

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Ivan Juraga
Vinko Šimunović
Ivan Stojanović
Vesna Alar

MEHANIZMI ZAŠTITE OD KOROZIJE



- autorizirana predavanja -

Zagreb, 2012.

Pregledali / Recenzenti

Prof.dr.sc. Ivan Esih, FSB

Izv.prof.dr.sc. Frankica Kapor, Sveučilište u Zagrebu Rudarsko-geološko-naftni fakultet

SADRŽAJ:

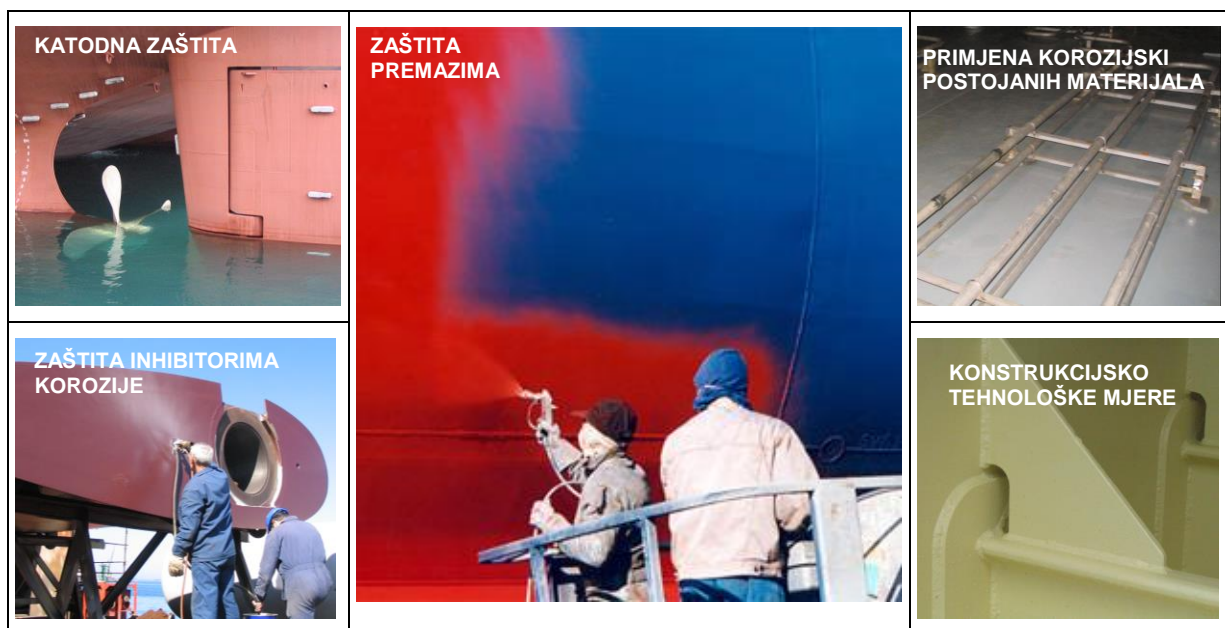
1. ZAŠTITA OD KOROZIJE - UVOD	3
2. ZAŠTITNE PREVLAKE	5
2.1. Priprema metalne površine za nanošenje prevalka	8
2.2. Organske prevlake - premazi	9
2.3. Priprema površine za nanošenje premaza	13
2.4. Uvjeti nanošenja premaza - bojenje	14
2.5. Nadzor i kontrola pri bojenju	15
2.6. Nanošenje premaza	15
2.7. Organske prevlake posebne namjene – protuobraštajni premazi	16
2.8. Organske prevlake – plastifikacija / polimerne prevlake	21
2.9. Organske prevlake - bitumenizacija	27
2.10. Metalne prevlake	29
2.11. Anorganske nemetalne prevlake	31
3. ODABIR KOROZIJSKI POSTOJANIIH MATERIJALA – OSVRT NA PRIMJENU NEHRĐAJUĆIH ČELIKA	32
3.1. Vrste nehrđajućih čelika	33
3.2. Mehanizam korozijske postojanosti nehrđajućih čelika	35
3.3. Narušavanje korozijske postojanosti nehrđajućih čelika – važnost stanja površine	36
3.4. Tehnike naknadne obrade površine nehrđajućih čelika	39
4. KONSTRUKCIJSKO – TEHNOLOŠKE MJERE ZAŠTITE	40
5. ELEKTRIČNE METODE ZAŠTITE	61
6. ZAŠTITA PROMJENOM OKOLNOSTI – INHIBITORI KOROZIJE	67
Literatura	71

1. ZAŠTITA OD KOROZIJE - UVOD

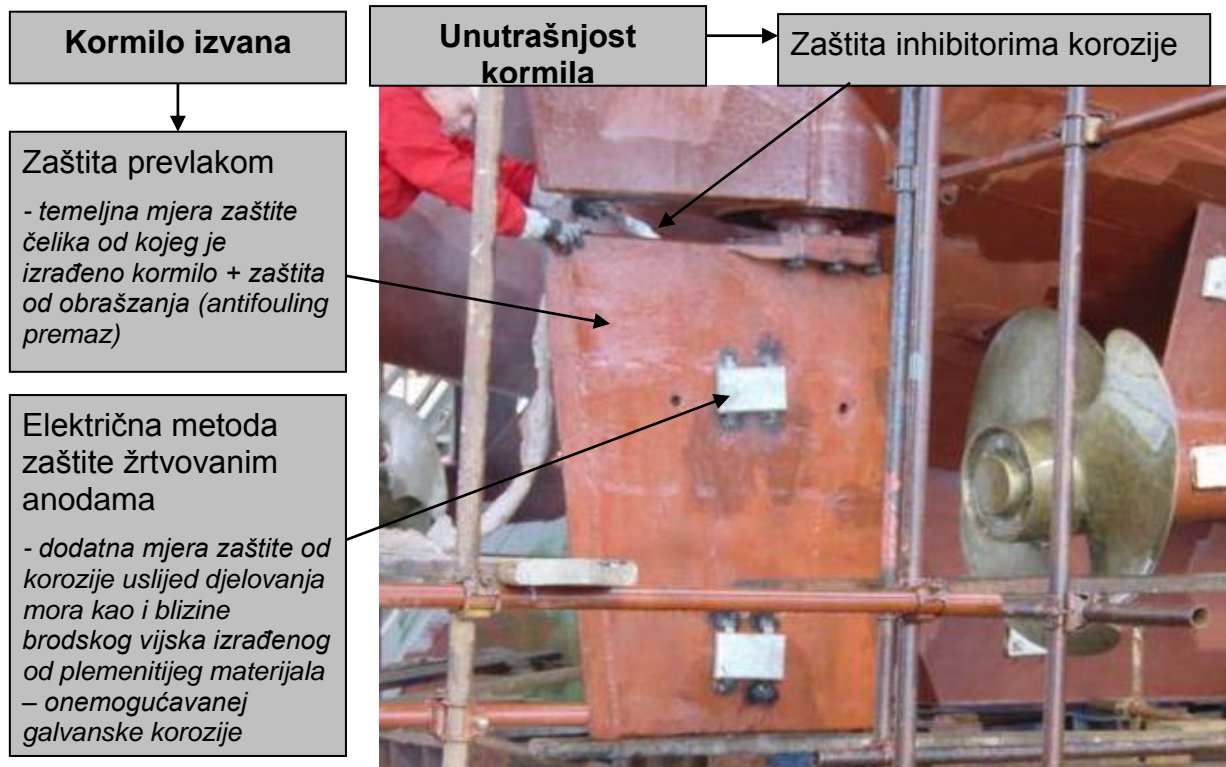
Od konstrukcijskih materijala se očekuje da uz što nižu cijenu imaju izvrsna mehanička svojstva i svojstva obradljivosti, a da u isto vrijeme osiguraju i korozijsku otpornost. Navedena svojstva, osim u slučaju korištenja na primjer visokokorozijski postojećih materijala poput nehrđajućih čelika, legura nikla i sl. u praktičnom slučaju rijetko može ispuniti sam konstrukcijski materijal. Stoga se primjenjuju različite metode / tehnologije zaštite od korozije (slika 1) koje se u osnovi mogu podijeliti na [1, 2, 3]:

- zaštitu od korozije nanošenjem prevlaka,
- primjena korozijski postojanijih materijala,
- konstrukcijsko - tehnološke mjere,
- električne metode zaštite i
- zaštita promjenom okolnosti (npr. inhibitorima korozije),

koje se vrlo često i međusobno kombiniraju radi učinkovitije zaštite kako je to prikazano na slici 2.



Slika 1: Prikaz metoda zaštite od korozije



Slika 2: Kombiniranje različitih tehnologija zaštite – kormilo broda.

Metode sprečavanja korozije općenito temelje se na teoriji odnosno na mehanizmima zaštite od korozijskih pojava. Sprečavanje odnosno usporavanje korozije zasniva se na dva osnovna načela [1, 2]:

- **smanjenje ili poništenje pokretne sile,**
- **povećanje otpora pokretnoj sili.**

Ova osnovna teorijska načela mogu se konkretno provesti na tri načina [1,2,3]:

- svrhovita **promjena unutarnjih čimbenika** oštećivanja (npr. odabrati postojaniji materijal koji ima određene legirne elemente kao npr. Mo koji povećava korozijsku otpornost nehrđajućih čelika),
- svrhovita **promjena vanjskih čimbenika** oštećivanja (npr. smanjiti koncentraciju kisika, dodavanjem inhibitora, smanjiti tlak, temperaturu, radijaciju, naprezanja i sl.),
- **odvajanje konstrukcijskog materijala od medija** spontano ili namjerno (film, prevlaka, obloga).

2. ZAŠTITNE PREVLAKE

Zaštitne prevlake su bez sumnje najrašireniji proizvodi za zaštitu od korozije. Koriste se za dugotrajnu zaštitu različitih konstrukcija u širokom nizu korozivski agresivnih okoliša, počevši od atmosferskog izlaganja, pa sve do najzahtjevnijih eksploatacijskih uvjeta u postrojenjima kemijske industrije. Činjenica da zaštitne prevlake koje čine vrlo mali udjel u ukupnom volumenu cijele konstrukcije čuvaju njezin integritet i osiguravaju mogućnost neometane eksploatacije dovoljno govori o njihovoj važnosti.

Primjer: Eiffelov toranj – bojama protiv korozije od 1889. do danas i ubuduće

Započevši 1887. godine i završivši krajem ožujka 1889. godine izgradnja Eiffelovog tornja predstavljala je nesumljivo jedinstveni inženjerski poduhvat. No, lako se zaboravlja da je ovaj toranj, izrađen od željeza i čelika, izložen onečišćenoj atmosferi velikog industrijskog grada i da je tijekom svoje povijesti zahtijevao vrlo oprezno i temeljito održavanje. Hrđa bi vrlo brzo napala i uništila veliki dio njegovih preko dva i pol milijuna zakovica i dvanaest tisuća strukturnih dijelova metala s ukupnom težinom od skoro osam tisuća tona od kojih je napravljena konstrukcija da nije bio zaštićen tijekom godina.

Pažljivo planirani sistem održavanja bojenjem bio je presudan zbog relativno tankih debljina metala strukturnih dijelova od kojih je toranj izrađen. Olakšavajuća okolnost je što su glavni nosivi dijelovi konstrukcije tornja, kao i ostali dijelovi građevine, lako dostupni za inspekciju i već prvi znakovi pojave hrđe mogu se otkriti te se tada bez odgađanja prilazi sanaciji.

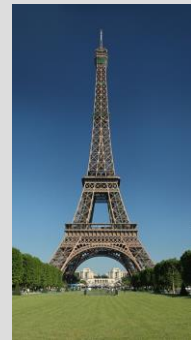
Već je tijekom izrade prvih elemenata konstrukcije tornja velika pažnja posvećena pripremi željeznih nosača za bojenje te nanošenju prvog sloja željezno-oksidne uljne boje. Tijekom montaže izvedena je zaštita zakovica, kao i oštećenih mjesta. Na ovaj temeljni sloj boje nanesena su zatim još dva sloja boje na bazi crvenog željeznog oksida u lanenom ulju koje je bilo bez onečišćenja izazvanih mineralnim uljima, kiselinama, smolama ili nekim drugim materijalom. Oksid je također bio bez onečišćenja stranim česticama i u tu svrhu izvođena su brojna kemijska ispitivanja da bi se postigla tražena čistoća. Takav sistem zaštite nanesen je početkom 1889. godine i tijekom dva mjeseca rada na nanošenju boje cjelokupna unutrašnja i vanjska konstrukcija je zaštićena, a dodatno je nanesen i četvrti sloj vrlo tankog laka.

Već 1892. godine smatralo se da je potrebno osvježiti boju, ukloniti hrđu i ostale nečistoće pa su nanesene prevlake olovne uljne boje. Tijekom 1889., uoči nove Svjetske izložbe odlučeno je nanovo pobojiti Eiffelov toranj i time mu dati bolji izgled te su nanesena još dva sloja boje, različitih nijansi, od tamno narančasto – žute pri dnu tornja do svijetlo žute na njegovom vrhu.

Kad je korištenje bijelog olova u Francuskoj zabranjeno odlučeno je 1907. primjeniti za cjelokupni toranj boju bez olova koja je dala zadovoljavajuću zaštitu do 1914. godine. Te godine rat prekida radove na ponovnom bojenju tornja te se oni završavaju tek 1917. Nanovno nanošenje boja rađeno je i 1924., 1932., 1939., i 1947., a u sličnim razmacima nastavljeno je i do danas, naravno uz primjenu novih znanja i kompatibilnih sistema prevlaka boje.

Svakako da osnovni problem koji je inženjerima poznat i na čijem se rješenju radi predstavlja činjenica da se ne može do u beskraj nanositi nove slojeve boje na postojeće, također već poprilično debele slojeve. Osim toga, za razliku od većine drugih sličnih konstrukcija koje se tijekom radova mogu potpuno zatvoriti, Eiffelov toranj je jedan od najposjećenijih simbola Pariza i kao takav svakodnevno preplavljen turistima. Osim toga on udomi razne službe (meteorološke, TV itd.). Nadalje, primjena modernih i učinkovitijih tehnika pripreme i obrade površine također se ne može primjeniti, a i svi radovi se i nadalje moraju izvoditi ručno. To, kao i ranijih godina, postavlja pred stručnjake koji se brinu o tornju nove izazove i traži nova rješenja kako da toranj sačuvaju od korozije.

Već je i sam G. Eiffel znao da vijek trajanja i sigurnost njegove konstrukcije tornja može biti ozbiljno ugrožena korozijom, pogotovo u nižim dijelovima tornja, pa je napisao: *«Ne može se dovoljno duboko prihvatiti princip da je boja presudni čimbenik u očuvanju metalnih konstrukcija i da je briga koja joj se poklanja jedina garancija trajnosti»* [4].



U najvećem udjelu (prema nekim podacima i preko 80%) nastali tehnički problem očuvanja različitih konstrukcija od korozije rješava se odvajanjem osnovnog materijala koji ima dobra mehanička svojstva od korozivnog okoliša koji ga okružuje nanošenjem površinskog sloja, tj. zaštitnih prevlaka koje mogu biti [1, 2, 3, 5]:

- a. **metalne** (npr. prevlake nikla, zlata, cinka, itd.),
- b. **nemetalne anorganske** (npr. konverzijske prevlake, anodizacijske prevlake, keramičke prevlake i prevlake emajla, itd.) i
- c. **organske** (npr. *premazi*, tj. boje i lakovi, *polimerne prevlake*, itd.).

Primarna funkcija svih prevlaka je zaštita od korozije. **Sekundarna funkcija** može biti postizanje određenih fizikalnih svojstava površine, zaštita od mehaničkog trošenja, postizanje estetskog dojma, povećanje dimenzija istrošenih dijelova, odnosno popravak loših proizvoda, itd.

Pri tom, često, na pojedinim kompleksnim konstrukcijama, kakve su na primjer one brodske, pojedini dijelovi konstrukcije izloženi su bitno različitim korozivnim okolišima, pa je s ciljem učinkovite zaštite potrebno o tome voditi dosta pažnje, tj. **odabrati pogodne sustave zaštite premazima** za svaki pojedini dio konstrukcije te ih nerijetko i **kombinirati s drugim metodama zaštite** (električne, zaštita inhibitorima, konstrukcijske mjere i sl.) kako je to ranije na primjer prikazano na slici 2. Osim, naravno, morskoj vodi, brod je izložen i djelovanju mikroorganizama, ultraljubičastom zračenju, niskim i povišenim temperaturama, agresivnim medijima koji se prevoze i sl., i o svemu tome ovisi odabir sustava zaštite koji će biti primjenjen tijekom gradnje ili remonta broda, slika 3.

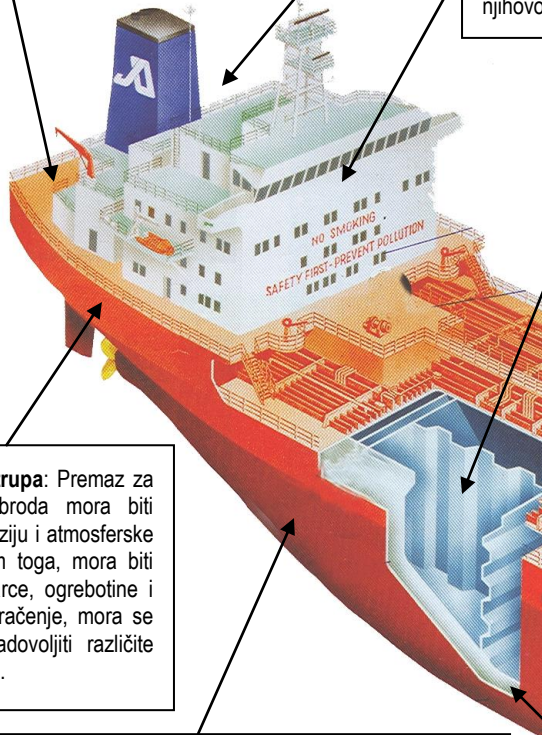
OTVORENI PROSTORI - IZVANA

ZATVORENI PROSTORI - IZNUTRA

Gornja paluba broda i nadgrađe izvana su neprestano izloženi ultraljubičastom zračenju, a paluba je i često prana morskom vodom. Osim toga, paluba broda se oštećuje, odnosno troši, kod rukovanja teretom, zbog čega premaz za palubu mora biti otporan na koroziju i trošenje. Premazi ne smiju biti skliski.

Brodsko strojarnica: Sustav premaza koji se primjenjuje u brodskoj strojarnici mora biti otporan na koroziju, otporan na ulja, mora se lako čistiti i ne smije starenjem mijenjati nijansu. Zidovi strojarnice se boje u bijelo i ta boja s vremenom ne smije požutjeti, jer se na taj način gubi svjetlost u strojarnici. Pored nabrojanih svojstava, zaštitni premazi u brodskoj strojarnici moraju biti i sporogoreći.

Nadgrađe iznutra, prostori na pramcu, ostali pogonski prostori: Osim ovih, ima i drugih prostora na brodu koji zahtijevaju prikladnu zaštitu, ovisno o njihovoj namjeni. To su, na primjer, kupaonice, kuhinja, sobe i dr.



Nadvodni dio trupa: Premaz za nadvodni dio broda mora biti otporan na koroziju i atmosferske utjecaje, a osim toga, mora biti otporan na udarce, ogrebotine i ultraljubičasto zračenje, mora se lako čistiti i zadovoljiti različite estetske kriterije.

PODVODNI DIO TRUPA - Potrebno ga je premazati antikoroziivnom bojom koja osigurava visoku korozivsku postojanost s obzirom na agresivnost morske vode. Osim premaza koji štite brodsko dno od korozije, nanose se i biocidni («antifouling») premazi koji sprečavaju obraštanje površine biljnim i životinjskim organizmima jer obrašteno dno bitno smanjuje brzinu broda, povećava potrošnju goriva te oštećuje antikoroziivni premaz.

PROSTOR TERETA:

Teretni prostor broda (suhi teret) – prostor za kontejnere, palube za automobile, vagoni i lokomotive, «štive» za rasuti teret je zatvoren grotlenim poklopcima ili rampama (npr. brod za prijevoz automobila), a u zatvorenom prostoru često dolazi do kondenzacije para koje oslobađa teret. Ukrcaj i iskrcaj tereta također oštećuje zaštitni premaz. Stoga se teretni prostor broda premazuje vodoopornim premazom i premazom otpornim na trošenje.

Spremnici tereta (mokri teret) – tankovi za sirovu naftu, kemikalije, plin,...

Ovisno o vrsti tereta koji se prevozi, ovisit će i svojstva zaštitnog premaza. Premazi moraju biti otporni na agresivno djelovanje tereta. Moraju biti netopivi i kemijski postojani, kako bi spriječili koroziju spremnika te kontaminaciju samog tereta.

BALASTNI SPREMNICI:

Sprečavanje korozije u balastnim spremnicima provodi se premazima koji imaju visoku otpornost na agresivno djelovanje morske vode u kombinaciji s katodnom zaštitom. Korozija u balastnim spremnicima oslabljuje brodski trup, što može dovesti do prelamanja broda zbog velikih naprežanja kod *valjanja* mora. Kako bi se smanjio broj nesreća i povećala sigurnost plovidbe, pooštreni su zahtjevi za izradu ovih dijelova broda i izvođenja svih kontrolnih radova. Zaštitni premazi u balastnim spremnicima moraju biti svijetle boje, kako bi se korozija prilikom nadzora mogla lakše uočiti.

SPREMNICI PITKE VODE:

Kako bi spriječili koroziju i zadržali čistoću pitke vode, spremnike pitke vode potrebno je premazati visoko vodonepropusnim bojama, koje su odobrene od ovlaštene ustanove.

SPREMNICI TEŠKOGA GORIVA :

Spremnici teškoga goriva izloženi su sumporu, kiselinama i solima koji se nalaze u teškom gorivu, a koji potiču koroziju. Nakon što se spremnik goriva isprazni, pere se parom ili morskom vodom koja također izaziva koroziju. Spremnik teškoga goriva može poslužiti i kao balast, tako da je i na taj način u doticaju s morskom vodom. Zaštitni premazi moraju imati visoku otpornost na agresivno djelovanje goriva i morske vode, a kako bi zaštita bila dodatno sigurna, spremnici se zaštićuju još i katodnom zaštitom.

Slika 3: Prikaz najvažnijih utjecajnih čimbenika bitnih za odabir adekvatnog sustava korozivne zaštite brodskih konstrukcija pomoću premaza [6].

2.1. Priprema metalne površine za nanošenje prevalka

Za postizanje dobre zaštite nužna je dobra predobradba metalne površine prije nanošenja zaštitne prevlake. Ona se sastoji u uklanjanju hrđe, okujine, vlage, prašine i svega ostalog što bi moglo spriječiti dobro prijanjanje prevlake na metalnu površinu, odnosno proizvesti defekte u kontinuitetu filma. Primjenjuju se slijedeće metode čišćenja površine [2,3]:

a- Mehaničko čišćenje brušenjem, kao i čekićarenjem su metode koje se obično koriste za popravke oštećenih površina ili u zaštiti manjih površina.

b- Mlazom abraziva. Obično se koristi kremenij pijesak, zrnca elektrokorunda, čelične sačme, sječene hladno vučene čelične žice, loma tvrdog lijeva, staklenih perli i sl. Mlaz se dobiva obično komprimiranim zrakom, a pjeskarenje se izvodi i mlazom vodene emulzije. U ocjenjivanju stanja površine moguće je koristiti nekoliko vizualnih standarda. Postiže se stupanj hrapavosti prema zahtjevima za prevlaku i način njezinog nanošenja.

c- Čišćenje plamenom. Metoda se koristi uglavnom za popravke oštećenja. Radi se u kombinaciji s mehaničkim čišćenjem. Daje toplu i suhu površinu podesnu za nanošenje prevlaka.

d- Kemijska predobradba. Obično se izvodi u industrijskom pogonu uronjavanjem u inhibiranu otopinu solne ili sumporne kiseline. Fosfatiranje obično slijedi ovaj proces. Metoda se koristi u ograničenom opsegu.

