora korozije, koji su vojno-industrijska tajna, premazi na delovima izloženim koroziji u reakciji sa inhibitorom korozije dobijaju elektro-izolacioni sloj koji sprečava pojavu elektro-hemijske korozije (ne dozvoljava zatvaranje električnog kruga korozije). Ovo ujedno čini delove manje osetljivim na ogrebotine i mikro oštećenja, jer inhibitor korozije iz radnog fluida odmah stvara novi elektro-izolacioni sloj.

Savremene informacione tehnologije našle su svoje mesto u rešavanju problema korozije. Na slici 78 su prikazani propeler i držač propelera američkog nosača aviona USN Nimitz, obrađeni kompjuterskom metodom konačnih elemenata radi utvrđivanja mesta koja će biti najviše ugrožena korozijom, na osnovu određivanja lokacija sa najvećim elektro-hemijskim potencijalom. Nakon definisanja kritičnih mesta, ista se posebno zaštite koliko god je to moguće, [28].



Slika 78: Primena metode konačnih elemenata u zaštiti od korozije: a) primena metode konačnih elemenata kod brodskog propelera i držača propelera, b) primena metode konačnih elemenata dela stuba mosta





Kontrola korozije na bombarderu B-2 zauzima posebno mesto. Prilikom izrade aviona nanosi se prvo osnovni antikorozioni premaz, koji čini sloj A, a zatim takozvani RAM premaz, koji čini sloj B, i on absorbuje radarske zrake. Avion je izrađen većinom od kompozitnih materijala, sadrži delove od ultralakih legura aluminijuma, ali i od čelika. Pojava korozije je nedopustiva, jer bi produkti korozije oštetili RAM sloj tako da bi avion izgubio radarsku nevidljivost.

Na svakih sedam godina vrši se kompletno farbanje celog aviona, sto uključuje nanošenje sloja A i sloja B (slika 79). Proces traje oko godinu dana i izvodi je Northrop Grumman korporacija u gradu Palmdale. Troškovi zaštite iznose 60 miliona dolara po primerku, [33].

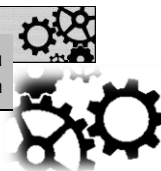
a)



b)

Slika 79: Kontrola korozije u vojnoj industriji: a) farbanje i reparacija aviona B-2, b) izgled spoljašnjeg RAM sloja farbe ispod koga se nalazi antikorozioni sloj A





5. ZAKLJUČAK

Korozija je, sa stanovništva tehničke prakse, štetan proces, jer izaziva razaranje materijala.

Dužnost svakog inženjera je da od samog početka konstruisanja mašinskog dela ili sistema vodi računa o koroziji koja se može javiti u datoj radnoj sredini tog dela ili sistema.

Početak konstruisanja je u adekvatnom izboru materijala mašinskog dela ili sistema, tako da pri eksploatacionim uslovima korozija bude minimizirana. Naravno tu su primarni ekonomski aspekti.

Oblik, i pravilno postavljanje konstrukcije, izrada drenažnih otvora, posebno onih koje su izložene stalnim atmosferskim uticajima, od presudnog je uticaja na koroziju konstrukcije.

Konstruktor treba da ima u vidu, pored uslova u kojima mašina radi, i postojanje mogućnosti ostvarivanja glavanske korozije koja može da se javi pri različitim elektrodnim potencijalima spregnutih metala i drugim uticajima. I na to treba uticati da se korozija smanji.

Korozija se ne može izbeći; ukoliko se pojavi treba obratiti pažnju na vrstu korozije i posledice koja ona izaziva ili može da izazove, koje nekad mogu biti katastrofalne.

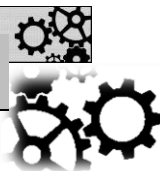
Vrsta korozije kao i njeni efekti mogu biti vrlo različiti u zavisnosti od vrste materijala koji je napadnut korozijom, sastava agresivne sredine i mehanizama nastanka i razvoja korozije.

Posledice korozije su rastvaranje metala, razlaganje metala, razlaganje legura na komponente, formiranje taloga rđe na površini ili promena mehaničkih i fizičkih karakteristika što može da izazove lom i havariju.

O primeni antikorozivnih materijala i antikorozivne zaštite mora se razmišljati od samog početka projektovanja. Kontrola korozije i metode zaštite metala zavisi od svih specifičnosti vezanih za tip metala i svih uticajnih faktora eksploatacije. U savremenoj industriji su najčešće ekonomski uslovi ti koji nameću izbor metoda zaštite.

Shodno ekonomskim aspektima treba konstruisati ekonomski isplativu mašinu, sklop ili konstrukciju, ali treba imati na umu da je korozija upravo ta koja može da ošteti takav sistem, ali da bude i posrednik u lomu i havariji iste. Zato treba pravilno kontrolisati i sprečavati koroziju.