Danas su u uporabi i specijalni uređaji (pipeline travelling machine) za mehaničko čišćenje površina cjevovoda s vlastitim pogonom koji se koriste na mjestu ukopavanja. Predviđeni su za različite načine mehaničkog čišćenja (rotirajuće četke i/ili udarna zrnca abraziva), kao i napravom za nanošenje temeljnog sloja zaštite koji treba štiti metalnu površinu do nanošenja prevlake, odnosno osigurati bolju adheziju metalne površine i prevlake. Brza zaštita onečišćene metalne površine je izuzetno važna, jer je ona vrlo podložna koroziji.

2.2. Organske prevlake - premazi

Organske prevlake imaju nezamjenjivu ulogu u zaštiti metalnih konstrukcija od korozije. Pritom, učinkovitost zaštite ne ovisi isključivo samo o svojstvima prevlake već i o karakteru same metalne osnove, pripremi površine i tehnologiji nanošenja prevlake. U praksi je stoga neophodno uzeti u obzir cijeli sustav i tehnologiju izvođenja zaštite uključujući i najčešće kompliciran sastav same prevlake.

Zaštita metala premazima jedan je od najrasprostranjenijih postupaka zaštite u tehnici, čak $\frac{3}{4}$ metalnih površina zaštićeno je premazima. Jedan od osnovnih razloga tome je relativno niska cijena premaza u odnosu na druge metode zaštite od korozije.

Premazi se, osim u zaštitne svrhe, nanašaju i zbog poboljšanja estetskog izgleda metalne površine (dekorativni premazi) pa tako postoje bezbojni i različito obojeni premazi, zatim mutni, sjajni i mat premazi, a moguće je postići i dojam sjajnog ili kovanog metala. Postoje i razni specijalni premazi raznolike funkcije, kao na primjer: premazi za električnu izolaciju, kitovi, premazi za označavanje, antivegetativni premazi za zaštitu podvodnih konstrukcija, protupožarni premazi itd [2].

Osnovni cilj nanošenja premaza je razdvajanje metalne podloge i okoliša pa stoga oni moraju biti dovoljno postojani i trajni u uvjetima eksploatacije. Tako je i najvažnije tehničko svojstvo premaza njihova trajnost.

Sustav zaštite premazima sastoji se obično od temeljnog sloja, jednog ili više međuslojnih slojeva te završnog sloja, od kojih svaki ima svoju ulogu. Općenito se može reći da je premaz materijal koji je nakon nanošenja na podlogu stvorio čvrsti film.

Organske prevlake – premazi sastoje se od četiri osnovne komponente [1, 2, 7,8]:

- **veziva** – neisparljive organske tvari u obliku viskoznih kapljevina ili smola,
- **pigmenata** – različiti anorganski oksidi, hidroksidi i soli, metalni elementi, ugljik i neki organski spojevi u obliku netopljivih čestica,
- **aditiva i punila** – npr. katalizatori polimerizacije (umrežavanja), omekšivači (plastifikatori) i organski inhibitori korozije, prirodne i umjetne anorganske tvari (za punila) koje

značajno pojeftinjuju premazna sredstva, a mogu djelovati na poboljšavanje određenih svojstava (npr. sprečavanje slijeganja pigmenata) i

- **otapala** – najčešće su to smjese organskih kapljevinu koje moraju biti prilagođene vrsti veziva.

Svaka prevlaka mora štiti podlogu, ali glavna svrha prevlačenja može biti različita ovisno o namjeni prevlake. Podjela premaza prema namjeni može se izvršiti na: temeljne boje ili primere, antikorozijske boje te premaze za zaštitu od obraštanja (anti-fouling). Sprječavanje korozije postiže se pomoću učinka barijere, učinka inhibitora, te galvanskih učinaka.

Korozijska zaštita koju pružaju organske prevlake u osnovi je rezultat bilo barijernog djelovanja zaštitnog sloja, inhibiranja korozije pomoću aktivnog djelovanja pojedinih pigmenata u prevlaci ili galvanskog djelovanja pigmenata.

Učinak barijere se postiže primjenom debelih premaza (od 250 do 500 μm) vrlo niske propusnosti na vodu, čime se stvara barijera. Dodavanjem pigmenata u listićima, npr. aluminijska u listićima, može se postići učinak barijere i pri manjim debljinama zaštitnog filma. Pigmenti u listićima orijentirani su paralelno s površinom čelika, tako da medij ima duži i kompliciraniji prolaz oko pigmenata do površine koja se štiti. Zbog svojih svojstava nepropusnosti, učinak barijere je prvi i često jedini izbor zaštite premazima za čelik koji je neprekidno uronjen.

Učinak inhibitora postiže se uporabom temeljnih boja koje sadrže inhibitore što usporavaju ili sprečavaju proces korozije. Zbog toga što su topivi u vodi, nisu pogodni za zaštitu površina koje su duže vrijeme uronjene. Takvo izlaganje bi rezultiralo pojavom mjehurića i ranom uništavanju zaštitnog premaza.

Galvanski učinak može se postići bojama koje sadrže velike količine metalnog cinka. U ovom slučaju cink je neplemenitiji materijal i on će biti izložen koroziji, dok će čelik biti zaštićen. Kako su produkti korozije cinka malo topivi u vodi, prevlake s cinkovim prahom nisu pogodne za površine koje su neprestano uronjene u vodi, ali cinkov silikat se zbog svoje dobre otpornosti na otapala primjenjuje kao zaštita u spremnicima za otapala.

Jedna od najslabijih točaka svih vrsta organskih prevlaka u sprečavanju korozije je činjenica da se ove prevlake relativno lako mogu oštetiti uslijed mehaničkih ili toplinskih opterećenja, što može dovesti do korozije ispod prevlake u području uz oštećenje obzirom da barijerna svojstva prevlake više ne pružaju dovoljnu zaštitu. **Aktivni pigmenti** često su dodani polimernoj matrici prvog sloja sustava prevlaka, tj. temeljnom sloju i oni tada pružaju zaštitu pomoću aktivnog inhibitorskog ili galvanskog mehanizma u slučaju kada voda, odnosno medij, dođe u direktni kontakt s metalnom podlogom prilikom oštećivanja zaštitne prevlake.

Podjela premaza moguća je na više načina, no u praksi je ipak najčešće **razvrstavanje prevlaka na osnovi vrste vezivnog sredstva**. Prema toj podjeli, najvažnije skupine prevlaka su na osnovi: sušivih ulja, poliplastičnih veziva (alkidne smole), epoksidnih smola, poliuretanskih smola, vinilnih smola, akrilata, politetraflouretilena (PTFE), nezasićenih poliestera, fenoplasta, silikona, prirodnih smola i gumenih veziva na osnovi vulkaniziranog kaučuka.

U novije se vrijeme teži sniženju udjela zapaljivih, eksplozivnih i otrovnih otapala u premazu te zamjeni premaza na bazi otapala **ekološki prihvatljivijim premazima**. Naime, otapala su organski spojevi niske molekulske mase koji su lako hlapljivi i koji tijekom formiranja filma onečišćuju okoliš i zagađuju atmosferu. Visoko reaktivni produkti razgradnje organskih otapala reagiraju s ispušnim plinovima iz automobila i tvornica (prije svega dušikovim oksidima) te nastaju spojevi koji djeluju na lokalnu klimu, ozonski omotač te štetno djeluju na metabolizam živih organizama. Tako su organska otapala, još prije nekoliko godina, zbog štetnog djelovanja na okoliš i zdravlje ljudi prepoznata kao veliki ekološki problem.

Da bi se spriječilo daljnje onečišćavanje okoliša, posljednjih nekoliko godina razvijani su premazi niže molekulske mase - **vodorazrjedivi premazi**, čije otapalo ima nezagađujuće svojstvo i kojima se reducira otpuštanje štetnih spojeva u atmosferu. Isto tako, doneseni su brojni propisi kojima se nastoji smanjiti emisija štetnih tvari u okoliš, prije svega smanjenjem korištenja organskih otapala. Zbog ozbiljnosti situacije, propisi o dozvoljenoj količini emisija štetnih tvari u okoliš bivaju sve stroži, kontrole sve intenzivnije, a pritisak na smanjenje organskih otapala povećava se i porastom cijena otapala.

Danas se vodorazrjedivi premazi koriste za bojenje raznih čeličnih konstrukcija, mostova, spremnika, transportnih kontejnera, auto-dijelova, poljoprivrednih strojeva, metalnog namještaja, željezničkih vagona itd. Noviji tipovi epoksi vodorazrjedivih premaza mogu se koristiti i u zaštiti offshore postrojenja, te za zaštitu metalnih dijelova koji su izloženi jako korozivnim sredinama u teškoj industriji, kao npr. za zaštitu postrojenja za naftu i plin, spremnika, morskih i kemijskih postrojenja te za zaštitu u graditeljstvu [2, 4, 6, 7].

Iako većina suvremenih vodorazrjedivih premaza pruža vrlo dobru zaštitu od korozije i u agresivnijim sredinama, ta zaštita još uvijek nije na razini koju pružaju premazi na bazi otapala. Stoga se oni još uvijek usavršavaju, a tehnologiju koja je još uvijek novost u industriji nastoji se učiniti prihvatljivijom krajnjem korisniku [6, 8].

Pri tom, ovisno o vrsti veziva, premaz može otvrdnuti (skrutiti se) na dva osnovna načina [2, 8]:

- **fizikalnim isparavanjem** jedne od komponenti otapala (razređivača),
- **kemijskim reakcijama** (najčešće oksidacijom) u vezivu ili s vezivom,

Kemijski proces otvrdnjavanja, koji se često u literaturi i zasebno klasificira prilikom opisa načina otvrdnjavanja premaza je i **polimerizacija** – tj. proces otvrdnjavanja uslijed oksidacijske kemijske reakcije uz sudjelovanje kisika iz zraka, umrežavanja nezasićenih polimera vlagom iz zraka ili uslijed reakcije između veziva i otvrdnjivača kod dvokomponentnih premaza, a koji se miješaju neposredno prije nanošenja. Premazno sredstvo u tom slučaju polimerizira i tvori umreženu strukturu, a njegova kasnija svojstva uvelike su određena stupnjem i prirodom tog umrežavanja.

2.3. Priprema površine za nanošenje premaza

Priprema površine je od vitalne važnosti za optimalni vijek trajanja premaza, jer što je podloga kvalitetnije pripremljena, to je vijek trajanja premaza duži. Priprema površine se sastoji od **primarnog i sekundarnog postupka**.

Primarna priprema površine je priprema limova i profila (ili dijelova prostora, konstrukcija,..) koji nisu ranije bili ni na koji način antikorozivno zaštićeni. Uglavnom se provodi u automatskim postrojenjima. Sekundarna priprema površine je priprema oštećenih ili propalih dijelova površine, koji su ranije bili zaštićeni shopprimerom [6].

Odmah nakon primarne pripreme površine, na čelični lim se aplicira **radionički temeljni premaz ili shopprimer**, koji treba privremeno štiti čelični lim od korozije tijekom gradnje konstrukcije, tj. do faze nanošenja specificiranog sustava premaza. Primjenjuju se u razmjerno malim debljinama filma, 15 do 25 μm , jer prevelika debljina filma može imati negativan učinak na brzinu i kvalitetu rezanja odnosno zavarivanja. Posebni zahtjevi za ovakve temeljne premaze su: zaštita od korozije tijekom gradnje, trebaju biti primjenjivi raspršivanjem u raznim automatskim postrojenjima, vrijeme sušenja premaza mora biti vrlo kratko, ne smiju negativno utjecati na brzinu zavarivanja ili rezanja, ne smiju stvarati štetne ili otrovne pare za vrijeme procesa zavarivanja ili rezanja, ne smiju negativno utjecati na svojstva zavarenog spoja, moraju izdržati «grubo» rukovanje u pogonskim i transportnim uvjetima, otporni na vodu, a ujedno moraju tvoriti podlogu pogodnu za sve vrste premaznih sustava.

Kao abrazivno sredstvo kod primarne pripreme uglavnom se koristi kuglasta čelična sačma, pri čemu dobijemo oblik površine koja nema oštih vrhova koji bi mogli probiti tanki (25 μm) mokri premaz, dok se sekundarna priprema površine najčešće provodi pomoću oštrobriđne sačme, čime se postiže bolji profil usidrenja premaza na površinu metala.

Sekundarna priprema površine ima za cilj i uklanjanje različitih onečišćenja s površine (sol, prljavština, masne tvari), nehomogenosti nastale zavarivanjem, postizanje određenog stupnja i oblika hrapavosti te otprašivanje, a provodi se prije nanošenja specificiranog sustava zaštite premazima [6].

2.4. Uvjeti nanošenja premaza - bojenjenje

Dobar rezultat procesa bojenja (nanošenja premaza) ovisi o pomnom planiranju svih aktivnosti, odgovarajućim radnim uvjetima, povoljnim mikroklimatskim uvjetima, ispravnom odabiru metode primjene te vještini radnika.

Dokumentacijom bojenja su razrađeni svi procesi pripreme i zaštite površine sustavima premaza s točno specificiranim tipovima premaza, pri čemu treba uzeti u obzir vrijeme potrebno za montažu i demontažu skela, sušenje, otvrdnjavanje i za međupremazne intervale te mikroklimatske uvjete (temperaturu podloge, rosište, okolnu temperaturu, relativnu vlažnost i temperaturu boje).

U **radnim uvjetima** u zatvorenom ili ograničenom prostoru potrebno je predvidjeti jaku ventilaciju zbog opće sigurnosti, a isto tako i zbog sušenja premaza. Sve površine na koje se nanosi premaz moraju biti pristupačne i odgovarajuće osvijetljene. Osvjetljenje treba imati intenzitet od 500 do 1000 luxa.

Temperatura podloge je bitna, jer da bismo spriječili kondenziranje koje je uzrok naknadnom odvajanju boje, temperatura površine mora biti minimalno 3°C iznad točke rosišta.

Odgovarajuća temperatura okoliša za nanošenje premaza ovisi o tome radi li se u zatvorenom ili otvorenom prostoru. Nadalje, premaz se nanosi kod **relativne vlažnosti** manje od 85%, jer previsoka relativna vlažnost može uzrokovati rošenje površina.

Temperatura boje je također važna, jer kod niskih temperatura neke se dvokomponentne boje neće stvrdnuti, zato što kemijska reakcija između veziva i otvrdnjivača gotovo prestaje. Također, kod opadanja temperature, viskoznost boje raste, što rezultira slabom raspršljivošću boje tj. boja se teško nanosi [6].

2.5. Nadzor i kontrola pri bojenju

Što su zahtjevi zaštite veći, to se povećavaju i zahtjevi izvedbe radova i stupnja kvalitete i nadzora pri bojenju. Nadziranje se dijeli u tri različite faze koje se odvijaju u skladu s postupkom površinske zaštite [6].

Faze kontrole i nadzora:

1. **Kontrola prije bojenja** – pregled da li je pripremljena površina za bojenje u skladu s definiranim standardom,
2. **Kontrola tijekom bojenja** – međufazne kontrole premaza - uz većinu već navedenih tehnoloških postupaka iz prethodne faze, kontrolira se još i debljina mokrog filma,
3. **Kontrola nakon bojenja** – pregled debljine suhog filma, potrebno je provjeriti - ispitati zahtjeve vezane i uz opći izgled i kontinuitet (bez rupica) premaza, adheziju te npr. glatkoću.

2.6. Nanošenje premaza

Veliki utjecaj na svojstva zaštite od korozije premazima ima i pravilan odabir postupka bojenja. Boja (premaz) može se nanijeti nekim od slijedećih postupaka [2]:

- bojenjem četkama,
- nanošenjem boje lopaticama,
- bojenjem valjcima,
- prskanjem boje (“štrcanjem”, “naštrcavanjem”),
- uranjanjem i prelijevanjem,
- elektroforezom,

što ovisi o vrsti premaza, zahtjevanoj brzini nanošenja (rada), veličini predmeta ili konstrukcije, dostupnosti ventilacije kao i o ekološkoj prihvatljivosti.

2.7. Organske prevlake posebne namjene – protuobraštajni premazi

Obraštanje (engl. fouling) označava nastanjivanje kolonija biljnih i životinjskih morskih organizama na uronjenim površinama brodova (slika 4), bova, offshore postrojenja i različitih drugih uronjenih konstrukcija (slika 5).



Slika 4: Obraštanje podvodnog dijela brodskog trupa *Slika 5: Obraslo dno plutajuće platforme*

Kontrolirati obraštanje u naravi znači riješiti problem adhezije morskih organizama. Obraštanje počinje u trenutku kad je umjetno stvoreni objekt uronjen u more, a nastupa bilo da se radi o metalu, drvu, kamenu ili plastici.

Obraštanje je vrlo dinamičan proces na koji mogu utjecati strujanje mora, mehanička oštećenja, slanost mora, količina svjetla, temperatura, zagađenje i dostupnost nutrijenata. Jačina obraštanja je i sezonski fenomen koji ovisi i o geografskom položaju. Poznavajući područje u kojem će brod ploviti moguće je procijeniti rizik od obraštanja. Najugroženiji su brodovi koji plove pri nižim brzinama, brodovi male aktivnosti te brodovi koji najviše plove u tropskim i subtropskim morima.

Obraštanje i dotrajalost površine glavni su uzroci povećanja hrapavosti, a hrapavost vanjske oplata podvodnog dijela trupa ima najveći utjecaj na otpor trenja. Kod sporih brodova, u koje možemo ubrojiti većinu trgovačkih brodova, udio otpora trenja u ukupnom otporu može iznositi i do 90%. Općenito se smatra da prisutnost sluzi na

podvodnom dijelu oplata broda uzrokuje povećanje otpora od 1-2%, morske trave otpor će povećati za 10%, a školjke na dnu za čak 40%. S pojavom obraštanja rastu troškovi održavanja broda (brod mora češće u dok, priprema površine i nanošenje premaza iziskuju više vremena i sredstava), a smanjuje se upravljivost broda. Utjecaj na okoliš evidentan je i ozbiljan jer povećana potrošnja goriva rezultira povećanom emisijom štetnih plinova (CO₂, NO_x, SO_x) i uzrokuje širenje morskih organizama iz prirodnog staništa u područja gdje mogu predstavljati prijetnju ekološkoj ravnoteži [10].

Osim povećanja mase uronjenih konstrukcija uslijed obraštanja, povećanja otpora i smičnih naprezanja problem je nerijetko i anaerobna korozija metalnih površina koja nastaje kad uslijed obraštanja nastane barijera između morske vode i površine. Takva barijera stvara mikrokoliš s pH vrijednošću u kiselom području, visokim sadržajem Cl⁻ iona i bez prisustva kisika što stvara povoljne uvjete za nastanjivanje anaerobnih bakterija i pokretanje mehanizma mikrobiološki poticane korozije uz njihovo djelovanje.

Primjer: Bitka u tjesnacu Tsushima

Odlučujuća bitka u rusko – japanskom ratu odigrala se u tjesnacu Tsushima 1905. godine. U njoj je japanska ratna mornarica uništila cijelu rusku Baltičku flotu kojoj je osjetno bila smanjena manevarska sposobnost, u prvom redu brzina. Ruskoj Baltičkoj floti bio je naime onemogućen prolaz kroz Sueski kanal i bila je prisiljena mjesecima ploviti na Daleki istok iz Baltičkog mora oko Rta dobre nade kroz topla tropska mora, i to bez dokovanja. Korozija i obraštanje bitno su smanjili brzinu i manevarska svojstva ruskih ratnih brodova što je imalo velik utjecaj i na ishod same bitke (od 28 brodova ruske carske mornarice potopljen je 21 ratni brod, od toga 7 bojnih brodova, a gubici su bili preko 4300 poginulih i gotovo 6000 zarobljenih vojnika, za razliku od onih japanske carske mornarice koji su iznosili samo 3 torpedna broda i stotinjak poginulih) i u konačnici i cijelog rusko – japanskog rata [2].

VRSTE PROTUOBRAŠTAJNIH PREMAZA:

Klasična tehnologija zaštite od obraštanja - TBT spojevi

Premazi na bazi organokositrenih spojeva (TBT) komercijalizirani su 60-ih godina 20.st. i pozdravljeni kao "čarobno oružje" jer su pružali potpunu zaštitu od obraštanja u periodu od 5 godina, a bilo ih jednostavno nanositi. Činilo se da je problem obraštanja napokon riješen, no ranih 80-ih godina 20. stoljeća uočeno je da organokositreni spojevi ne ubijaju samo organizme koji obraštaju brodove, već truju i široki spektar ostalih morskih organizama. Devedesetih su godina izbačeni iz upotrebe, a danas i u potpunosti zabranjeni [11].

Suvremene tehnologije zaštite broskog trupa od obraštanja

Danas se u zaštiti broskog trupa od obraštanja gotovo isključivo koriste premazi koje možemo podijeliti u dvije skupine: 1) Biocidni i 2) Neobraštajući premazi.

Biocidni antivegetativni premazi

Učinkovitost biocidnih antivegetativnih (antifouling – AF) premaza ovisi i o samom biocidu i o tehnologiji koja kontrolira otpuštanje biocida. Bakar (Cu_2O , CuSCN i metalni bakar) je glavno biocidno sredstvo (učinkovit protiv obraštaja životinjskih organizama dok biljni organizmi pokazuju veću otpornost prema djelovanju bakra) koje se koristi u antivegetativnim premazima zajedno sa brzo razgradivim pojačivačima biocida.

Glavne karakteristike uspješno pojačanog biocida su [9, 10, 11]:

- vrlo niska topivost u morskoj vodi (manje od 10 ppm, da se ne bi prebrzo otpuštali iz premaza),
- bezopasnost za čovjeka/okoliš i
- prihvatljiva cijena.

Podjela biocidnih protuobraštajnih (antivegetativnih, AF) premaza prema mehanizmu otpuštanja biocida prikazana je u tablici 1.

Tablica 1: Podjela AF premaza prema mehanizmu otpuštanja biocida [11].

<p style="text-align: center;">Premazi bazirani na prirodnim smolama</p>	<p>Premazi s topivom matricom (<i>engl. controlled depletion polymer, CDP</i>) Sadrže više od 50% prirodne smole ili njenih derivata u vezivu, a biocid je bakreni oksid zajedno s pojačivačima. Iako se u teoriji ovi premazi mogu otapati i imaju polirajući efekt, u praksi se to ne događa zbog gomilanja bakrenih soli i ostalih netopivih spojeva što stvara debeli iscrpljeni sloj. Karakteristike su im zadovoljavajuće za primjenu u područjima s niskom stopom obraštanja i na brodovima s kratkim intervalima između dokiranja. Značajke:</p> <ul style="list-style-type: none"> - visoka mehanička čvrstoća - prazna matrica pridonosi povećanju hrapavosti broskog trupa - premaz je moguće reaktivirati struganjem prazne matrice, ali to može izazvati ponovni rast morskih trava koje su se naselile u šupljinama - kratki životni vijek, do 18 mjeseci
	<p>Premazi s netopivom matricom (<i>engl. contact leaching antifoulings</i>) Kod ove vrste premaza zbog malog udjela smole nema otapanja tijekom vremena pa se na površini stvara debeli <i>iscrpljeni</i> sloj (difuzija biocida iz dubljih slojeva je usporena, a prazna matrica povećava hrapavost). Premaz je moguće reaktivirati struganjem prazne matrice, ali to može izazvati ponovni rast morskih trava koje su se naselile u šupljinama. Značajke:</p> <ul style="list-style-type: none"> - visoki udio prirodne smole, bakar kao glavni biocid - niska mehanička čvrstoća - debeli iscrpljeni sloj zbog gomilanja netopivih spojeva (soli, nečistoće) - pruža zaštitu u trajanju do 36 mjeseci - cijena najniža među AF premazima bez kositra
<p style="text-align: center;">Premazi bazirani na samopolirajućim kopolimerima (SPC)</p>	<p>Biocidi se otpuštaju u procesu hidrolize ili ionskom zamjenom između akrilnog polimera i morske vode isključivo u blizini površine (sloj tanji od 30 µm) što omogućava kontrolu otpuštanja biocida i proizvodi efekt samozaglađivanja (povoljno s hidrodinamičkog stajališta). Idealni su za primjenu na novogradnjama (čvrst i trajan film premaza). Glavni biocid je bakreni oksid zajedno sa cink oksidom (ZnO, ZnO₂), pojačivačem koji se brzo razgrađuje a ne akumulira se u morskom okolišu. Mnogo su učinkovitiji od CDP premaza (stopa otpuštanja biocida je konstantna dokle god postoji sloj premaza). Značajke:</p> <ul style="list-style-type: none"> - otpuštanje biocida i otapanje polimera u tankom površinskom sloju – efekt samozaglađivanja - čvrst i trajan film premaza – idealno za primjenu na novogradnjama - glavni biocid je bakar oksid sa cink oksidom kao pojačivačem - stopa otpuštanja biocida konstantna dokle god postoji sloj AF premaza - zaštita do 60 mjeseci, ovisno o uvjetima u službi
<p style="text-align: center;">Hibridna SPC/CDP tehnologija</p>	<p>Ovaj relativno novi tip antivegetativnih premaza je kombinacija samopolirajućih premaza (SPC) i CDP tehnologije na bazi prirodnih smola (mali udio otapala, smanjen iscrpljeni sloj). Smoli je dodan vodotopivi polimer (npr. bakreni akrilat) i pojačivač (cink-oksidi). Učinkovitosti i cijena ovog tipa premaza nalaze se između performansi i cijena SPC i CDP tehnologija. Značajke:</p> <ul style="list-style-type: none"> - mali udio otapala, kontrolirana stopa otpuštanja biocida - trajniji film u odnosu na CDP premaze - učinkovitost i cijena između performansi CDP i SPC tehnologija - životni vijek do 36 mjeseci

Neobraštajući premazi

Sa stanovišta zaštite okoliša najpoželjniji pristup zaštiti broda od obraštanja svakako je onaj koji se ne oslanja na otpuštanje biocida u morski okoliš. Od mnogih ideja samo je tzv. *foul release* tehnologija uspješno komercijalizirana. *Foul release* silikonski premazi su vrlo glatki što otežava adheziju morskih organizama (morski organizmi *radije* obraštaju hrapave površine). Dok samopolirajući (SPC) premazi imaju *zatvorenu teksturu* sa učestalim šiljcima i udolinama nalik na površinu planinskog lanca, *foul release* sustavi imaju površinu *otvorene teksture* nalik na malo valovitu morsku površinu.

Osnovne značajke ovih AF premaza su [11]:

- bez biocida,
- silikonska baza stvara vrlo glatku površinu koja otežava obraštanje,
- vrlo mekani, podložni mehaničkim oštećenjima,
- za samočišćenje potrebna velika brzina plovidbe ili visoka aktivnost broda,
- 5-10 puta skuplji od ostalih AF premaza.

Unatoč atraktivnim karakteristikama ovih AF premaza do njihove šire primjene nije došlo uglavnom zbog toga što većinu svjetske flote čine tankeri i brodovi za rasuti teret koji ne plove pri dovoljno velikim brzinama i nemaju dovoljnu aktivnost da bi danas dostupni *foul release* premazi pokazali svoju učinkovitost i opravdali svoju cijenu koja je 5 do 10 puta viša od cijene ostalih AF premaza [10].

2.8. Organske prevlake – plastifikacija / polimerne prevlake

Postupcima plastifikacije se na različite metalne i nemetalne proizvode nanose prevlake od plastičnih masa, najčešće većih debljina (od 0,2 do 5 mm). Iako su po svom sastavu ove prevlake vrlo slične premazima s poliplastičnim vezivima, uvelike se razlikuju od njih po tehnologiji nanošenja.

Trend zaštite okoliša, koji je poseban utjecaj i važnost dobio proteklih godina značajno je utjecao i na povećanu upotrebu polimernih prevlaka koje se nanose u čvrstom stanju za zaštitu različitih konstrukcijskih materijala od korozije, obzirom da kod postupaka plastifikacije ne dolazi do isparavanja hlapivog otapala koje značajno opterećuje okoliš.

Procijenjeno je da se godišnje u atmosferu ispusti približno 360 000 tona hlapivih organskih komponenti kao rezultat nanošenja premaza. Na ubrzani razvoj i povećanje primjene polimernih prevlaka kao i na sve strože zahtjeve očuvanja okoliša te zbog povećane ekološke svijesti industrija premaznih sredstava je odgovorila razvijanjem cijelog niza vodorazrjedivih boja - premaza, kod kojih je hlapiva organska komponenta zamijenjena vodom. Trenutno u Europi približno 10-15% svih nanešenih organskih prevlaka za zaštitu od korozije čine polimerne prevlake koje se nanose nekim od postupaka plastifikacije, a 75-85% od njih su na bazi epoksida. Za zaštitu od korozije vrlo često se još primjenjuju i praškovi na bazi poliestera i polietilena [5, 12, 13].

Postupci plastifikacije se primjenjuju za zaštitu nelegiranih ugljičnih čelika, dodatnu zaštitu vruće pocinčanih čelika (tzv. duplex sistemi zaštite) ili za nanošenje prevlake na neželjezne materijale poput aluminija. Vrlo često u, sa stajališta korozijske agresivnosti, najzahtjevnijim medijima, tj. eksploatacijskim uvjetima, kada je ponekad i estetska značajka izgleda zaštitne prevlake od manje važnosti, jedino moguće tehničko rješenje za zaštitu od korozije upravo su, najčešće, debeloslojne polimerne prevlake [5, 12, 13].

Glavne skupine polimernih praškova za elektrostatsko naprašivanje

Kao što je to slučaj i sa svim drugim vrstama prevlaka, sastav, tj pojedine komponente u najvećoj mjeri utječu na svojstva, način primjene kao i karakteristike prevlake u eksploataciji. I sastav praškova – njegova formulacija sličan je sastavu premaza navedenom u uvodnom dijelu, s tom razlikom što su pojedine komponente u čvrstom stanju. Osnovne komponente praškova za elektrostatsko naprašivanje su: vezivo, različiti aditivi (npr. za očvršćavanje, ubrzivači učvršćivanja, dodaci za smanjenje sjaja, postizanje teksture, reološki dodaci itd.), pigmenti, punila i voskovi.

Veziva koja su ključni element prevlake i koja se neprekidno razvijaju s ciljem proširivanja područja primjene ovog postupka zaštite materijala mogu biti duromerna ili plastomerna (termoplastična). Najzastupljeniji su duromerni praškovi, koji su tvrdi, imaju bolju adheziju za podlogu i otporniji su na otapala i mnoge kemikalije. Najznačajnije duromerni praškovi su na osnovi epoksida, smjesa epoksida i poliuretana (tzv. hibridni praškovi), akrilata, i smjese uretana i poliestera te tzv. TGIC poliesteri. Kao plastomerni (termoplastični) praškovi koriste se PVC, poliamidi, poliesteri, polivinilfluoridi (PVF) i poliolefini, a zbog svojih svojstava, obzirom da su uobičajeno veće molekularne težine zahtijevaju i primjenu viših temperatura za taljenje, te se najčešće koriste u postupcima fluidizacijskog nanošenja prevlaka [5, 12, 13]

Postupci nanošenja polimernih prevlaka

Za nanošenje polimernih prevlaka razvijen je veliki broj postupaka, od kojih su najvažniji: lijepljenje i oblaganje, vruće prskanje, nataljivanje, fluidizacija i elektrostatičko naprašivanje. Od nabrojanih postupaka nanošenja polimernih prevlaka najveći tehnički značaj imaju postupci elektrostatskog naprašivanja i fluidizacije.^{3, 6} Kao i kod nanošenja premaza, i kod svih postupaka nanošenja polimernih prevlaka od izuzetne je **važnosti stanje površine podloge** za postizanje odgovarajućih svojstava prevlake i njene trajnosti. Tako se, osim postupaka sačmarenja oštrobridnom sačmom radi postizanja odgovarajućeg profila usidrenja primjenjuju i drugi postupci, npr. kemijsko nagrizanje. Prije elektrostatskog naprašivanja čelične podloge se fosfatiraju dok se kod aluminijskih podloga izvodi postupak kromatiranja ili, u novije vrijeme tzv. beskromatne zaštite, uslijed sve većih

ekoloških zahtjeva za izbjegavanjem kromatiranja obzirom na kancerogenost iona 6–valentnog kroma [5, 12, 13]

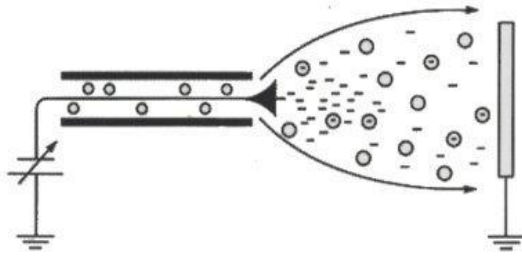
Elektrostatičko naprašivanje

Elektrostatičko naprašivanje vrlo često naziva se i suhim ličenjem, stoga što se kod ovog postupka plastifikacije metalnih podloga ne primjenjuje razrjeđivač niti otapalo, već se nanosi suhi polimerni prašak. Iz navedenog proizilazi i velika ekološka prednost ovog postupka, inače tehnološki vrlo srodnog elektrostatskom nanošenju boja i lakova, koja je i jedan od bitnih razloga njegove sve veće primjene, posebice zbog sve strožih zakonskih propisa koji reguliraju količinu ispuštanja para organskih otapala u pogonima za nanošenje premaza (lakirnicama). Osim navedenog smanjenja tj. izbjegavanja emisije otapala u atmosferu, postupak elektrostatskog naprašivanja polimernog praha, u odnosu na srodan postupak nanošenja premaza ima i druge, u prvom redu ekološke prednosti, od kojih su najvažnije [2, 5, 12, 13]:

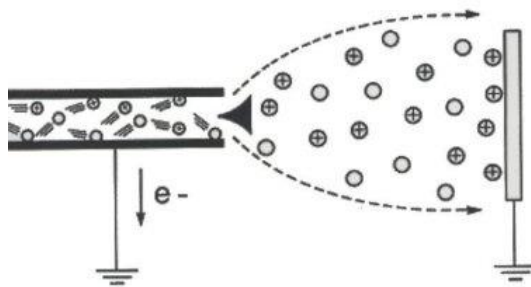
- veća mogućnost regeneriranja neiskorištenog praška (pomoću odgovarajućih pneumatskih separatora),
- smanjeno zagađivanje, kao i potreba obrade otpadnih voda,
- nema nakupljanja opasnog otpada,
- smanjenje utroška energije jer se topli zrak u dijelu postrojenja za zagrijavanje može vraćati u proces, obzirom da u njemu nema ishlapljelog otapala ili razrjeđivača.

Od svih postupaka nanošenja polimernih prevlaka, postupak elektrostatskog naprašivanja je najzastupljeniji i u većini slučajeva izvodi se u automatiziranim postrojenjima. Kod ovog postupka, čestice polimernog praška nabijaju se jednim od slijedeća dva načina:

- «klasičnim» elektrostatskim nabijanjem čestica (*tzv. corona procesi*), prolaskom praška kroz visokonaponsko električno polje u pištolju (slika 6), ili
- nabijanjem čestica uslijed trenja (*tzv. tribo – sistemi*), kod kojeg elektrostatsko nabijanje čestica nastaje kao posljedica trenja praška o izolatorske stijenke pištolja (slika 7).



Slika 6: Elektrostatsko nabijanje praška – corona proces [14, 15].



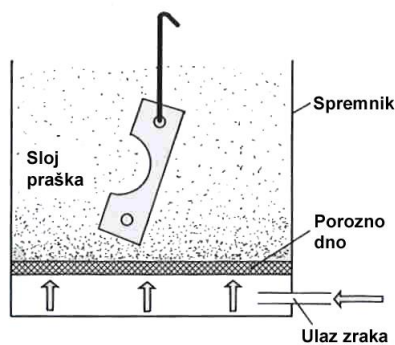
Slika 7: Tribo-sistem nabijanja praška [14, 15].

Nakon elektrostatskog nanošenja praša, predmeti se obrađuju grijanjem (pečenjem) na 180 do 250 °C, pri čemu se iz praša taljenjem oblikuje prevlaka. Proces nastanka prevlake odvija se pritom u tri faze: taljenje praška, povezivanje i razlijevanje. Kod duromernih praškova pritom se odvija još i proces kemijskog otvrdnjavanja.

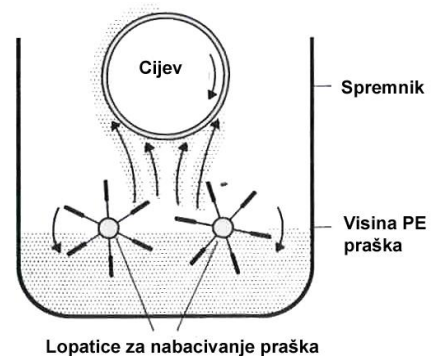
Fluidizacija / sinteriranje

Kod ovog postupka nanošenja polimerne prevlake zagrijani predmet «uranja» se u uskovitlani sloj poliplasta koji nastaje propuhivanjem zraka ili dušika kroz porozno dno posebnog spremnika. U pravilu, predmeti se zagrijavaju na 100 do 200 °C iznad tališta poliplasta. Ovisno o debljini podloge, kao i vrsti praška koji se nanosi, temperature predgrijavanja kreću se od 180 do 400 °C, te su znatno više nego kod elektrostatskog napašivanja. Ovisno o toplinskom kapacitetu obrađivanog predmeta, tj. podloge, kao i o temperaturi predgrijavanja i vremenu uranjanja u sloj uskovitlanog polimernog praška stvara se prevlaka taljenjem sinteriranog polimera izvan samog spremnika. Uobičajene debljine prevlaka koje se mogu postići jednim uranjanjem

kreću se od 200 do 500 μm , a u posebnim slučajevima moguće je postići prevlake debljine i preko 1 mm. U prvom redu kao pogodni polimerni materijali za ovaj postupak nanošenja dolaze u obzir termoplastični praškovi na osnovi poliamida, polivinilklorida i polietilena, koji se najčešće i nanosi, a koriste se i toplinski očvrstivi praškovi na bazi epoksida. Osim nanošenja praška u odgovarajućim spremnicima propuhivanjem zrakom (slika 8), moguće je postizanje fluidnog sloja polimera vibracijama spremnika ili, npr. centrifugalno kako je to prikazano na slici 9. Taj postupak prije svega se koristi za nanošenje prevlaka na vanjske i unutrašnje stijenke cijevi i spremnika [2, 13]



Slika 8: Princip nanošenja polimerne prevlake propuhivanjem [13].



Slika 9: Princip nanošenja polimerne prevlake centrifugalnim postupkom [13].

Osim opisanog postupka, razvijen je i postupak elektrostatičke fluidizacije koji se temelji na principu elektrostatske ionizacije praška u spremniku čime nastaje uskovitlana ionizirana kupka - sloj u koji se uranjaju uzemljeni predmeti, koji za razliku od klasičnog postupka ne moraju biti predgrijani. Prednost ovog postupka, osim toga što predmeti ne trebaju biti predgrijani je i veća brzina nanošenja prevlake i njena veća ujednačenost pogotovo kod manjih dijelova jer se čestice nabijenog praška više privlače na nezaštićena mjesta nego na ona na kojima je prevlaka. Osnovni nedostatak postupka je smanjena mogućnost postizanja kvalitetne prevlake u područjima unutrašnjih kuteva kod profiliranih predmeta zbog dobro poznatog efekta Faradayevog kaveza.

Praktični primjeri uporabe polimernih prevlaka

Zaštita materijala polimernim prevlakama u posljednjih dvadesetak godina, moglo bi se reći, revolucionalizirala je dio industrije koji se bavi zaštitom materijala obzirom da je u velikoj mjeri omogućila postizanje trajnih i u isto vrijeme otpornih prevlaka na ekološki prihvatljiviji način.

Zaštita materijala polimernim prevlakama, u prvom redu postupkom elektrostatskog naprašivanja, koje je najzastupljenije, po mnogim literaturnim podacima predstavlja postupak zaštite materijala s najbržim stupnjem razvoja primjene, koja već danas obuhvaća gotovo sva područja ljudskog djelovanja. Razvoj novih formulacija polimernih praškova, kao i napredak u tehnologiji njihovog nanošenja stvorili su preduvjete za širenje primjene ovih vrsta zaštitnih prevlaka čak i u područjima koja su bila «rezervirana» za premaze ili neke druge vrste prevlaka. Primjer za takva novija područja primjene polimernih prevlaka je zaštita drva i proizvoda na njegovoj osnovi (npr. MDF laminata). Najvažnija područja, kao i neki od primjera korištenja polimernih prevlaka prikazani su u tablici 2.

Tablica 2: *Primjeri korištenja polimernih prevlaka.*

Industrija kućanskih uređaja najznačajnije je područje primjene polimernih prevlaka, procjenjuje se da se čak 1/3 polimernih praškova koristi za zaštitu kućišta raznih uređaja za domaćinstvo (štednjaci, hladnjaci, perilice, klima-uređaji i sl). Razvoj polimernih prevlaka otpornih na visoke temperature, kao i prevlaka s antibakterijskim djelovanjem omogućio je njihovu primjenu i za različite vrste roštilja, peći, unutrašnjost mikrovalnih pećnica, medicinsku opremu i sl.

Industrija namještaja: drveni namještaj i namještaj na osnovi drva (npr. MDF laminat), metalni vrtni namještaj, metalni uredski namještaj i oprema trgovina i sl.

Polimerne prevlake uvedene su u **automobilsku industriju** tijekom 80' tih godina prošlog stoljeća, prvenstveno za zaštitu pojedinih dijelova, kao što su to npr. naplatci, blok motora, ručke na vratima i sl. Polimerne prevlake kod nekih proizvođača nanose se kao međusloj u sustavu zaštite vanjskog dijela karoserije, ili za zaštitu pojedinih dijelova podvozja.

Industrija poljoprivrednih uređaja i strojeva: metalna kućišta različitih strojeva i uređaja

Građevinarstvo: Različiti vanjski i unutrašnji dijelovi zgrada, aluminijske obloge pročelja, aluminijska stolarija, aluminijski radijatori, zaštita čelične armature, različita kućišta opreme i sl.

Električna oprema: Zaštita kućišta električne opreme, izolacijske prevlake u električnim uređajima i sl.

Ostalo: Dječje igračke i oprema, dekorativne prevlake na staklu, okviri bicikala, kućišta različitih uređaja i sl.

2.9. Organske prevlake - bitumenizacija

Bitumenizacija je prevlačenje metala slojevima bituminoznih tvari kao što su naftni bitumen i katran kamenog ugljena. Prevlake redovito sadrže i praškasta punila koja mogu biti kiselostalna i lužnatostalna. Primjenjuje se za zaštitu metala, najčešće ukopanih cjevovoda i spremnika, slika 10. Prevlake se dobivaju lijevanjem sirovine u rastaljenom stanju (oko 200°C) na metalnu podlogu uz četkanje. Debljina prevlaka može iznositi od 0.5 do 10 mm. Deblje se prevlake armiraju. Armiranje se izvodi jutenim ili pamučnim platnom, vunenim pustom ili sintetskom tkaninom, no najbolje prevlake dobivaju se armiranjem staklenom vunom ili azbestnim tkanjem. Suvremeni način zaštite izvodi se korištenjem tvornički proizvedenih traka od bitumena armiranog staklenim tkanjem. Debljine su oko 0.5 mm. Trake se namataju na obično predgrijane cijevi pomoću mehaničkih uređaja [2,3].



Slika 10: Prikaz izvođenja zaštite bitumenizacijom – čelični spremnik koji će biti ukopan u tlo.

Važniji zahtjevi na prevlake na ukopanim konstrukcijama

Kako zaštitno djelovanje prevlaka ovisi o vrsti prevlake, o njenoj debljini, o stupnju kompaktnosti i o čvrstoći prijanjanja, te o svojstvima okolnog medija, za specifične potrebe zaštite odabire se i odgovarajući tip prevlake i način njezinog korištenja.

Kako je korozija ukopane metalne konstrukcije elektrokemijskog tipa, svrha zaštitnih prevlaka je sprečavanje električnog kontakta između metala i tla. Brojni su faktori o kojima ovisi kvaliteta zaštitne prevlake. Najznačajniji su [2,3]:

Relativno jednostavno nanošenje na metalnu površinu, bilo u industrijskom pogonu ili na mjestu primjene.

Dobro prijanjanje na metalnu površinu. Odgovarajući stupanj čistoće i hrapavosti metalne površine poboljšava adheziju zaštitne prevlake. Odgovarajući temeljni nalič (engl. primer coat) često se koristi za poboljšanje adhezije.

Dobra elastičnost, da bi prevlaka izdržala temperaturne promjene tijekom primjene ili nanošenja na metalnu površinu.

Dobra mehanička otpornost, izdržljivost na moguće udare ili naprezanja uslijed kontrakcija tla, primjerice tijekom promjene sadržaja vode, odnosno temperature.

Otpor na tečenje uslijed promjenjivih klimatskih uvjeta ili težine same konstrukcije

Otpornost na vodu, tj. neznatna apsorpcija i propusnost vode.

Otpornost na plinove otopljene u tlu, a naročito kisik.

Visoki električni otpor.

Dobra kemijska i fizikalna svojstva, koja se očituju u zanemarivom starenju, tj. neznatnim promjenama fizikalnih i kemijskih karakteristika u kontaktu s vodom, kisikom i drugim sastojcima tla, otpornosti strukture prevlake na promjene temperature, tlaka itd.

Otpornost na mikroorganizme u tlu.

2.10. Metalne prevlake

Metalne se prevlake nanose kada je uz antikorozivnu zaštitu važan metalni karakter površine, npr. radi čvrstoće i tvrdoće, otpornosti prema habanju, sjaja, toplinske ili električne vodljivosti itd. Među postupcima nanošenja metalnih prevlaka tehničko značenje imaju metode [1, 2, 3]:

- vrućeg uranjanja,
- difuzijske metalizacije,
- metalizacije prskanjem,
- fizikalne i kemijske metalizacije iz parne faze,
- metode oblaganja (platiranja, navarivanja),
- galvanotehnike,
- ionske izmjene i
- katalitičke redukcije.

Metalne se prevlake (tablica 3) mogu nanositi uranjanjem osnovnog metala u talinu pokrivnog metala. Pritom moraju biti ostvarena dva uvjeta: da osnovni metal ima mnogo više talište od pokrivnoga i da se oba metala legiraju, bilo međusobnim otapanjem bilo tvorbom intermetalnih spojeva. Na površini podloge u tijeku obradbe nastaje legura na kojoj pri vađenju zaostaje film taline. On se hlađenjem skrućuje tako da se prevlaka sastoji od površinskog sloja prema sastavu istovjetnog talini i od međusloja legure u kojoj se udio osnovnog metala povećava s udaljenošću od površine prevučenog predmeta. Međusloj osigurava vrlo čvrsto prianjanje prevlake uz podlogu, ali je nastala legura obično krhka pa je, u pravilu, poželjno da njezina debljina bude što manja. Dobivanje kvalitetne prevlake vrućim uranjanjem moguće je samo onda ako talina potpuno kvasi sve obrađivane plohe. Da bi se to postiglo, predobradom se mora osigurati potpuna čistoća površine podloge i taline. Vrućim se uranjanjem najčešće nanose prevlake cinka, kositra, olova, Pb-legura i aluminijska, i to obično na ugljični čelik ili lijevano željezo, a rjeđe na bakar, Cu-legure i druge metale.