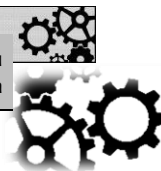




6. LITERATURA

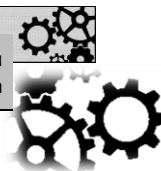
- [1] http://books.google.com/books/about/Principles_and_prevention_of_corrosion.html?id=i8pRAAAAMAAJ (15.09.2011 18:30).
- [2] http://books.google.je/books/about/A_treatise_on_electricity_in_theory_and.html?id=n_MEAAAAYAAJ (15.09.2011 18:35).
- [3] http://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:oRcBwvbpeEcJ:www.mfkg.kg.ac.rs/index2.php%3Foption%3Dcom_docman%26task%3Ddoc_view%26gid%3D199%26Itemid%3D27+masinski+materijali+korozija+dragan+adamovic&hl=sr&gl=rs&pid=bl&srcid=ADGEESj9EfhlKPC5h1y3HtUK3GWrxSy0RuzP_aHgKnThTqfznfoHYP64DEQYTVafnvT12tliPm9Lx_Ir9xfuMenqmkep8cgEWmLkbcgu767Qptn9lkduo8riQhSvzrJjlovqp-F4h1r&sig=AHIEtbRbUTmrvrduUstU3Cx3eQaNsEMwDQ (15.09.2011 18:39).
- [4] M. Milenković, S. Mladenović, I. Vučković: "Korozija i zaštita", Tehnička knjiga, Beograd 1966.
- [5] http://en.wikipedia.org/wiki/Pourbaix_diagram (15.09.2011 18:41).
- [6] http://books.google.rs/books?id=OHsKYj8T9z8C&pg=PA29&lpg=PA29&dq=faraday+mass+of+corrosion+metal&source=bl&ots=iZzGThSTGP&sig=XtZNmpCAVT9O5EW8l-KvpJXaVQ4&hl=sr&ei=87SFTsvEM5C48gOq-qkt&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=9&ved=oCGAQ6AEwCA#v=onepage&q=faraday%20mass%20of%20corrosion%20metal&f=false (15.09.2011 18:43).
- [7] <http://water.me.vccs.edu/concepts/corrosionchemistry.html> (15.09.2011 18:45).
- [8] <http://www.matcoinc.com/component/content/article/37-publications/265-case-study-vi-mechanical-damage> (15.09.2011 19:15).
- [9] http://www.engineeringtoolbox.com/oxygen-steel-pipe-corrosion-d_1170.html (16.09.2011 13:15).
- [10] <http://www.atclabs.com/Photos.htm> (16.09.2011 13:25).
- [11] <http://www.computescotland.com/livewire-gadd-awarded-colworth-for-mycorrhizas-livewires-2197.php> (16.09.2011 13:35).
- [12] <http://www.apesolutions.com/imagesw/pits.jpg> (16.09.2011 13:45).
- [13] <http://www.askmen.com/cars/keywords/rust-proofing.html> (16.09.2011 13:55).
- [14] <http://www.ecofriend.com/entry/eco-tech-biological-coating-could-prevent-metal-corrosion-in-seawater/> (16.09.2011 13:57).
- [15] http://www.seagrant.umn.edu/newsletter/2004/12/harbor_corrosion_its_the_pits.html (16.09.2011 14:07).





- [16] <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=1336> (16.09.2011 14:12).
- [17] <http://water.me.vccs.edu/concepts/corrosioncauses.html> (16.09.2011 14:22).
- [18] <http://www.marinecorrosionforum.org/explain.htm> (16.09.2011 14:32).
- [19] <http://www.springerimages.com/Images/> (16.09.2011 14:38).
- [20] <http://abduh137.wordpress.com/2008/04/28/the-50-major-engineering-failures-1977-2007-part-3/> (16.09.2011 14:48).
- [21] http://www.ndt.net/article/vo7no7/ginzel_r/ginzel_r.htm (16.09.2011 14:58).
- [22] <http://www.scsengineering.se/layout.asp?ID=16> (16.09.2011 15:18).
- [23] <http://jp.fujitsu.com/group/fql/en/services/analysis/advantage/open-short/> (16.09.2011 15:28).
- [24] http://www.connectorsupplier.com/tech_updates_BM_Degradation2_6-19-07.htm (16.09.2011 15:38).
- [25] <http://www.vibanalysis.co.uk/technical/corrosion/corrosion.html> (16.09.2011 15:48).
- [26] <http://midlandcorrosion.co.uk/> (16.09.2011 15:53).
- [27] <http://getenecon.com/proven-solutions/pitting-corrosion.aspx> (16.09.2011 16:12), http://www.cdcorrosion.com/mode_corrosion/corrosion_erosion_gb.htm (16.09.2011 16:23).
- [28] <http://www.paluba.info/smf/index.php?topic=9767.0> (16.09.2011 16:27).
- [29] Pollack H. W.: "Materials science and metallurgy".
- [30] http://books.google.rs/books?id=1xDur7RA9qgC&pg=PA211&lpg=PA211&dq=brasher+stoves+corrosion&source=bl&ots=nYFA7Zw8u3&sig=sYdYcPVH4JkhhbO-ao_csCQZ2hgw&hl=sr&ei=8PyETToToOcSqoQXohbDEBg&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=oCB0Q6AEwAA#v=onepage&q&f=false (16.09.2011 17:05).
- [31] http://www.alutecta.de/alutecta_home/eloxal_rechts.html (16.09.2011 17:10).
- [32] <http://www.living-room.org/50buckbike.html> (16.09.2011 16:35), <http://www.lucianriders.com/forum/viewtopic.php?f=22&t=213> (16.09.2011 16:37)
- [33] <http://community.warplanes.com/tag/air-force-b2-bomber/> (16.09.2011 16:45), <http://unwantedpublicity.media.officelive.com/Gallery.aspx> (16.09.2011 16:55).
- [34] Jovanović M., V. Lazić, D. Adamović i N. Ratković, "Mašinski materijali", Univerzitet u Kragujevcu, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, 2003.





[35] Šijački – Žeravčić V., A. Milosavljević i A. Sedmak, "Priručnik za mašinske materijale – zavarivanje, lemljenje, livenje", Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd, 1996.

[36] Colangelo V. J. and F. A. Heiser: "Analysis of metallurgical failures", John Wiley & Sons, NY 1974.

[37] Н.Д.Томашов; Г.П.Чернова: "Коррози и коррозионностойкио сплавв" Академија наука, СССР Москва, 1962.

[38] Mitić ing. Radmilo, prof.: "Tehnologija mašinskih materijala II", skripta, Kragujevac 1967.