Priprema predmeta za vruće uranjanje redovito se izvodi uobičajenim metodama (npr. odmašćivanjem i nagrivanjem uz ispiranje), nakon čega slijedi fluksiranje

(obrada fluksom), tj. završna predobrada koja osigurava kvašenje osnovnog metala talinom. Samo prevlačenje metala izvodi se uranjanjem u talinu pri čemu je potrebno voditi računa o temperaturi, trajanju obrade, brzini uranjanja i vađenja te o sastavu taline i o drugim čimbenicima. Nanošenje metalnih prevlaka postupkom vrućeg uranjanja primjenjuje se kod različitih proizvoda (od podložnih pločica do stupova dalekovoda) te za poluproizvode (limene ploče, trake, žice, cijevi i profili) [2, 3].

Tablica 3. Postupci nanošenja, metode i glavna svojstva metalnih prevlaka [3].

postupak	prevlake / podloge	metoda prevlačenja	značajke postupka i svojstva prevlaka
vruće uranjanje	Zn, ZnAl-legure, Sn, SnPb-legure, Pb-legure, Al i Al-legure na ugljične čelike, sivi lijev, Cu i Cu-legure	uranjanje obradaka u talinu koja kvasi podlogu i tvori s njom supstitucijske legure i/ili intermetalne spojeve	vrlo brz postupak, prikladan za kontinuirani rad; samo za nanošenje lako taljivih metala; slabo iskorištenje metala prevlake; teškoće pri regulaciji debljine sloja na profiliranim proizvodima; čvrsto prianjanje na podlogu zbog međusloja legure ili spoja
vruće prskanje (štrcanje) ili šopiranje	gotovo svi metali i legure na gotovo sve metalne i nemetalne podloge	prskanje metalne taline plinskim, elektrolučnim, plazmenim ili drugim pištoljem	univerzalan postupak glede materijala prevlake i podloge; mogućnost prevlačenja mnogim nemetalima; prikladno za velike proizvode, čak i na terenu; mogući su debeli slojevi i gruba regulacija debljine; tanke prevlake porozne, površina hrapava; veliki gubici pri prevlačenju duguljastih predmeta
platiranje plastičnom deformacijom	nehrđajući čelici, Al, Zn, Pb, Cu, Ag, Au, Ni i Ti na ugljični čelik, Al i Cu (bimetali)	zajedničko valjanje, provlačenje ili prešanje dvaju ili više metala; eksplozijsko platiranje; platiranje prahom	nemogućnost nanošenja tankih slojeva; prikladno za debele prevlake; skupi uređaji; teškoće pri spajanju i pri preradi otpadaka
nataljivanje i navarivanje	nataljuju se lako taljivi materijali na ugljični čelik, Cu i Cu-legure; navaruju se legirani čelici, monel i stelit na ugljični čelik i sivi lijev	nataljivanje prevlake bez taljenja podloge; navarivanje uz taljenje podloge	nataljivanje tanjih prevlaka bez strukturnih promjena u podlozi; navarivanje debljih, hrpavih prevlaka uz strukturne promjene u podlozi uz prevlaku
lemljenje i lijepljenje	nanose se folije Cu, Sn i Pb na metalne i nemetalne podloge	spajanje folija među -slojem mekog lema ili ljeplila s podlogom	skupi uređaji; samo za tanke savitljive podloge
difuzijska metalizacija	prevlake Zn (šerardizi -iranje), Al i AlFe-legura (alitriranje), Cr i CrFe-legura (inkromiranje), FeSi-legura, B i Fe ₂ B te V na čelicima i Fe- lijevovima	visokotemperaturno izlaganje prašku ili plinskoj smjesi uz difuzijsku tvorbu legura i spojeva s metalom podloge	spor postupak, prikladan za male obratke; izvrsno prianjanje; ograničen izbor prevlaka i podloga; debljina sloja raste s temperaturom i vremenom izlaganja; moguće strukturne promjene u podlozi
naparivanje	gotovo svi metali, legure te mnogi metalni spojevi (karbidi, nitridi) na metalnim i nemetalnim podlogama	fizikalno: skrućivanje para na obratku (PVD-postupak); kemijsko: taloženje prevlake reakcijom u plinskoj fazi (CVD-postupak)	obično se provodi u vakuumu, često uz električno pražnjenje; prikladno za male obratke; skupa oprema; širok izbor prevlaka i podloga
galvanotehnika (galvanostegija, galvanizacija, elektroplatiranje)	Zn, Ni, Cr, Cu, Sn, Cd, Ag, Au, mjed na ugljični čelik, Cu i Cu-legure; na nemetale nakon posebne pripreme	katodna redukcija pri elektrolizi vodenih otopina metalnih spojeva	skupa oprema; sporo nanošenje; lako se regulira prosječna debljina sloja, ali je neravnomjerna na profiliranim proizvodima; moguće dobiti sjajne prevlake; Al se izlučuje iz nevodene otopine
ionska zamjena (cementacija)	Cu, Sn, Ag, Au i Zn na neplemenitije metale (Cu i Sn na čelik, Sn, Ag i Au na Cu i Cu-legure, Zn na Al)	metal podloge ili neplemenitiji metal u kontaktu s njim (Al, Zn) ionizira dajući elektrone koji reduciraju ion metala u vodenoj otopini tvoreći prevlaku	jednostavna i jeftina oprema; brz postupak; tanki slojevi (do 2μm) ravnomjerne debljine; kupelji se brzo kvare; često slabo prianjanje i poroznost; ograničen izbor prevlaka i podloga
katalitička redukcija	NiP- i NiB-legure na ugljične čelike (kemijsko niklanje, niklanje bez struje); rjeđe Cu-legure na čelike	redukcija Ni ²⁺ iz vodene otopine tromim reducensom (hipofosfitom ili spojevima B i H) uz katalizu površinske podloge i prevlake	spor postupak; usko ograničen izbor prevlaka; vrlo ravnomjerna debljina sloja i mogućnost njezine regulacije; teško održavanje kupelji

2.11. Anorganske nemetalne prevlake

Nemetalne anorganske prevlake (tablica 4) nanose se mehanički i kemijski. Najvažniji postupak mehaničkog nanošenja jest emajliranje, tj stvaranje sloja alkalnog borosilikatnog stakla na metalnoj površini. Nemetalne anorganske prevlake (npr. oksidi) mogu se nanositi i prskanjem u rastaljenom stanju (metalizacija prskanjem). Mehanički se često nanose slojevi cementa ili betona, a dobivaju se prskanjem, premazivanjem ili oblaganjem. Primjenjuju se i naliči na temelju silikatnih veziva. Pri kemijskom nanošenju anorganskih prevlaka osnovni metal obično sudjeluje u stvaranju prevlake, čime se osigurava dobro prijanjanje. Kemijskim procesima u kojima sudjeluje metal podloge dobivaju se različite oksidne, fosfatne, kromatne i druge prevlake konverzijske prevlake [2, 3].

Tablica 4: Postupci nanošenja, metode i glavna svojstva anorganskih nemetalnih prevlaka [3].

postupak	prevlake / podloge	metoda prevlačenja	značajke postupka i svojstva prevlaka
emajliranje	borosilikatno staklo na niskougljični čelik	obično dvoslojno; mokro: uranjanje u vodenoglinenu kašu, prelijevanje i prskanje; sušenje, pečenje; suho: puder na vrući sivi lijev (za pokrovni sloj)	skupi uređaji; lijepo, glatke, tvrde, ali krhke prevlake; korozijski otporne (osim u HF); na čeliku i Al do 0.2 mm; na sivom lijevu do 2 mm; za procesnu opremu deblje (višeslojno)
bruniranje	Fe-oksidi na ugljične čelike	izlaganje vrućoj lužini s oksidansima, vrućem zraku, oksidativnim talinama itd.	crna ili tamnosmeđa prevlaka, najčešće debela do 2 μm, porozna, upija svjetlo; bolje štiti impregnirana strojnim uljem; prikladno za optičke uređaje i vojnu opremu
anodizacija (eloksiranje)	Al ₂ O ₃ na Al i Al-legure	anodna oksidacija pri elektrolizi u kiselim otopinama; naknadno začepljivanje pora	skupa oprema; mogućnost regulacije debljine sloja (10-25 μm); prevlaka tvrda, krhka i ravnomjerna; moguće dekorativno bojenje vodenim otopinama
fosfatiranje	netopljivi metalni fosfati na ugljični čelik, Zn i Al	uranjanjem ili prskanjem pomoću fosfatno-kisele otopine topljivih Zn-, Mn- i Fe-fosfata pretvorbom u netopljive	nestabilne otopine; sive prevlake; lako fosfatiranje (<1μm) izvrsna priprema za ličenje; teško fosfatiranje (>3μm) uz maziva protiv korozije i abrazije; prevlake čvrsto prijanjaju
kromatiranje	kromati Zn, Cd, Cr i Mg na prevlakama Zn i Cd te na Mg-legurama	uranjanje u kiselu otopinu kromata; za Mg-legure i elektrolizom (anodno)	na Zn i Cd bezbojni, žuti i zeleni filmovi (0.1-1μm); na Mg-legurama kemijski do 5 μm, anodno do 20 μm; štiti od atmosferske korozije
patiniranje	smjese hidroksida teških metala s karbonatima, sulfatima itd., metalni sulfidi na Cu, Cu-legurama, Ag itd.	obrada uranjanjem ili trljanjem različitim vodenim otopinama	dekorativno - zaštitni učinak; zeleni, smeđi i sivi slojevi

3. ODABIR KOROZIJSKI POSTOJANIIH MATERIJALA – OSVRT NA PRIMJENU NEHRĐAJUĆIH ČELIKA

U korozijski postojeane materijale spadaju svi oni konstrukcijski materijali koje karakterizira svojstvo povišene korozijske otpornosti na djelovanje okolnog medija. Najvećim dijelom u pogledu primjene tu skupinu materijala čine različite vrste nehrđajućih Cr-Ni čelika, legura nikla, bakra, aluminija, titana i sl. Primjenom korozijski postojanih materijala postiže se duži vijek trajanja opreme uz manje zahtjeve održavanja.

Primjer: Povijesni razvoj nehrđajućih čelika

Uporaba korozijski postojanih materijala počinje od bakrenog i brončanog doba u razvoju ljudske civilizacije. Stari Rimljani su stotinu godina prije Krista izrađivali olovne cjevovode, nanosili prevlake od kositra i srebra na bakreno posuđe za kuhanje. U novijoj povijesti vrijedno je znati da je godine 1751. u Švedskoj izdvojen nikl, 1782. također u Švedskoj je izdvojen molibden, dok se 1798. u Francuskoj izdvaja krom.

Na Expou u Parizu su 1855. godine prikazane javnosti aluminijske šipke, a već se 1887. aluminijske kovanice proizvode u Londonu. U Rimu se godine 1897. aluminijskim pločama oblaže krov crkve San Gioacchino (sto godina kasnije aluminij se još nalazi u dobrom stanju). Monel je patentiran 1905. godine a 1908. s monelom se oblaže krov željezničkog kolodvora Penn Station u New Yorku, slika 1. Hastelloy i Incoloy slitine su patentirane 1952., a 1964. godine je patentiran Inconel 625. Titan postaje poznat u inženjerskoj praksi od 1950. godine.

Vežano uz korozijski postojeane nehrđajuće čelike vrijedi istaknuti da su Maurer i Strauss razvili prvi austenitni čelik oznake V2A s 20% Cr, 7% Ni i 0,25% C. Prvi martenzitni čelik s 13% Cr razvio je H. Brearley iz Sheffielda, gdje je 1918. godine počela proizvodnja pribora za jelo.

Tridesetih godina 20. stoljeća uporabom "nehrđajućih čelika" počinju se javljati problemi lokalne, interkristalne te napetosne korozije na čelicima "tipa 18-8". Nedovoljno poznavanje svojstava kao i čimbenika koji dovode do korozije ovih materijala, rezultiralo je 1934. godine, nakon pojave korozijskih oštećenja na cijevnim sistemima ratnih brodova američke mornarice, zabranom bilo kakve primjene nehrđajućih čelika na ratnim brodovima. No, to je i doba početka velike primjene ovih materijala u građevinarstvu, npr. izgradnja *Chryslerovog* nebodera u New Yorku 1929. godine. *Krupp* je za oblaganje fasade isporučio već ranije spomenuti čelik V2A, a u izgradnji korišten je i čelik američkog proizvođača *Allegheny Ludlum*. I danas, nakon gotovo osamdeset godina od izgradnje ova zgrada projektirana u *art-deco* stilu plijeni svojim izgledom, slika 11.



Slika 11: Chrysler Building.

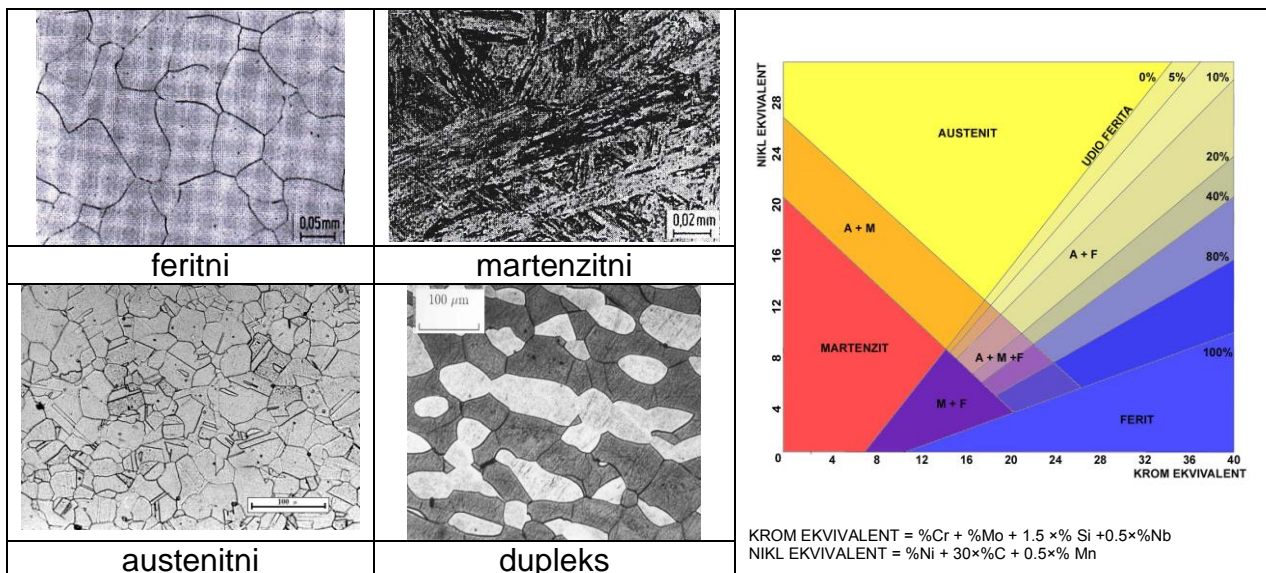
U to doba se javljaju prvi stabilizirani čelici, a u Švedskoj otpočinje i razvoj dupleks čelika. Daljnji napredak u razvoju dupleks čelika bilježi se 1950-ih, da bi šire u uporabu ulazili 1970-ih, što je dodatno dovelo do razvoja superdupleks čelika 1980-ih godina. Sedamdesetih godina se razvijaju i superaustenitni i superferitni čelici, dok supermartenzitni čelici postaju ozbiljnije zanimljivi za uporabu devedesetih godina ovog stoljeća.

Današnje tendencije u razvoju korozijski postojanih materijala su takve da se oni razvijaju u smislu poboljšavanja mehaničkih i korozijskih svojstava, te svojstava pri povišenim temperaturama koji u daljnjoj tehnološkoj preradi i oblikovanju zadržavaju svoja dobra svojstva. Trend je i u proizvodnji što jeftinijih čelika točno određene namjene. Također, postoje stalne težnje u razvoju ovih materijala kod kojih se, uz strukturnu stabilnost i dobra mehanička svojstva, nastoji postići dobra zavarljivost te korozijska postojanost.

3.1. Vrste nehrđajućih čelika

Nehrđajući čelik (eng. stainless steel) naziv je koji se koristi još od najranijih faza razvoja ovih čelika (početak XX. stoljeća). S početka prihvaćen kao generičko ime, danas označava široki raspon različitih vrsta i kvaliteta čelika otpornih na koroziju. Obilježava ih minimalni udio kroma od 10,5 % kao i dodatak ostalih legirajućih elemenata poput nikla, molibdena, titana, dušika, kojima se bilo modificira njihova struktura, ili postižu svojstva veće korozijske postojanosti, poboljšava obradivost, čvrstoća ili pak žilavost na sniženim (kriogenim) temperaturama.

U osnovi, danas, poznajemo četiri osnovne grupe – vrste nehrđajućih čelika, pri čemu je podjela izvršena na osnovi njihovih mikrostrukturnih obilježja čija najvažnija svojstva su prikazana u tablici 5. Tako postoje martenzitni, feritni, austenitni i dupleks (austenitno – feritni) nehrđajući čelici (slika 12). Dodatno, navedena podjela može se proširiti ako se uzme u obzir i mogućnost očvršćavanja, pa tako postoji i peta skupina nehrđajućih čelika - tzv. precipitacijski očvrstivi čelici.



Slika 12: Karakteristične mikrostrukture pojedinih grupa nehrđajućih čelika i Schaefflerov dijagram koji prikazuje kako struktura nehrđajućih čelika ovisi o omjerima krom i nikel-ekvivalentnih legiranih elemenata

Tablica 5: Važnija svojstva pojedinih vrsta nehrđajućih čelika [16, 17, 18].

Feritni nehrđajuć čelici sadrže uobičajeno 11 -17 %Cr, uz dodatak nekih drugih legirnih elemenata (npr. Mo, Si, Al, Ti ili Nb). Sumpor i selen mogu se dodati kako bi se poboljšala strojna obradivost, a udio austenitizirajućih elemenata (C, N i Ni) vrlo je mali. Feritni nehrđajuć čelici su feromagnetični i ne mogu očvrnuti postupcima toplinske obrade jer nemaju faznu pretvorbu. Njihove granica razvlačenja kreću se od 275-350 N/mm², vlačna čvrstoća 415-585 N/mm², a duktilnost 20-35%. Slaba čvrstoća i osjetljivost na senzibilizaciju ograničavaju njihovu obradljivost i upotrebu. Čvrstoća na povišenim temperaturama slabija je nego kod austenitnih čelika. Prednost ove skupine čelika je otpornost na koroziju i oksidaciju uz relativno nisku cijenu, pa se tako koriste npr. u uvjetima izloženosti dušičnoj kiselini, u obradi voda, preradi hrane i arhitekturi. Ugrađuju se u postrojenja u kojima je otvorena opasnost od pojave napetostne korozije, gdje ne mogu zadovoljiti austenitni čelici.

Martenzitni nehrđajuć čelici sadrže 11-13% Cr te do 1,2% ugljika, feromagnetični su i mogu očvrnuti postupcima toplinske obrade. Male količine nikla dodaju se za poboljšanje korozijske otpornosti, a sumpor i selen za obradivost. Najveći nedostatak martenzitnih čelika je osjetljivost prema vodikovoj krhkosti posebno u sulfidnim okolišima. Također imaju lošu otpornost na udarni lom kod sniženih temperatura.

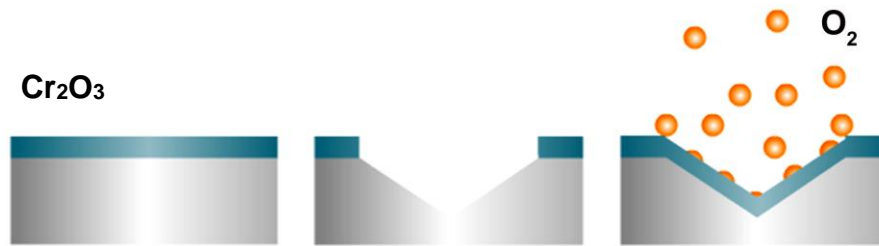
No, zbog otpornosti na koroziju te visokog sadržaja ugljika koji osigurava otpornost na trošenje koriste se za izradu kotrljajućih elemenata kugličnih ležajeva, oštrica noževa, kirurškog i zubarskog alata, turbinskih lopatica i dijelova za rad na visokim temperaturama (npr. cijevi generatora pare).

Austenitni nehrđajuć čelici zbog svoje dobre korozijske postojanosti, dobre obradljivosti, izvrsne zavarljivosti, mehaničkih svojstava te estetskih karakteristika najčešće su korištena vrsta nehrđajućih čelika. Upotrebljavaju se u svim granama industrije, građevinarstvu, za izradu različitih upotrebni i ukrasni predmeta. Osnovni austenitni nehrđajuć čelik je UNS S30400 (AISI 304) ili 18-8. To je legura na osnovi željeza koja sadrži nominalno 18% kroma i 8.5% nikla, uključujući manje količine ugljika, dušika, mangana i silicija. Od osnovnog 18-8 austenitnog čelika razvijeno je desetak novih legura, a bazira se na dodavanju npr. molibdena i dušika radi bolje otpornosti na koroziju. Njihovu upotrebu donekle otežava mogućnost pojave senzibilizacije prilikom postupka zavarivanja što može imati za posljedicu pojavu interkristalne korozije, fenomena koji se na zavarenim konstrukcijama javljao često u početnom razdoblju korištenja ovih materijala i ograničavao njegovu širu primjenu. Senzibilizacija se može izbjeći odabirom stabiliziranih čelika niskog sadržaja ugljika. Jednako tako, ovi materijali nerijetko su podložni i ostalim lokalnim korozijskim fenomenima (rupičasta, napetostna, korozija u procjepu), te odabir pojedine vrste – tj. kvalitete austenitnog nehrđajućeg čelika treba pažljivo izvršiti.

Dupleks nehrđajuć čelici počinju se primjenjivati od 1930. g. iako tek 1970-ih ulaze u masovnu upotrebu zbog povećane upotrebe AOD postupka kojim je omogućena proizvodnja legura sa izuzetno niskim udjelom ugljika te precizan nadzor nad sastavom legure tokom cijelog procesa proizvodnje. Struktura im je dvofazna i sastoji se od otprilike 50% ferita i 50% austenita. Ovi čelici pokazali su povećanu otpornost prema napetostnoj koroziji i utjecaju klorida te imaju bolju otpornost na opću i rupičastu koroziju u odnosu na austenitne nehrđajuće čelike. Čvrstoća ovih čelika je također veća u odnosu na čvrstoću austenitnih čelika. Duplex nehrđajuće čelike moguće je podijeliti u tri generacije. Glavna razlika između prve i druge generacije je u tome da druga generacija sadrži namjerno dodan dušik, između 0,1 i 0,25%. Dok je obilježje treće generacije $PREN > 40$. Pritom, PREN, tj. djelotvorna suma koja se često uzima u obzir kada se procjenjuje otpornost rupičastoj koroziji računa se prema izrazu: $PREN = \%Cr + 3,3x(\%Mo) + 16x(\%N)$. Danas se najčešće oznaka duplex upotrebljava za čelike koji sadrže 22% Cr, a superduplex za čelike sa sadržajem kroma 25%.

3.2. Mehanizam korozijske postojanosti nehrđajućih čelika

Nehrđajući čelici svoja svojstva visoke korozijske postojanosti duguju prisutnosti pasivnog oksidnog filma bogatog kromom na njihovoj površini koji nastaje spontano, prirodnim procesima oksidacije u sredinama – medijima koji sadrže dovoljno kisika. Iako izuzetno tanak, približno 1-5 nanometara ($1 - 5 \times 10^{-9}$ m) i oku nevidljiv, ovaj zaštitni film čvrsto prianja i kemijski je stabilan u uvjetima koji osiguravaju dovoljnu količinu kisika na površini. Dodatno, obzirom na prirodu i spontano formiranje, zaštitni oksidni film, ima i važno svojstvo samoobnavljanja – čak i kada se, npr. u postupcima mehaničke strojne obrade, ukloni s površine, u sredinama s dovoljno kisika, gotovo trenutno, sam će se obnoviti (slika 13).



Slika 13: Prikaz mehanizma samoobnavljanja pasivnog filma kromovih oksida na površini.

Korozijska postojanost značajno ovisi o vrsti i udjelu legirajućih elemenata, odnosno o strukturi čelika. Za inženjersku praksu u posljednje se vrijeme dosta koristi izračunavanje “djelotvorne sume” $PRE_N = \% Cr + 3,3 \times \% Mo + X \times \% N$, pri čemu je $X=30$ za austenitne čelike, a $X=16$ za dupleks čelike, putem koje se vrlo pouzdano može ocijeniti otpornost nehrđajućih čelika prema rupičastoj koroziji. Pored rupičaste korozije, kojoj su skloni npr. austenitni čelici, kod korozijski postojanih čelika nije rijetka pojava prije navedenih korozijskih pojava - napetosne korozije, interkristalne korozije te korozije u procijepu i sl.,

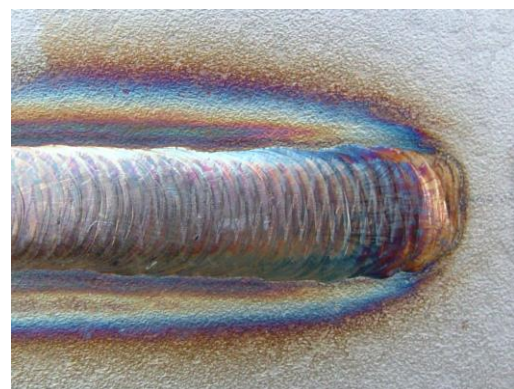
3.3. Narušavanje korozijske postojanosti nehrđajućih čelika – važnost stanja površine

Ipak, nehrđajući čelici ne mogu se smatrati „neuništivima“. Pasivno stanje koje jamči korozijsku otpornost, može se, pod određenim uvjetima, razoriti, što ima za posljedicu pojavu korozijskih procesa, najčešće u obliku usko lokaliziranih korozijskih fenomena.

Posebno je važno naglasiti da zavareni spojevi od nehrđajućih čelika mogu na konstrukciji predstavljati vrlo ozbiljnu opasnost zbog mogućih korozijskih oštećenja izazvanih najčešće rupičastom korozijom, ali i ostalim lokalnim korozijskim fenomenima poput korozije u procjepu, napetosne korozije, mikrobiološke korozije, interkristalne korozije, itd. Postoje mnogobrojni uzroci koji mogu dovesti do pokretanja navedenih mehanizama korozijskog razaranja, a osim, kako je ranije navedeno, pravilnog i pažljivog odabira odgovarajuće vrste nehrđajućeg čelika za pojedinu specifičnu namjenu, tj. sredinu i eksploatacijske uvjete kojima će konstrukcija biti izložena, vrlo je važno korektno i tehnološki ispravno provođenje tehnologije zavarivanja (postupak, parametri, dodatni materijali, tehnološka disciplina itd.). Naime, zavareni spojevi na konstrukcijama od nehrđajućih čelika, lokaliteti su izraženih strukturnih i površinskih nehomogenosti i kao takvi predstavljaju „idealno“ mjesto za pokretanje korozijskih procesa, slika 14 [19].



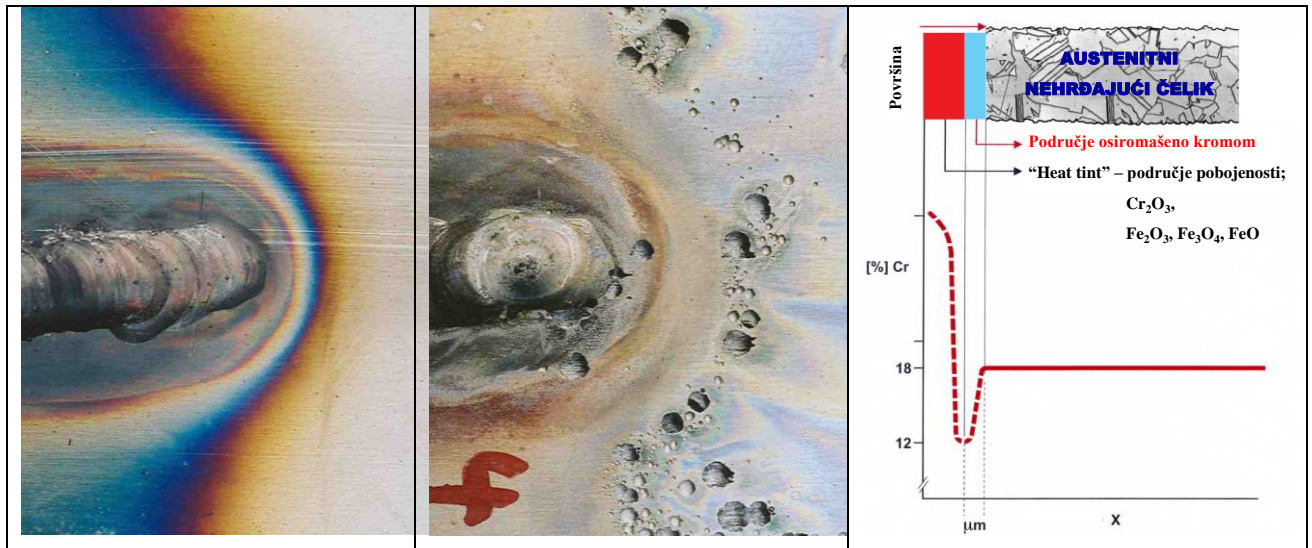
a) Razlike u strukturi: lijevo – osnovni metal
desno – metal zavara



b) Obojenja površine nastala unosom topline zavarivanjem

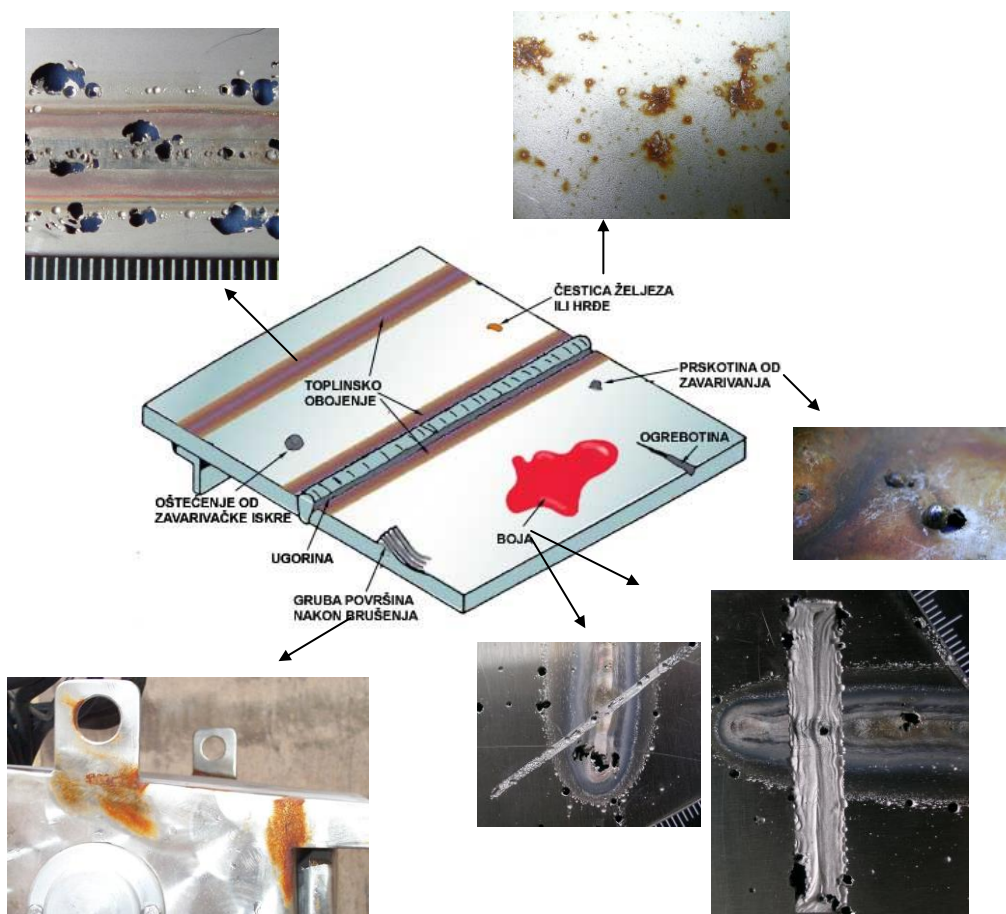
Slika 14: Prikaz osnovnih strukturnih i površinskih nehomogenosti.

Tijekom zavarivanja nehrđajućih čelika kao i kod zavarivanja drugih konstrukcijskih materijala, zbog unosa topline javljaju se u području zavarenog spoja tri karakteristična područja: područje metala zavara, zone utjecaja topline i osnovnog materijala koji određuju ukupno ponašanje zavarenog spoja tj. konstrukcije prilikom uporabe, kako s korozijskog stajališta, tako i sa stajališta mehaničkih i drugih svojstava zavarenog spoja. Kao posljedica zavarivanja, osim strukturnih promjena koje nastupaju u metalu zavara, zoni utjecaja topline te osnovnom materijalu, na površini nehrđajućih čelika dolazi do nastanka područja obojenosti, oksida različitog kemijskog sastava i debljine – zona toplinskih nijansi (engl. «heat tints zone»), slika 15. S obzirom na prirodu (mehanizam) korozijske postojanosti ovih materijala, koji se zasniva na spontano formiranom pasivnom filmu kromovih oksida, ovakva područja obojenosti, značajno, negativano utječu na korozijsku otpornost zavarenog spoja. Nužno je navesti u tom smislu da je obrada površine nakon zavarivanja, koja može biti neka od tehnologija mehaničke, kemijske ili elektrokemijske obrade, bitan utjecajni čimbenik koji djeluje na korozijsku postojanost zavarenog spoja, a time i konstrukcije u cjelini [19].



Slika 15. Područje obojenosti nastalo unosom topline zavarivanjem - lijeva slika, korozijska oštećenja u području zona toplinskih nijansi (ispitivanje prema ASTM G48) – slika u sredini, prikaz raspodjele kroma u području toplinskih obojenja - desna slika.

Kao posljedica zavarivanja nerijetko su prisutne i različite pogreške zavarenog spoja, od štrcanja metalnih kapi, uključina troske, pora, zajeda, itd. koje jednako tako mogu dovesti do pokretanja pojava korozijskih oštećenja. Čestice željezne prašine nakupljene na površini ovih materijala bilo tijekom skladištenja ili obrade, korištenja alata koji su rabljeni i za obradu "crnih" metala, korodiraju te dolazi do oštećenja pasivnog filma nehrđajućeg čelika, čime se umanjuje njegova korozijska postojanost. Različita organska onečišćenja, koja svoje porijeklo imaju u primijenjenim sredstvima za hlađenje i podmazivanje, različitim uljima ili bojama, a ponekad i u otiscima prstiju, mogu dovesti do pojave tzv. korozije u procjepu, slika 16. Naime, kako je za nastanak i održanje pasivnog filma nužno prisustvo kisika, ova onečišćenja koja lokalno onemogućuju dovoljno prisustvo kisika, mogu dovesti do nehomogenosti u pasivnom filmu, koji će na mjestima ispod onečišćenja biti tanji što u kombinaciji s agresivnim medijem dovodi do nastanka ovog oblika korozije.



Slika 16: Prikaz posljedica prisutnosti pojedinih karakterističnih nehomogenosti površine.

3.4. Tehnike naknadne obrade površine nehrđajućih čelika

Tehnike obrade površine zavarenog spoja nakon zavarivanja obuhvaćaju metode pomoću kojih je s površine nehrđajućeg čelika moguće ukloniti nastale nehomogenosti kako bi se uspostavila prvobitna svojstva korozijske postojanosti. Ovisno o obliku, količini i tipu nastalih promjena – nehomogenosti, oštećenja te traženoj kakvoći površine zavarenog dijela ili konstrukcije moguće je primijeniti jednu od tehnika mehaničke, kemijske ili elektrokemijske obrade. Vrlo često, gotovo u pravilu kod obrade zavarenih spojeva, međusobno se izvode kombinacije ovih tehnika iz razloga što primjenom samo jedne od njih nije moguće u dovoljnoj mjeri ukloniti sve promjene - oštećenja nastala prilikom izrade konstrukcije zavarivanjem.

Mehanička obrada - ovaj postupak obrade nužan je ukoliko s površine zavarenog spoja želimo ukloniti pogreške nastale samim postupkom zavarivanja, poput metalnih kapi, troske i sl., te ukoliko je potrebno ukloniti nadvišenje zavarenog spoja. Mehaničkom obradom površine se uklanja i pobojenost u području zavarenog spoja. U ove postupke obrade ubrajaju se čišćenje površine četkom od nehrđajućeg čelika, brušenje raznim abrazivnim sredstvima obrade pjeskarenje i sačmarenje i sl.

Kemijska obrada - ova metoda temelji se na kontroliranom otapanju nehomogenih površinskih slojeva te ponovnoj uspostavi pasivnog filma. To se postiže pomoću sredstava za nagrizanje koja sadrže dušičnu i fluorovodičnu kiselinu, a sam postupak izvodi se bilo premazivanjem pastama za "bajcanje", uranjanjem u sredstvo za nagrizanje ili njegovim naštrcavanjem na obrađivanu površinu. Za obradbu zavarenog spoja, odnosno lokalno uklanjanje područja pobojenosti najčešće se koristi tehnika nanošenja sredstva za nagrizanje u obliku paste koja se nanosi kistom, ostavi da djeluje određeno vrijeme ovisno o materijalu i stupnju oštećenja površine i zatim ukloni. Naknadnim pasiviranjem kemijski obrađenog područja (pomoću različitih otopina dušične kiseline) dodatno se može poboljšati korozijska postojanost materijala.

Elektrokemijska obrada - u osnovi, ova tehnika ne razlikuje se u velikoj mjeri od tehnike kemijske obrade površine. Primjenom elektrokemijske obrade na sličan način, samo uz djelovanje izmjenične električne struje i pogodnog elektrolita s površine materijala otapaju se prisutna oštećenja, prvenstveno pobojenost površine. Primjenom istosmjerne struje dodatno se obrađivana površina može elektropolirati.

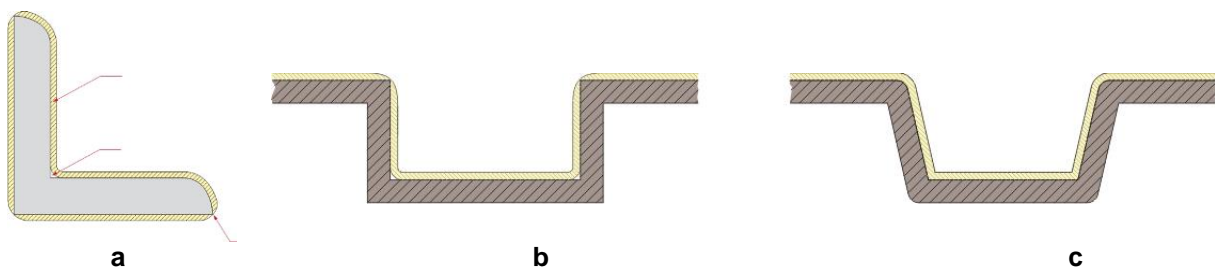
4. KONSTRUKCIJSKO – TEHNOLOŠKE MJERE ZAŠTITE

Odabir i oblikovanje konstrukcijskih materijala, počevši od konstruiranja pa do izrade pojedinih dijelova i složenih proizvoda, mjerodavno je za djelovanje unutrašnjih čimbenika korozijskog oštećivanja. Pravilnim oblikovanjem konstrukcije i odabirom materijala, napravljen je prvi ali vrlo važan korak u njenoj zaštiti od korozije. Prema tome o oblikovanju uvelike ovise vrsta, oblik, intenzivnost i tok korozije, tj. jednom riječju, karakter korozije, i to pogotovo ako ono djeluje i na vanjske čimbenike oštećivanja, što je u praksi čest slučaj.

Mnoge konstrukcijske i tehnološke mjere mogu znatno usporiti korozijski proces i produžiti vijek trajanja opreme. Najopćenitije pravilo je da se svaka heterogenost mora izbjegavati (lokalna naprezanja, temperaturne razlike, mjesta gdje se vlaga nakuplja, i sl.), pa je stoga preporučljivo pridržavati se slijedećih smjernica [2, 20, 21]:

- Što jednostavnije oblikovati konstrukciju kako bi se mogla lako čistiti i kvalitetno zaštititi prevlakama.

I prilikom projektiranja konstrukcija koje će se naknadno štiti nekim od sustava zaštite premazima potrebno je s ciljem smanjenja mogućnosti iniciranja oštećenja primjenjivati neka od osnovnih pravila da bi se osigurala ravnomjerna razina zaštite cijele konstrukcije. To se ponajprije odnosi na izvođenje različitih skošenja na oštrim rubovima i bridovima, jer u suprotnom, tijekom procesa sušenja boje može doći do nastanka manje ili u potpunosti nezaštićenih područja u zoni takvih oštrih rubova, što, naravno, ima za posljedicu nastanak korozijskih oštećenja, slika 17a. Jednako tako, i različite profile koji će se štiti premazima bolje je izvoditi sa skošenjima, slika 17b i c, a spojeve pojedinih konstrukcijskih dijelova različitih debljina na način da je dio koji je izložen agresivnom mediju i koji će se štiti prevlakama bude u jednoj razini, bez oštrih prelaza u kojima bi kvaliteta zaštite bila smanjena, a procesi nakupljanja nečistoća i zadržavanja vlage olakšani, pa samim time i povećana mogućnost od pojave korozije, slika 18.

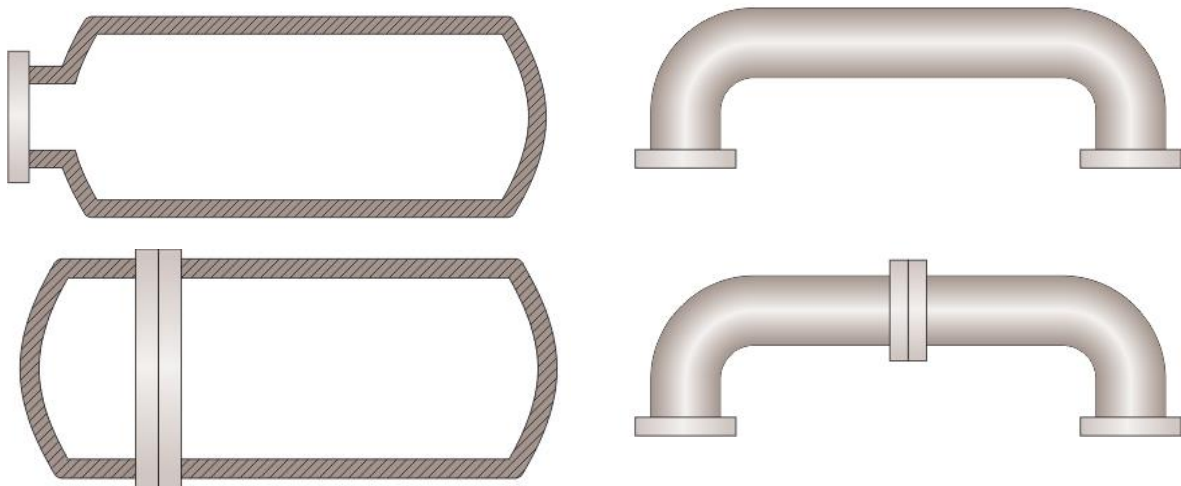


Slika 17: Prikaz utjecaja oštrih rubova: a i b – smanjena debljina prevlake, c – skošenje profila.



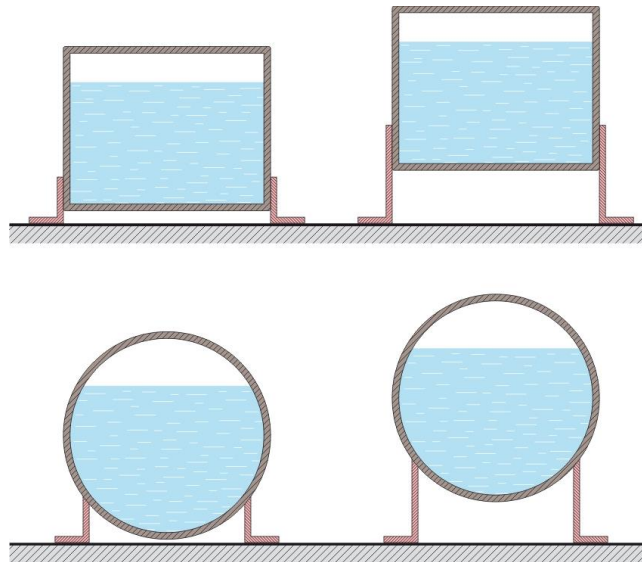
Slika 18: Neprimjereno (lijevo) i bolje rješenje spoja dva dijela različitih debljina (desno).

Osim toga, ukoliko se predviđa zaštita unutrašnjosti različitih konstrukcija, tada je projektnim rješenjem potrebno osigurati i barem minimalne uvjete da se ona može i relativno jednostavno provesti, vodeći pritom računa i o mjerama zaštite radnika i tehničko – tehnološkim mogućnostima provedbe odgovarajuće pripreme površine i izvođenja same tehnologije nanošenja zaštitnog premaza, slika 19.



Slika 19: Ukoliko je potrebno provesti zaštitu unutrašnjosti to će biti mnogo lakše i bolje izvedivo ako se konstrukcije projektiraju kako je to prikazano donjim slikama, a ne onako kako to prikazuju gornje slike.

Jednako tako, bolje je rješenje odizanje različitih spremnika od tla čime se onemogućuje veće nakupljanje i utjecaj vlage te poboljšava sušeje osigurava i mogućnost provedbe obnove površinske zaštite kada to jednom tijekom eksploatacije bude potrebno, slika 20.



Slika 20: Loša (lijevo) i bolja (desno) rješenja postavljanja spremnika na tlo.

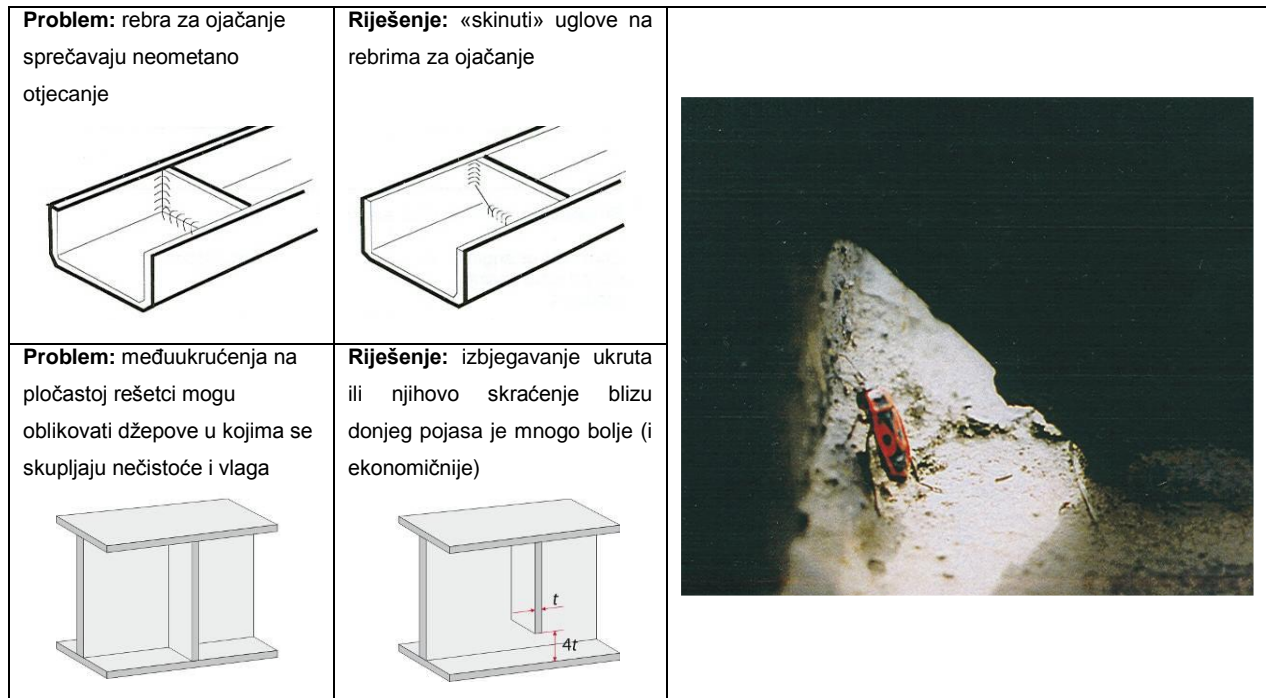
- Onemogućiti nagomilavanje vode ili agresivnih tekućina, osigurati da one mogu lako otjecati pri eksploataciji i pranju.

Znatne korozijske probleme na konstrukciji najčešće uzrokuje voda i njezino nakupljanje i zadržavanje, a jednako su opasne i naslage ispod kojih se zadržava vlaga i stvaraju se uvjeti za pokretanje korozije u procjepu. Stoga, radi korozijske otpornosti i trajnosti konstrukcije, potrebno je oblikovati konstrukciju tako da se na njoj ne zadržava voda, odnosno nužno je osigurati njezino otjecanje, te je potrebno spriječiti nastanak različitih naslaga. Ako koristimo razne čelične profile, potrebno ih je postaviti i orijentirati tako da se na njima ne može zadržavati voda, a ako je to iz nekih razloga neizvedivo potrebno je izbušiti otvore za otjecanje. Potrebno je izbjegavati i oštre uglove jer su oni, radi svog oblika, pogodno mjesto za stvaranje naslaga. Oštre rubove na takvim mjestima potrebno je izvesti sa zaobljenjem. Jednako tako različite cjevovode potrebno je projektirati tako da se osigura jednostavno i potpuno otjecanje, slika 21.

<p>Otvor za otjecanje</p> <p>loše bolje najbolje</p> <p>loše bolje</p>	<p>bolje loše</p> <p>bolje loše</p>	<p>loše bolje</p> <p>loše bolje</p>
<p>Izbjegavanje nakupljanja vode pravilnim odabirom položaja i oblikovanjem profila.</p>	<p>Sprečavanje nastanka vodenih džepova i stvaranja naslaga.</p>	<p>Mogućnosti osiguranja otjecanja cjevovoda</p>


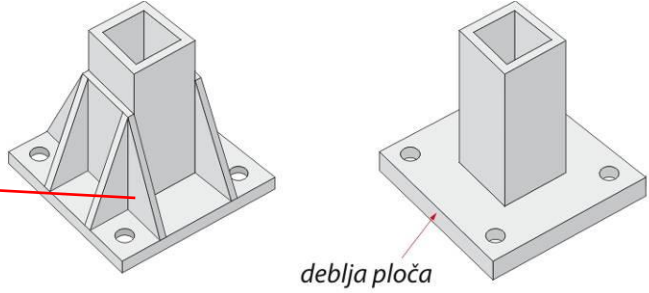
Slika 21: Mogućnosti izbjegavanja nakupljanja vode i naslaga te osiguranja otjecanja [1].

Prilikom izrade raznih konstrukcija često se koriste metalni profili kao osnovni konstrukcijski elementi. U nekim slučajevima, da bi povećali njihovu čvrstoću i nosivost, na profile se zavaruju razne ukrute. Sa stajališta korozijske zaštite ukrute mogu stvoriti razne korozijske probleme i inicirati početak korozije, ako nisu pravilno oblikovane. Mogu biti prepreka za otjecanje vode i na taj način stvarati mjesta na kojim se nakupljaju nečistoće i naslage. Stoga konstruktor mora osigurati rješenja koja omogućuju otjecanje vode kada koristimo razne ukrute, slika 22.



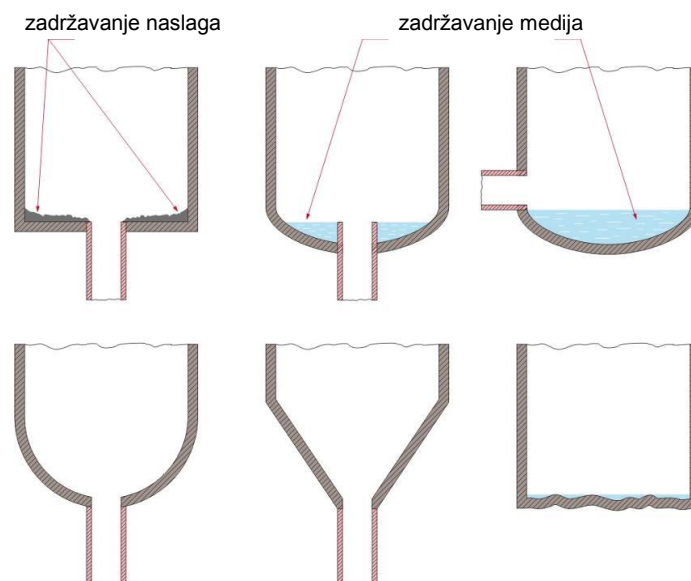
Slika 22: Osiguranje otjecanja i sprečavanje nastanka naslaga kod profila s ukrutama.

Pogrešno oblikovana stopa nosača, s korozijskog stajališta, može stvoriti znatne korozijske probleme, slika 23. Na slici 23. je prikazano konstrukcijsko rješenje kada se koriste rebra za ojačavanje, što je nepovoljno s obzirom na koroziju. Rebra čine džepove u kojima se mogu skupljati nečistoće i zadržavati vlaga. Na istoj slici je prikazana i dobro oblikovana stopa nosača, kod koje se umjesto rebara za ojačavanje koristi deblja ploča. Na taj način je izbjegnuta korozija u procjepu.

		
<p>Korozivna oštećenja temeljne ploče i rebara za ojačanje nastala zadržavanjem vode</p>	<p>Problem: rebra čine džepove u kojima se sakupljaju nečistoće i vlaga</p>	<p>Riješenje: oblikovanje bez rebara</p>

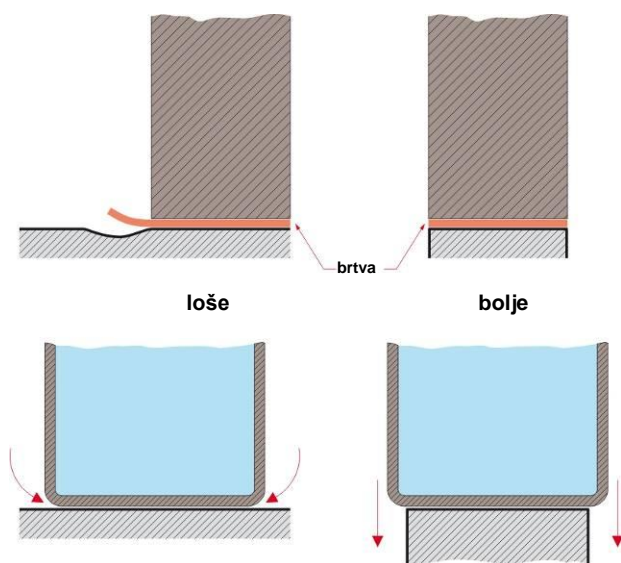
Slika. 23: Izbjegavati rebra za ojačanje ako postoji drugo rješenje.

Spremnici za tekućine trebaju biti tako oblikovani da se bez većih teškoća mogu potpuno isprazniti. Treba izbjegavati oštre uglove u kojima se mogu zadržavati naslage. Također je naročito važno pravilno postaviti otvor za istjecanje. Na slici 24 prikazani su primjeri različitih konstrukcijskih rješenja.

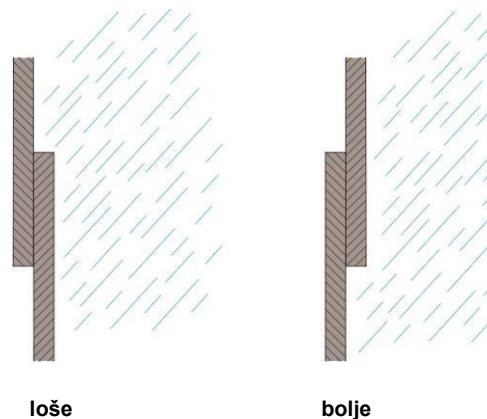


Slika 24: Oblikovanje spremnika za tekućine i postavljanje otvora za istjecanje.

Prilikom postavljanja horizontalnih spremnika na podlogu stvara se procjep između spremnika i podloge. U tom dijelu se postavlja tzv. podložni prsten, koji je nerijetko sklon vrlo ozbiljnim korozivnim oštećenjima. Za izbjegavanje nastanka korozije u procjepu, potrebno je konstruirati temelje spremnika kako je prikazano na slici 25. Mogućnost neometanog otjecanja potrebno je osigurati i kod različitih obloga, npr. fasadnih kod građevinskih konstrukcija, kako bi se uklonila mogućnost nakupljanja korozivnog medija unutar procjepa, slika 26.

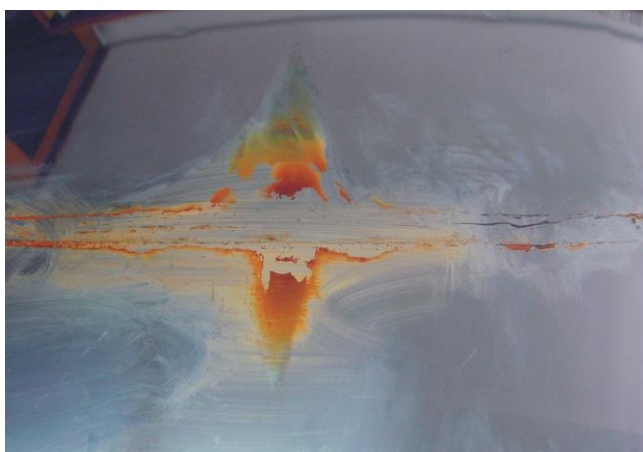


Slika 25: Oblikovanje temelja spremnika



Slika 26: Osiguranje otjecanja.

Voda i vlaga se također mogu zadržavati ispod materijala koji apsorbiraju vodu, raznih traka koje se koriste za pakiranje ili brtvljenje i na taj način inicirati koroziju u procjepu. Na slici 27 je prikazano koruzijsko oštećenje lima od nehrđajućeg čelika nastalo zadržavanjem vlage i vode ispod trake za pakiranje tijekom skladištenja te pojava koruzijskih oštećenja na ogradi od nehrđajućeg čelika koja je tijekom montaže bila omotana zaštitnom folijom i izložena djelovanju morske atmosfere.



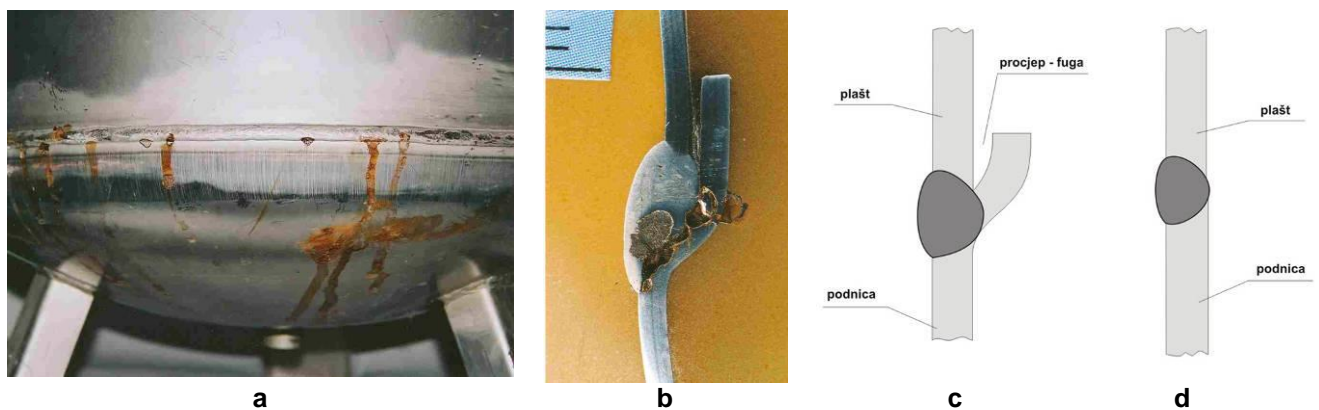
Slika 27: Koruzijsko oštećenje lima od nehrđajućeg čelika nastalo u područjima nalijeganja trake za pakiranje (lijevo) i koruzijska oštećenja ispod zaštitne folije na ogradi od nehrđajućeg čelika izloženoj morskoj atmosferi (desno).

- Izbjegavati konstrukcijska rješenja koja dovode do nastanka različitih procijepa.

Kako je već navedeno ranije, pojava korozije u procijepu najčešće je povezana s različitim konstrukcijskim rješenjima koja za posljedicu imaju nastanak procijepa između pojedinih dijelova konstrukcije. Stoga je odgovarajućim konstrukcijskim rješenjima kojima se izbjegava nastanak procijepa moguće učinkovito djelovati na onemogućavanje ove vrste korozije. Neki od primjera konstrukcijskih rješenja za omogućavanje neometanog otjecanja i sprečavanja stvaranja naslaga koji istovremeno uglavnom predstavljaju i konstrukcijske mjere s ciljem onemogućavanja iniciranja korozije u procjepu opisani su ranije, a nekoliko slijedećih primjera prikazuje do kakvih ozbiljnih problema može doći ukoliko se konstrukcijskim rješenjima omogući pokretanje mehanizma korozije u procjepu.

Primjer 1: Utjecaj preklopnih zavarenih spojeva – hidrofor za vodu

Na više hidroforских spremnika izrađenih od nehrđajućeg Cr-Ni čelika u svega nekoliko mjeseci upotrebe pri kojoj su bili izloženi djelovanju prirodne vode nastala su, u područjima procjepa formiranog izvedbom zavarenog spoja preklapanjem podnice i plašta, intenzivna oštećenja koja su dovela do potpunog razaranja stijenki, slika 28. Nastanak članaka diferencijalne aeracije kao i nagomilavanje agresivnih čimbenika unutar procjepa i pokretanje mehanizma korozije u procjepu u zoni preklopnog zavarenog spoja moglo se izbjeći korektnom izvedbom potpuno protaljenog sučeonog zavarenog spoja kojim bi se eliminirao procjep – osnovni čimbenik iniciranja nastalog korozijskog fenomena.

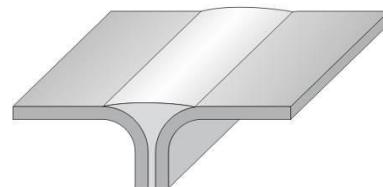
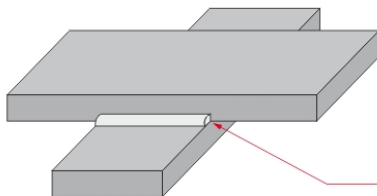
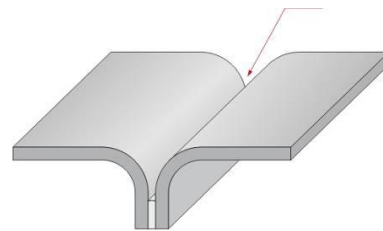
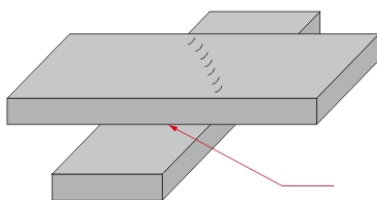


Slika 28: Korozija u procjepu nastalom u području preklopnog zavora podnice i plašta spremnika, AISI 304L, nekoliko mjeseci, voda:
a- propuštanje u području zavarenog spoja,
b- makrostrukturalni snimak oštećenja,
c- postojeće konstrukcijsko rješenje – preklopni spoj
d- s korozijskog stajališta povoljnije rješenje – sučeljeni zavareni spoj kojim se eliminira nastanak procjepa

Ukoliko se pak preklopni spojevi ne dadu zamijeniti sučeljenima, rješenje izbjegavanja mogućih korozijskih problema može biti zatvaranje nastalog procjepa dodatnim zavarenim spojem, slika 29. Jednako tako, kod različitih konstrukcijskih dijelova koji su u međusobnom dodiru u područjima njihovih dosjeda poželjno je zatvoriti nastale procjepe zavarenim spojevima, slika 30. Također, preporučljivo je zapuniti i procjepe, koji nastaju spajanjem različitih profila, čime se eliminira procjep, a ukoliko će se konstrukcija naknadno štititi prevlakama postići će se i bolja mogućnost zaštite, slika 31. Iako bi i samo jednostrano izvedeni zavareni spoj u mnogim situacijama najčešće bio dostatan za osiguranje mehaničkih svojstava spoja, slika 32, ipak je preporučljivo obostranom izvedbom spoja ukloniti procjep i time osigurati veću korozijsku otpornost.

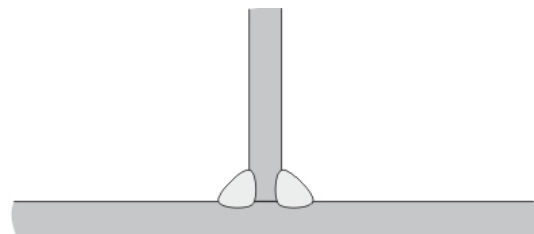
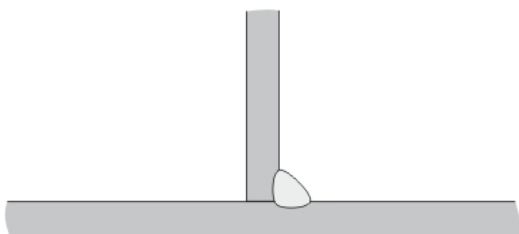


Slika 29: Jednostrano zavareni preklopni spoj – mogućnost iniciranja korozije u nastalom procjepu (lijevo) i obostrano zavareni preklopni spoj kod kojeg je eliminiran pa je samim time i uklonjena mogućnost iniciranja korozije u procjepu (desno).



Slika 30: Zatvaranje procjepa između elemenata u dodiru pomoću zavarenog spoja.

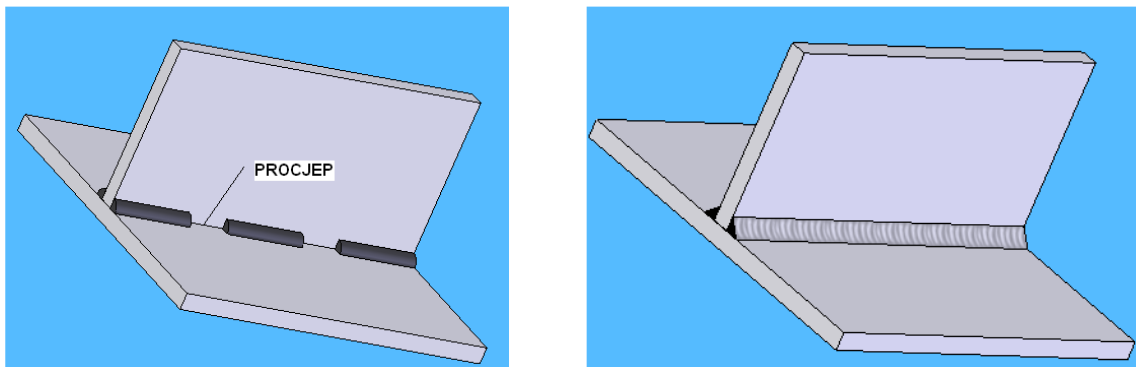
Slika 31: Zapunjavanje procjepa nastalog u spoju profila.



Slika 32: Jednostrano izvedeni T-spoj (lijevo) dovodi do nastanka pocjepa koji se može eliminirati obostranim zavarenim spojevima (desno).

Primjer 2: Isprekidani zavareni spojevi kao inicijalno mjesto pokretanja korozije u procjepu – spremnik za vodu

Jednako kao i preklopni zavareni spojevi i isprekidani (diskontinuirani) zavareni spojevi predstavljaju procjepe te ih je stoga poželjno izbjegavati, tj. sve zavarene spojeve izvoditi kao kontinuirane, čime se, ako su tehnološki ispravno načinjeni, eliminira mogućnost nastanka procjeka pa samim time i sprečava mogućnost inicijacije ovog korozijskog fenomena, slika 33. Pritom, kako je već ranije na slučaju prirubnica izneseno, i ovi lokaliteti mogu, ovisno o brojnim čimbenicima (kemijske i biološke karakteristike medija, karakter strujanja, itd.) biti inicijalno mjesto na kom će doći do mikrobiološke kolonizacije, pokretanja MIC procesa i nastanka oštećenja velikog intenziteta upravo u tom području, a jedan takav slučaj u kom su nastala oštećenja u području procjeka diskontinuiranih zavarenih spojeva prikazan je na slici 34.



Slika 33: Loše konstrukcijsko rješenje – isprekidani zavareni spoj (lijevo) i sa stajališta korozijske otpornosti povoljnije rješenje – kontinuirani zavareni spoj (desno).



Slika 34: Tuberkuli u područjima procjeka diskontinuiranog zavarenog spoja (lijevo). Nehrđajući čelik AISI 304L, prirodna voda, nekoliko mjeseci. Mikrobiološkom analizom tuberkula utvrđeno je prisustvo aerobnih bakterija koje oksidiraju Fe i Mn (desno).

Primjer 3: Cijevni ogranci i priključni spojevi

Cijevni ogranci koji strše, pogotovo ako zavareni spojevi nisu potpuno protaljeni, predstavljaju također procjepe i lokalitete u kojima se različite nečistoće mogu olakšano nakupljati, a osim toga, takva mjesta nepovoljno djeluju i na otpornost erozijskoj koroziji jer dovode do lokalnih promjena u režimu strujanja. Slika 35 prikazuje jedno takvo oštećenje cjevovoda od nehrđajućeg čelika kojim je protjecala voda, dok je slikom 36 prikazan spoj cijevi i plašta spremnika za vodu od nehrđajućeg čelika uz shematske prikaze postojećeg konstrukcijsko – tehnološkog rješenja koje je s korozijskog stajališta loše jer dovodi do nastanka procjepa te onog rješenja koje bi eliminiralo nastale probleme. Slikom 37 prikazane su neke konstrukcijskih mjera kojima je moguće izbjeći pojavu nastanka procjepa na zavarenim spojevima cijevnih ogranaka.



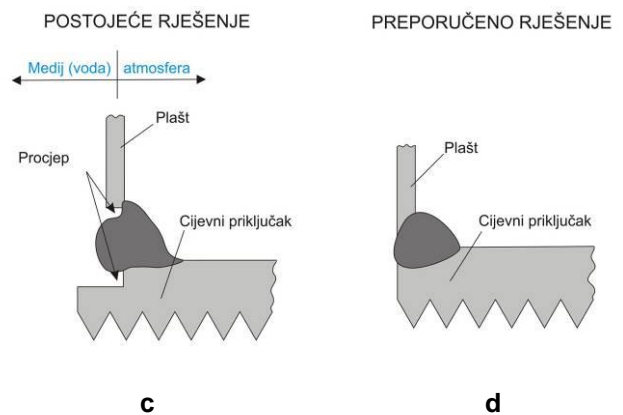
Slika 35: Korozijska oštećenja nastala u području cijevnog ogranka koji strši, AISI 304L, voda, nekoliko mjeseci.



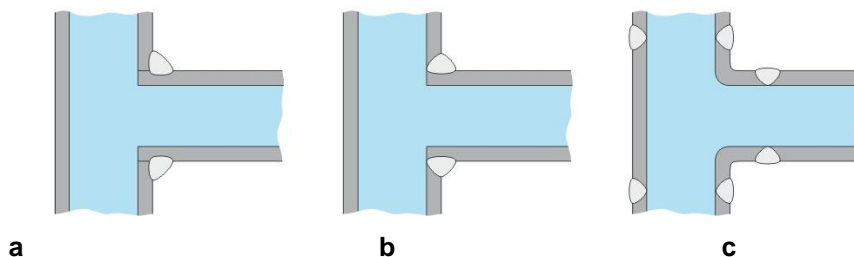
a



b



Slika 36: Korozijska oštećenja u području neprimjereno izvedenog spoja cijevi i plašta spremnika za vodu, AISI 304, nekoliko mjeseci: a -snimak korijenskog dijela spoja, b -makrostrukturni snimak spoja, c -neprimjereno konstrukcijsko – tehnološko rješenje, d- preporučljivo rješenje spoja – izbjegavanje procjepa

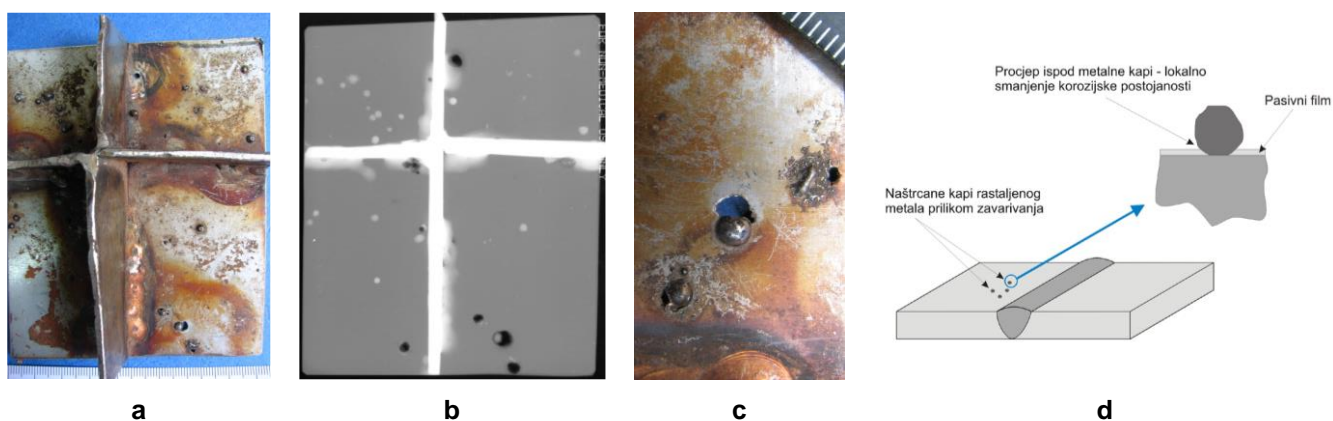


Slika 37: Shematski prikaz konstrukcijskih rješenja s ciljem izbjegavanja korozije u procjepu na zavarenim spojevima cijevnih ogranaka: a – loše rješenje, b i c – bolja rješenja.

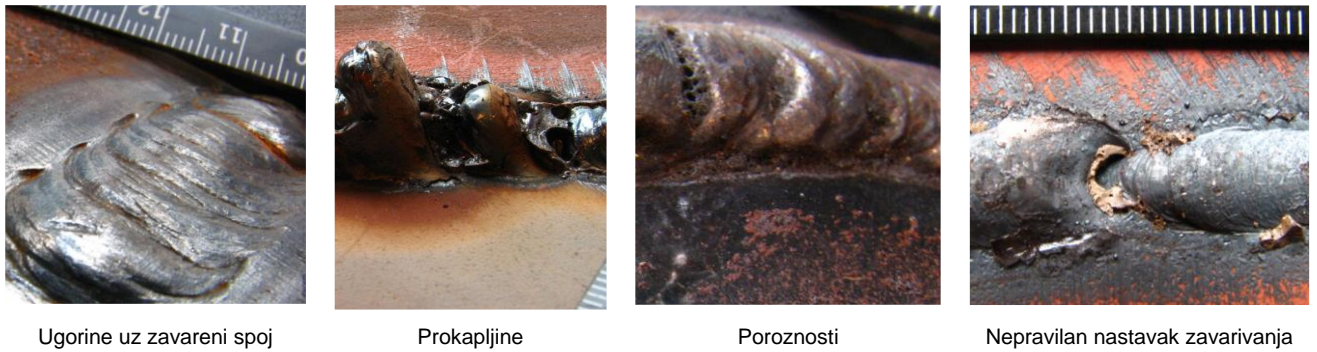
- **Zavareni spojevi, ukoliko su ispravno izvedeni, imaju prvenstvo pred vijčanim spojevima ili spojeva sa zakovicama koji često mogu dovesti do pojave korozije u procjepu, a istovremeno smanjuju i masu konstrukcije.**

Uz sve ranije navedene konstrukcijsko – tehnološke mjere za izbjegavanje korozije u području zavarenih spojeve važno je istaknuti i da je korektna izvedba tehnologije zavarivanja ponekad od presudne važnosti.

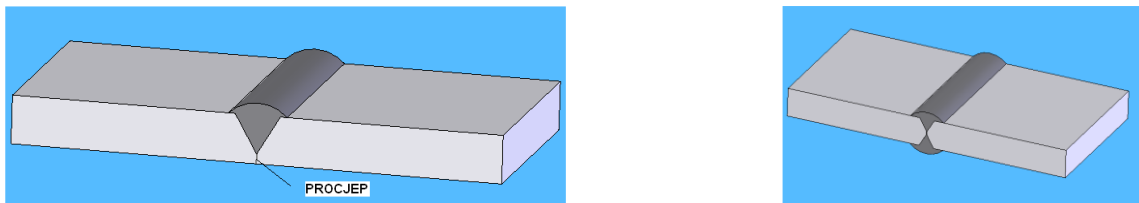
Ranije je već naglašeno da tehnološki korektni zavareni spojevi imaju apsolutnu prednost pred ostalim postupcima (tehnikama) spajanja pojedinih konstrukcijskih dijelova i u tom smislu važno je istaknuti da različite greške koje se mogu pojaviti kao posljedica neadekvatne provedbe tehnologije zavarivanja mogu predstavljati inicijalne lokalitete na kojima će doći do pokretanja procesa oštećivanja. Naštrcane metalne kapljice, ugorine, prokapljine, nepotpuni provari i slične greške, s korozijskog stajališta, predstavljaju procjepe u kojima se iniciraju procesi korozije, ili pak predstavljaju neprihvatljivu nehomogenost površine na konstrukcijama koje će biti zaštićene premazima čija debljina će na tim mjestima nerijetko biti nedovoljna za dugotrajnu zaštitu od korozije. Slikom 38 prikazano je korozijsko oštećenje broskog spremnika pitke vode na kojem je do razaranja došlo u lokalitetima uz naštrcane metalne kapljice, dok su slikom 39 prikazane pojedine karakteristične greške koje se mogu pojaviti tijekom neprimjerene provedbe tehnologije zavarivanja, a koje mogu značajno narušiti korozijsku otpornost područja zavarenog spoja dok su slikama 40 i 41 shematski prikazane pojedine tehnološke mjere za sprečavanje inicijacije korozijskih procesa u području zavarenih spojeva.



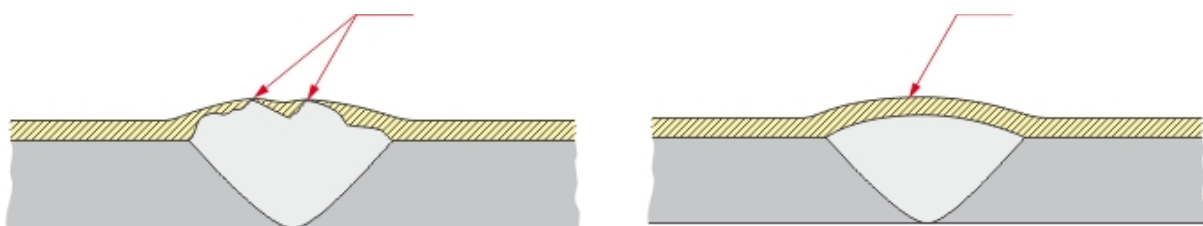
Slika 38: Korozijska oštećenja u područjima naštrcanih metalnih kapljica – broski spremnik pitke vode, nehrđajući čelik AISI 304L: a -brojne naštrcane metalne kapljice uz zavarene spojeve, b - digitalni radiogram, c - korozijska oštećenja uznaštrcane kapljice, d - shematski prikaz



Slika 39: *Primjeri pojedinih karakterističnih grešaka zavarenih spojeva koje mogu biti inicijalna mjesta pokretanja korozije u procijepu.*



Slika 40: *Procjep koji nastaje prilikom nepotpunog protaljivanja (lijevo) i prikaz jedne od mogućnosti izvedbe korektnog zavarenog spoja obostranim zavarivanjem (desno).*

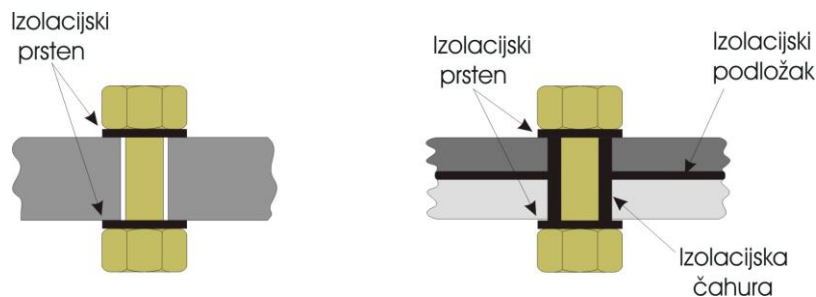


Slika 41: *Kod zaštite zavarenih konstrukcija sustavima premaza pogreške zavarenog spoja mogu dovesti do smanjene razine zaštite u tom području (slika lijevo) što se daje izbjeći korektnom provedbom tehnologije zavarivanja ili obrade zavarenih spojeva prije nanošenja sustava premaza (slika desno).*

- Izbjegavati spajanje metala različitih stupnjeva plemenitosti s ciljem izbjegavanja pojave bimetalne korozije.

- Izolirati anodu od katode

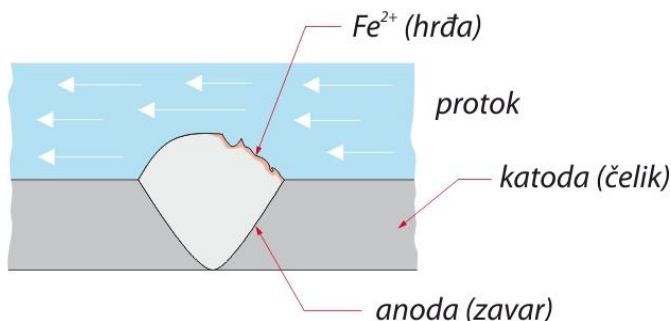
Ako nije moguće koristiti konstrukcijske materijale istog ili sličnog potencijala ("plemenitosti"), potrebno je spriječiti njihov međusobni kontakt pomoću izolacije. Na taj način sprečavamo galvansku koroziju između dva metala različitih potencijala. Neka od rješenja za odvajanje različitih konstrukcijskih metala prikazana su na slici 42.



Slika 42: Princip izolacije različitih metala

- Kada je izolacija nepraktična

U mnogim eksploatacijskim uvjetima, npr. visoke temperature, izuzetno agresivni mediji, korištenje izolacije često nije izvedivo jer bi bila uništena. U takvim slučajevima treba koristiti plemenitiji metal za spajanje dijelova manje plemenitog metala, jer u suprotnom, intenzivno razaranje spojnog elementa (npr. zavarenog spoja) može dovesti do izuzetno ozbiljne korozije, slika 43.

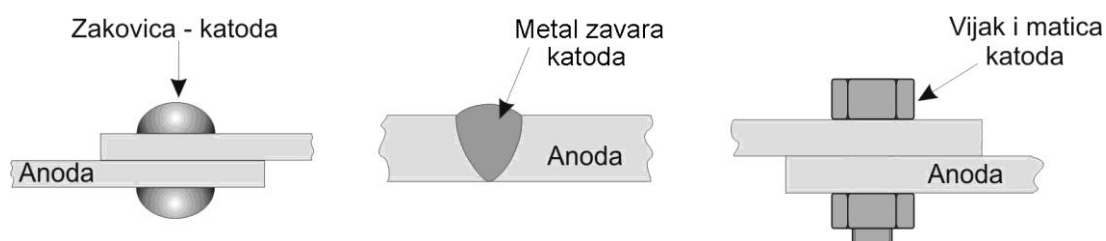


Slika 43: Shematski prikaz korozijskog oštećivanja metala zavara (lijevo) i potpuno uništeni šavni zavareni spojevi na cijevi od Cr-Ni čelika (desno).

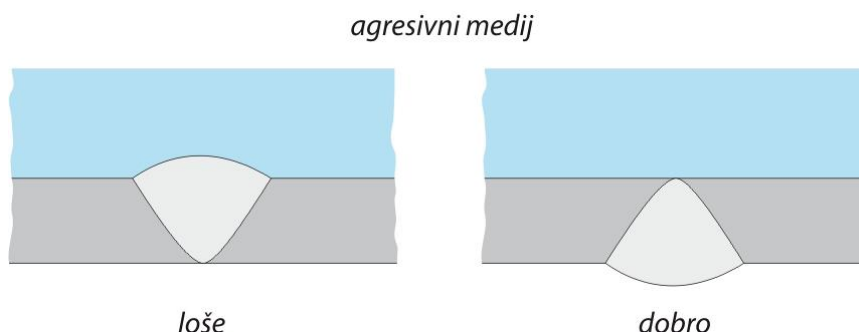
Postoje mnogi primjeri iz prakse u kojima su, na nekoj konstrukciji, dva metala različitog korozijskog potencijala u kontaktu, a da pri tome nije ugrožena korozijska postojanost i vijek trajanja konstrukcije, iako bi se kroz analizu položaja metala u galvanskom nizu ustvrdilo da su ti metali "nespojivi" s korozijskog stajališta.

Razlog tome je pravilan omjer anodne i katodne ploštine u galvanskom paru. U galvanskom paru, da bi se izbjegla korozijska oštećenja anode, anodno područje mora biti puno veće od katodnog kako je prikazano na slici 44 u svakom primjeru prikazanog spoja, bilo da se radi o zavarenom, zakovičnom ili vijčanom spoju. Stoga je uvijek povoljnije da, npr. kod zavarenih spojeva koji su izvedeni tako da je metal zavara plemenitiji od osnovnog materijala, nekom agresivnom mediju uvijek bude izložena korijenska strana zavarenih spojeva, koja je manja, pa su i povoljniji anodno/katodni omjeri, slika 45.

Kod vijčanih i spojeva zakovicama u praksi se koriste npr. vijci od nehrđajućeg čelika za spajanje aluminijskih dijelova, dijelovi od mjedi koriste se kod cijevi od ugljičnog čelika, zakovice i vijci od monela kod nelegiranih čeličnih dijelova rotora u pumpama kroz koji protječu jaki elektroliti itd.



Slika 44: Pravilan omjer katodnih i anodnih ploština pri spajanju materijala.



Slika 45: Prikaz loše i povoljnije varijante omjera anodnih i katodnih ploština kod zavarenih spojeva.

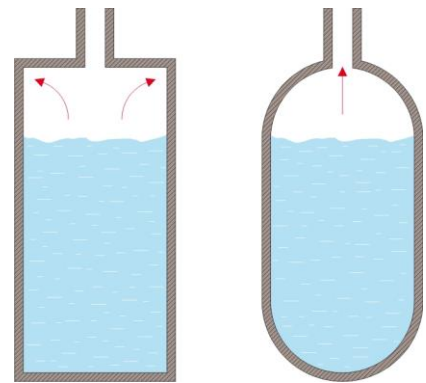
- Korištenje zaštitnih prevlaka radi sprečavanja galvanske korozije

Zaštitne izolacijske prevlake ili boje mogu biti korištene za sprečavanje galvanske korozije između dva različita metala no pritom treba također voditi računa o korektnim omjerima anodnih i katodnih ploština pa se kada se za izolaciju u galvanskome paru koriste prevlake, nikada se ne smije upotrijebiti prevlaka samo na anodi već se prevlači cijela konstrukcija (i anoda i katoda) ili samo katoda jer u slučaju da se zaštiti samo anodni dio, velika katodna ploština u kombinaciji s, nerijetko, nesavršenostima izvedbe tehnologije zaštite (npr. pore u premazu i sl) dovodi do nastanka izuzetno velikog katodnog područja i vrlo malih anodnih zona (na mjestima pogreški u zaštitnom sloju) što dovodi do izuzetno velikih brzina korozije u tim lokalitetima.

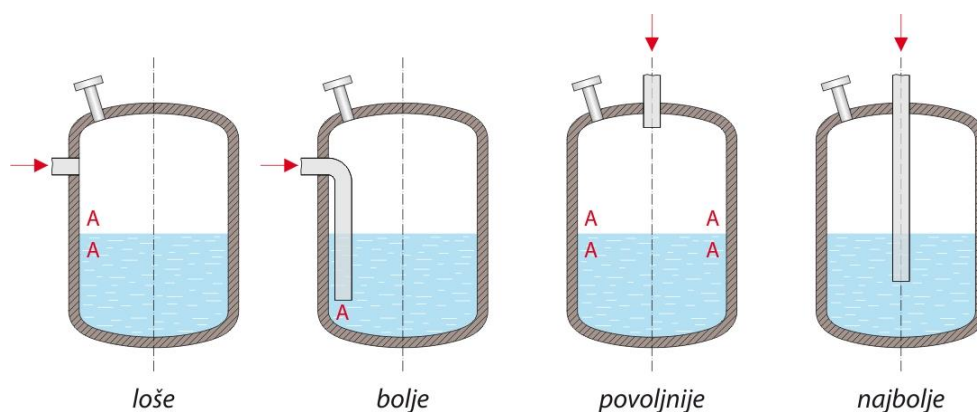
- Izbjegavati visoke temperature, tlakove, naprezanja i brzine gibanja medija ako to nije funkcionalno potrebno te izbjegavati lokalno intenzivno zagrijavanje

Korozija se izuzetno ubrzava s porastom temperature, a i isparavanjem se znatno uvećava koncentracija medija. Za toplinske uređaje stoga treba predvidjeti djelotvoran sustav za hlađenje konstrukcijskog materijala.

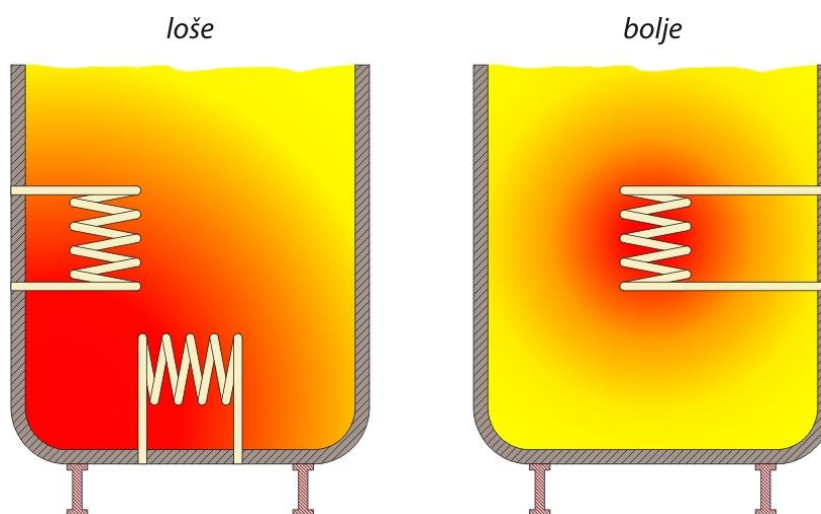
Svaka heterogenost (npr. razlike u naprezanjima, temperaturama stijenki, koncentracijama medija i sl.) treba izbjegavati jer i takve pojave mogu dovesti do inicijacije korozijskih mehanizama na lokalitetima na kojima se uslijed razlika u npr. udjelima pojedinih reaktanata smještaju anode lokalnih korozijskih članaka. Različite spremnike stoga je bolje konstruirati tako da se onemogući nastanak mrtvih kutova u kojima se mogu, npr. hlapljenjem, koncentrirati različite agresivne tvari, slika 46, ili pak treba odgovarajućim konstrukcijskim rješenjima spriječiti pojavu nastanka znatnih razlika koncentracija medija (slika 47) ili temperaturnih opterećenja, slika 48.



Slika 46: Shematski prikaz konstrukcijskog rješenja koje može dovesti do koncentriranja agresivnih tvari u mrtvim kutovima (lijevo) i povoljnije rješenje koje osigurava manju mogućnost akumulacije (desno).



Slika 47: Shematski prikaz različitih rješenja posuda u kojima se razrjeđuju koncentrirane otopine uvođenjem vodu. Najbolje rješenje je ono koje dovodi do najmanjih razlika koncentracija i temperatura čime se osigurava da su svi dijelovi površine izloženi agresivnom mediju pod približno jednakim uvjetima, a također, takvo rješenje onemogućuje i aeraciju otopine čime se onemogućava dotok katodnog reaktanta (kisika) pa se umanjuje i ukupna mogućnost za odvijanje korozivskih procesa.



Slika 48: Prikaz osiguranja jednolike izloženosti izvoru toplote s ciljem smanjenja heterogenosti.

- Izbjegavati oštre zavoje u cjevovodnim sistemima radi smanjenja opasnosti od erozijske korozije.

- Spriječiti stvaranje nanosa i nečistoća u sustavu

Propisati upotrebu filtera na mjestima gdje je moguće očekivati onečišćenje medija. Filtriranjem se uklanjaju dispergirane tvrde čestice iz medija, koje oštećuju stijenke cijevi za vrijeme strujanja, slika 49.

Izbjegavati intermitentni protok. Za vrijeme prekida protoka, nečistoće, nanosi, naslage, mogu se taložiti na stijenka cijevi i kasnije, prilikom puštanja sustava u rad, pri relativno malim brzinama strujanja uzrokovati turbulenciju i lokalni porast brzine medija. Kada se mogu očekivati takve pojave, potrebno je projektirati ulaze i otvore za održavanje cjevovoda na mjestima najniže točke sustava tako da se nečistoće, nakupine i sedimenti mogu ukloniti za vrijeme redovitog održavanja.

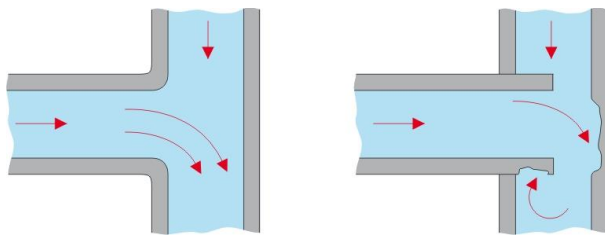


Slika 49: Erozijsko – korozijsko oštećivanje rotora mjedene pumpe tvrdim česticama

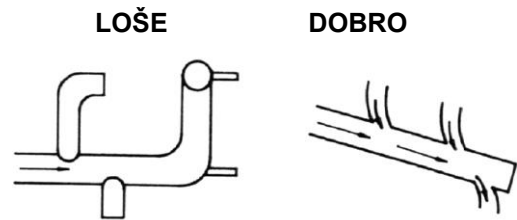
- Racionalna konstrukcijska rješenja

Kod cijevnih ogranaka, tzv. "uboda", rubovi ne smiju "stršiti" u struji medija i ometati protok (slika 50), jer je posljedica takvog oblikovanja turbulencija koja ubrzava erozijsku koroziju.

Mjesta grananja sporednih cijevi u odnosu na glavnu bolje je izvesti pod kutom od 30 do 60 stupnjeva, na taj način veća je otpornost erozijskom trošenju nego kod cijevi pod kutom od 90 stupnjeva (slika 51).

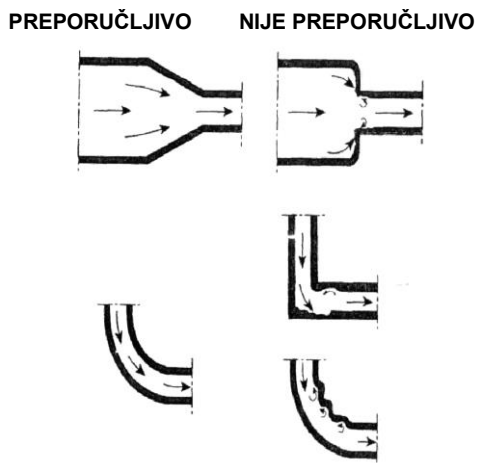


Slika 50: Konstrukcijski detalji s ciljem smanjenja opasnosti od nastanka erozijske korozije.

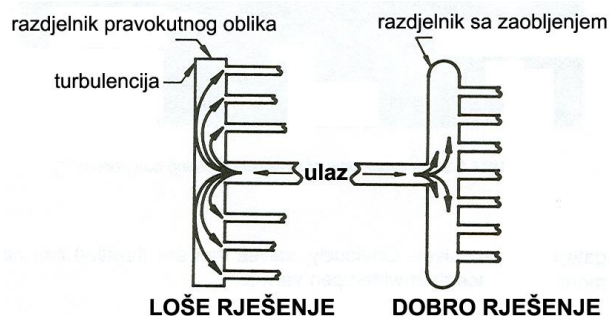


Slika 51: Loš i dobar položaj cijevnih ogranaka [1].

Izbjegavati treba i naglu i skokovitu promjenu presjeka zbog turbulencije. Promjenu presjeka potrebno je izvesti kontinuirano. Također valja izbjegavati oštre kutove, skretanje cijevi izvesti s blagim zaobljenjem (slika 52). Na slici 53 prikazano je loše i dobro konstrukcijsko rješenje razdjelnika. Korištenje reverzibilnog protoka i razdjelnika pravokutnog oblika uzrokuje izrazitu turbulenciju i povećano erozijsko trošenje stijenke razdjelnika. Za smanjenje erozijske korozije potrebno je oblikovati razdjelnik sa zaobljenjima i postaviti ulaz na suprotnu stranu razdjelnika od izlaznih cijevi.

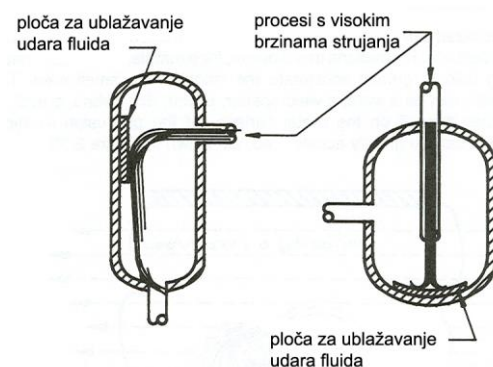


Slika 52: Sprečavanje pojave erozijske korozije osiguravanjem pravilnog strujanja [1].



Slika 53: Primjer konstrukcijskih rješenja razdjelnika [21]

U procesima s visokim brzinama strujanja potrebno je koristiti zaštitnu ploču za ublažavanje udara fluida. Na mjestima udara fluida mogu se pojaviti intenzivna korozijska oštećenja materijala, stoga je potrebno adekvatno zaštititi navedena područja (slika 54).



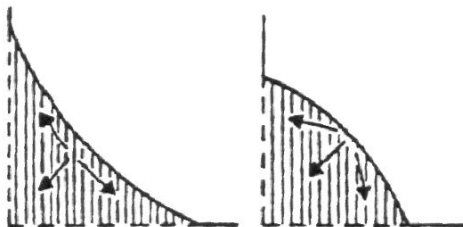
Slika 54: Primjena ploča za ublažavanje udara fluida kod procesa s visokim brzinama strujanja [2]

- Izbjegavati mehanička naprezanja - s ciljem smanjenja opasnosti od napetosne korozije.

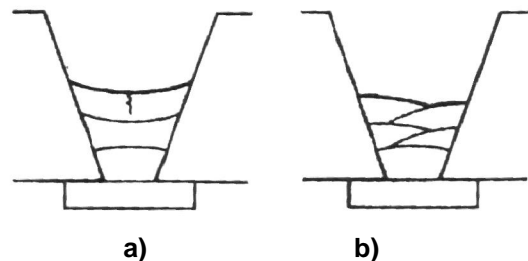
- Smanjenje zaostalih naprezanja i napetosti

Zaostala naprezanja prisutna zbog tehnologije izrade (npr. zavarivanje, naknadna hladna obrada) i lokalna naprezanja zbog krutosti i oblika konstrukcije temeljni su preduvjet za iniciranje napetosne korozije. Konstruktor mora naročito posvetiti pozornost takvim mjestima visokih naprezanja, zbog napetosne korozije, i po mogućnosti eliminirati ih gdje je to praktički izvedivo. Naknadna hladna obrada austenitnih nehrđajućih čelika uzrokuje ekstremno visoka lokalna naprezanja i u određenim agresivnim uvjetima eksploatacije može doći do vrlo razornih korozijskih oštećenja.

Uslijed niske toplinske vodljivosti i visokog koeficijenta toplinskog istezanja austenitnih nehrđajućih čelika, moguća su opasna zaostala naprezanja u ovim materijalima u području zavarenih spojeva, naročito kod sučeljenih zavarenih spojeva. Uslijed izlaganja agresivnom mediju koji sadrži kloride, pukotine napetosne korozije mogu se pojaviti, najčešće, u zoni utjecaja topline (ZUT) zavarenog spoja. Oblik zvara također je povezan sa zaostalim naprezanjima i napetostima. Zavar "udubljenog" oblika ima veća površinska vlačna naprezanja od zvara blago "ispupčenog" oblika, slika 55., a time i veću sklonost pojavi pukotina. Naročito kod sučeljenih spojeva postoji opasnost od velikih zaostalih naprezanja stoga se preporuča da se zavareni spoj izvede prema slici 56 b), s užim i blago ispupčenim slojevima, a ne sa širokim slojevima udubljenog oblika, kako je prikazano na slici 56 a).



Slika 55: Oblik zvara i raspored površinskih vlačnih naprezanja [21].



Slika 56: a) Nepovoljan oblik zavarenih slojeva
b) Povoljan oblik zavarenih slojeva [21].

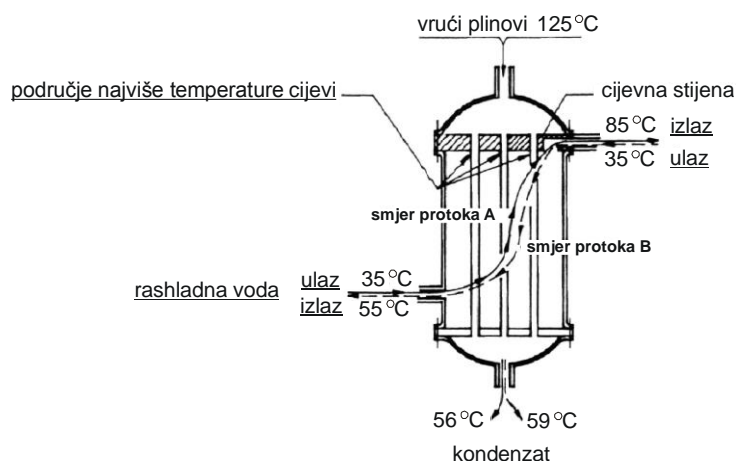
- Upotreba nižih temperatura

Utjecaj temperature naročito je bitan jer značajno utječe da li će uopće doći do pojave napetosne korozije. Praktična iskustva nam govore da kod nesenzibiliziranih austenitnih nehrđajućih čelika do ove korozijske pojave ne dolazi na eksploatacijskim temperaturama ispod 60°C u približno neutralnim kloridnim otopinama.

Prilikom strožih ispitivanja napetosne korozije npr. mehanikom loma ovaj prag se spušta ispod 50°C za gašeni 304 čelik, te čak na sobnu temperaturu za senzibilizirani 304 čelik.

Zabilježeni su i brojni slučajevi transkristalne kloridne napetosne korozije nesenzibiliziranog austenitnog nehrđajućeg čelika pri sobnoj temperaturi u atmosferi iznad zatvorenog bazena. Atmosfera bazena uzrokovala je kloridnu napetosnu koroziju na ovjesnim elementima krovne konstrukcije izrađenim od čelika kvalitete AISI 304, 316 i 316 stabiliziranog titanom.

Pogrešni smjer protoka rashladne vode u nekim izmjenjivačima topline može izazvati napetosnu koroziju, slika 57 U uobičajenoj izvedbi rashladna voda ulazi na dnu izmjenjivača topline i izlazi na vrhu, kako je označeno na slici 57 protokom A. Budući da rashladna voda dolazi već zagrijana do gornjeg dijela izmjenjivača topline gdje se nalaze vrući plinovi, njezina će temperatura biti 85°C, stvarajući na taj način temperaturnu zonu na vrhu izmjenjivača topline, u kojoj može doći do napetosne korozije cijevi od nehrđajućeg austenitnog čelika. Promjenom smjera protoka rashladne vode, slika 57 protok B, rashladna voda ulazi u izmjenjivač topline na vrhu, a izlazi na dnu, mjesto najviše temperature uz cijevnu stijenu gdje se nalaze vrući plinovi, hladi voda temperature 35°C, i time je temperatura na vrhu izmjenjivača topline snižena na 55°C i smanjena je opasnost od napetosne korozije.

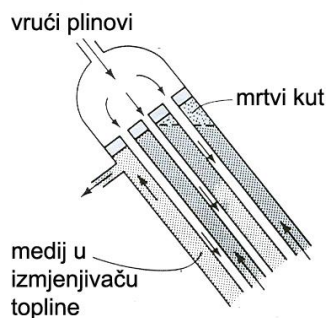


Slika 57: Utjecaj smjera protoka na napetosnu koroziju [21].

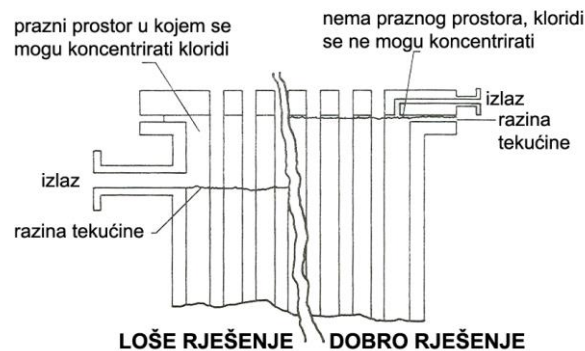
- Smanjenje koncentracije klorida i eliminiranje mjesta gdje se mogu nakupljati

Kloridi kao npr. KCl, NaCl, CaCl₂ i MgCl₂ nalaze se u praksi u različitim koncentracijama u vodenim otopinama. Opasnost od pojave napetosne korozije raste s porastom sadržaja klorida. Stoga je teško u praksi odrediti granicu ispod koje su s obzirom na povećanje sadržaja klorida čelici otporni. Najveća osjetljivost čelika prema napetosnoj koroziji uzrokovanoj kloridima je u području *pH* vrijednosti 3-8, a korozija je transkristalnog karaktera. No treba istaknuti da održavanje niske koncentracije klorida ne može u potpunosti spriječiti pojavu napetosne korozije npr. u uvjetima kada se kloridi mogu koncentrirati u pukotinama ili zaklonjenim mjestima.

Uobičajeni razlog za pojavu napetosne korozije je koncentracija klorida uslijed isparavanja na zagrijanim čeličnim površinama. Tekućina koja isparava može biti i svježja voda ili neka druga vrlo razrijeđena otopina koja se zbog svog niskog sadržaja klorida smatra bezopasnom. Međutim kada voda isparava koncentracija klorida u tim tekućinama može toliko porasti da uzrokuje napetosnu koroziju. Ovaj problem može se pojaviti u izmjenjivačima topline u kojima postoje tzv. mrtvi kutovi i prazni prostori u kojima se može povećati koncentracija klorida isparavanjem medija koji se koristi za hlađenje, slike 58 i 59, pri čemu se stvaraju područja konstrukcije sklona oštećenjima u obliku napetosne korozije.



Slika 58: Mrtvi kut u izmjenjivaču topline - opasnost od napetosne korozije [8].



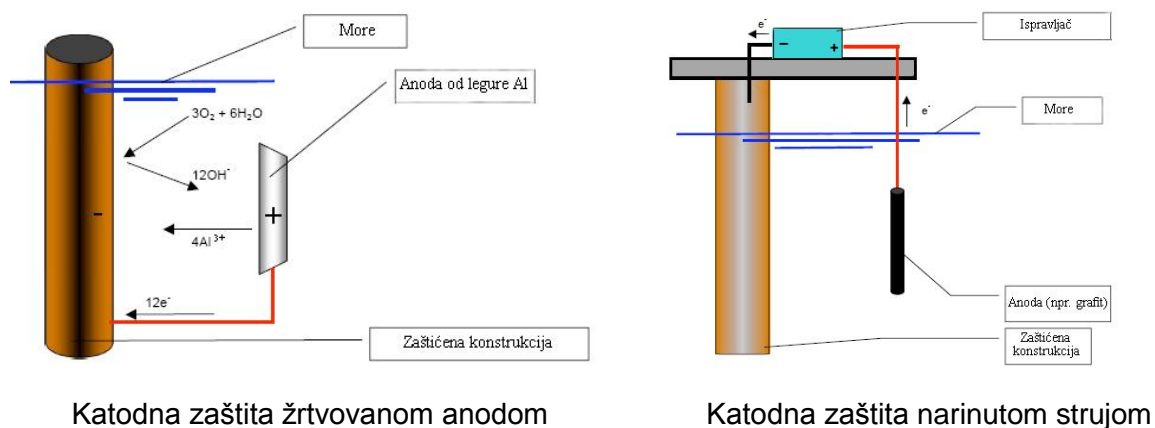
Slika 59: Loše (lijevo) i dobro postavljene (desno) izlazni otvor u vertikalnom kondenzatoru, radi otklanjanja napetosne korozije [8].

Osim navedenih smjernica za konstrukcijsko oblikovanje s ciljem umanjavanja mogućnosti pojave različitih korozijskih fenomena pri projektiranju, kao i tijekom eksploatacije potrebno je i [2]:

- pri proračunu uzeti u obzir predvidivo smanjenje dimenzija zbog korozije
- kao konstrukcijske materijale treba koristiti metale i nemetale koji su korozijski što otporniji u predviđenim uvjetima. Materijali za brtvila, pakiranje, toplinsku, električnu i zvučnu izolaciju ne smiju sadržavati agresivne sastojke i ne smiju apsorbirati vodu,
- projektnim rješenjima osigurati jednostavno, učinkovito i jeftino održavanje,
- osigurati da se pojedine komponente sustava kod kojih se očekuje brza pojava korozije mogu brzo i jednostavno zamijeniti,
- kadgod je to moguće izbjegavati kontakt s agresivnim česticama,
- provoditi plansko i preventivno održavanje te racionalno kombinirati konstrukcijske materijale (metale i nemetale) i zaštitne metode (npr. bruniranje s uljenjem, fosfatiranje s ličenjem, katodnu zaštitu s bitumenizacijom).

5. ELEKTRIČNE METODE ZAŠTITE

Postupak katodne zaštite materijala (slika 60) se temelji na privođenju elektrona metalu, bilo iz negativnoga pola istosmjerne struje (narinuta struja) bilo iz neplemenitijeg metala (žrtvovana anoda), sve dok potencijal objekta ne padne ispod zaštitne vrijednosti jednake ravnotežnom potencijalu anode korozijskoga članka, čime nestaje afinitet za koroziju, tj. metal postaje imun [2]. Djelotvorna zaštita čelika postiže se ako je konstrukcija polarizirana na vrijednosti elektrodnog potencijala koje se nalaze unutar intervala zaštitnih potencijala između $-1,05 < E < -0,8$ V (prema referentnoj elektrodi Ag/AgCl u morskoj vodi). U teoriji i praksi je dokazano da iako je korozija zaustavljena, pri potencijalima negativnijim od $-1,05$ V, dolazi do prezaštićenosti konstrukcije. Prezaštićenost može imati za posljedicu nepotrebno veliku struju zaštite i trošenje anoda, pojavu vodikove krhkosti i oštećenje premaza koji su primijenjeni na konstrukciji [22].



Slika 60: Katodna zaštita materijala [23].

Katodna zaštita je, uz zaštitu premazima, najčešća metoda zaštite od korozije. Najbolje rezultate daje u kombinaciji sa sustavima premaza, gdje zaštitni sloj prevlake odvaja materijal od okoline, a katodna zaštita mijenja vanjske činitelje oštećivanja smanjenjem pokretne sile oštećivanja.

Kako je već izneseno dva su osnovna oblika katodne zaštite: protektorska zaštita (žrtvovanom anodom) i narinutom strujom. **Protektorska zaštita** se provodi

spajanjem konstrukcije s neplemenitijim metalom u galvanski članak, u kojem je protektor anoda. Anoda se počinje otapati, a na konstrukciji se uspostavlja elektrodni potencijal pri kojem se odvija katodna reakcija. Za zaštitu čeličnih konstrukcija rabe se protektori od Zn, Mg, Al i njihovih legura (tablica 6), a za zaštitu konstrukcija od bakra i Cu-legura rabe se protektori od Fe. Struja koju daje sustav katodne zaštite mora pomaknuti potencijal čitavog objekta katodno za 0,3-0,5 V tj. ispod zaštitne vrijednosti koja ovisi o metalu i elektrolitu te o temperaturi.

Na brodu se elektrokemijske korozijske reakcije najčešće mogu očekivati u području između propelera te okolnog čelika pa se stog žrtvujuće anode u pravilu tamo i postavljaju, slika 61.

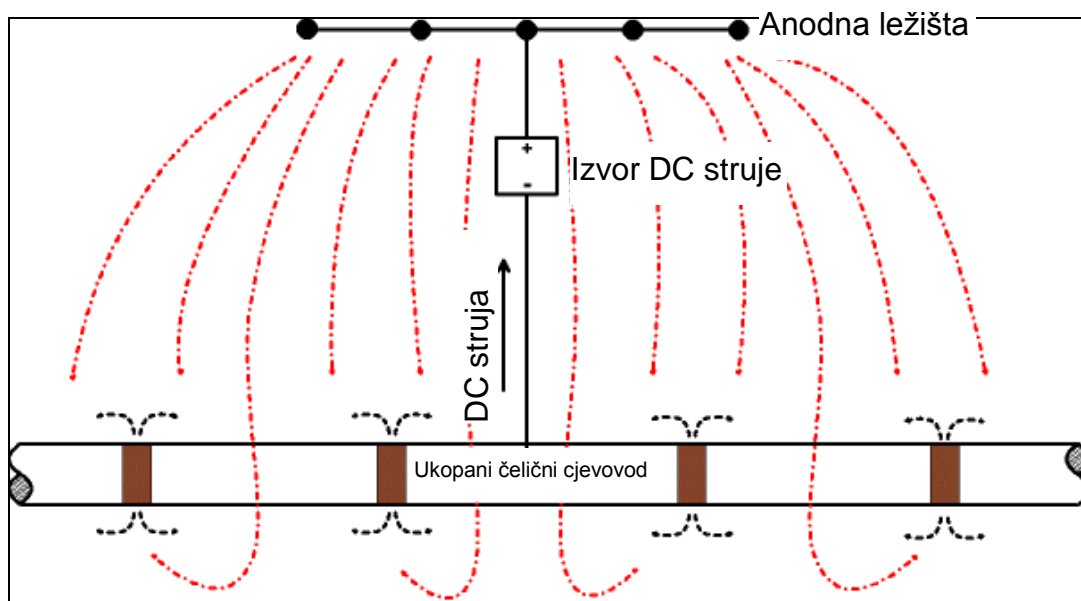


Slika 61: Protektorska zaštita podvodnog dijela čeličnog trupa broda žrtvujućim anodama od cinka.

Tablica 6: Važnija svojstva materijala koji se koriste za protektorsku zaštitu čeličnih konstrukcija [2, 24].

<p>Cink</p>	<p>Cink je materijal visoke gustoće, ima mali volumni potrošak i visoku efikasnost pri svim gustoćama struje, tako da je pogodan za primjenu gdje je potreban dugi vijek trajanja. Cijena jednog amper-sata iz cinkove anode je, prema dugogodišnjem odnosu na svjetskom tržištu, upola manja od cijene amper-sata iz magnezijske anode. Brzina vlastite korozije cink-anode je vrlo mala. Ona iznosi u hladnoj morskoj vodi oko $0,04 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Ovi podaci se odnose na mirnu vodu. U početku su za katodnu zaštitu korištene anode od nerafiniranog cinka, ali anode su se vrlo brzo pasivirale radi stvaranja pasivnog sloja koji je snižavao izlaznu struju anode. Danas se za zaštitu čeličnog broskog trupa najčešće koriste protektori od rafiniranog Zn ili njegove legure s malo Al ili Mg. Sadržaj željeza u Zn protektoru mora biti ispod 0.0014% pa se stoga čelična šipka na koju je cink pričvršćen obično vruće cinča da čelik ne bi utjecao na anodu. Usprkos malom pogonskom naponu ($\approx 0,2 \text{ V}$) oko 90 % galvanskih anoda za zaštitu trupa broda je od cinka. Cink se redovito koristi u katodnoj zaštiti tankera. Naime, u slučaju odvajanja cink-anode iz ležišta i udarca u čeličnu konstrukciju broda ne dolazi do iskrenja čime se izbjegava opasnost od požara. Koriste se i za zaštitu balastnih tankova. U slatkoj vodi koja sadrži kisik pri temperaturama većim od oko $60 \text{ }^\circ\text{C}$, opaženo je da Zn anoda ima pozitivniji potencijal u odnosu na potencijal željeza. Ova promjena potencijala je veća kad je u leguri cinka prisutno željezo.</p>
<p>Aluminij</p>	<p>Čisti aluminij se <u>ne može</u> koristiti kao anodni materijal jer se vrlo brzo pasivira. Za galvanske anode se koriste aluminijske legure koje sadrže aktivirajuće elemente za sprečavanje nastajanja pasivnog sloja. Brzina vlastite korozije aluminijskih legura kao i njena ovisnost o opterećenju i mediju različita je u širokim granicama za razne tipove legura i uvijek je veća od korozije cink-anoda. Potencijal mnogih Al-anoda je na početku korištenja jako negativan, no nakon nekoliko sati ili dana postiže nešto pozitivniju stabilnu vrijednost. Oksidi, hidroksidi i aluminijske bazične soli su pri pH oko 7 znatno manje topivi nego cinkove soli što objašnjava veću sklonost polarizaciji. Galvanske anode od aluminija se uglavnom koriste u offshore-tehnici. Najveća prednost aluminija je njegova mala gustoća.</p>
<p>Magnezij</p>	<p>Magnezijske anode se radi svojih nedostataka sve rjeđe primjenjuju u brodogradnji. Anodni materijal je skup, a faktor iskorištenja malen, radi velike vlastite korozije anodnog materijala. Pogonski napon anode je velik, pa se anode ne mogu direktno priključiti, jer u blizini anode nastaje prezaštićenost. Pod takvim se okolnostima topljive anode prebrzo troše, dok se na objektu u jako kiseloj sredini razvija vodik, a u slabo kiseloj, neutralnoj i slabo lužnatoj sredini, osim vodika nastaju i OH- ioni koji povisuju pH, što može izazvati vodikovu bolest metala i ljuštenje organskih prevlaka.</p>

Zaština narinutom strujom temelji se na privođenju elektrona metalu iz negativnog pola istosmjerne struje (DC). U ovom slučaju metal koji ima ulogu anode, ne mora imati niži potencijal od metala kojeg štiti, već prirodni polaritet mijenja narinuta struja u zatvorenom strujnom krugu. Anode kod ovog oblika zaštite mogu biti topljive (ugljični čelik) i netopljive (ferosilicij, grafit, ugljen, nikl, olovo, platinirani titan, itd.). Zaštita narinutom strujom koristi se za šticeenje različitih ukopanih i uronjenih konstrukcija poput npr. ukopanih cjevovoda (slika 62), spremnika, a posebno se često koristi i u za zaštitu brodskih konstrukcija.

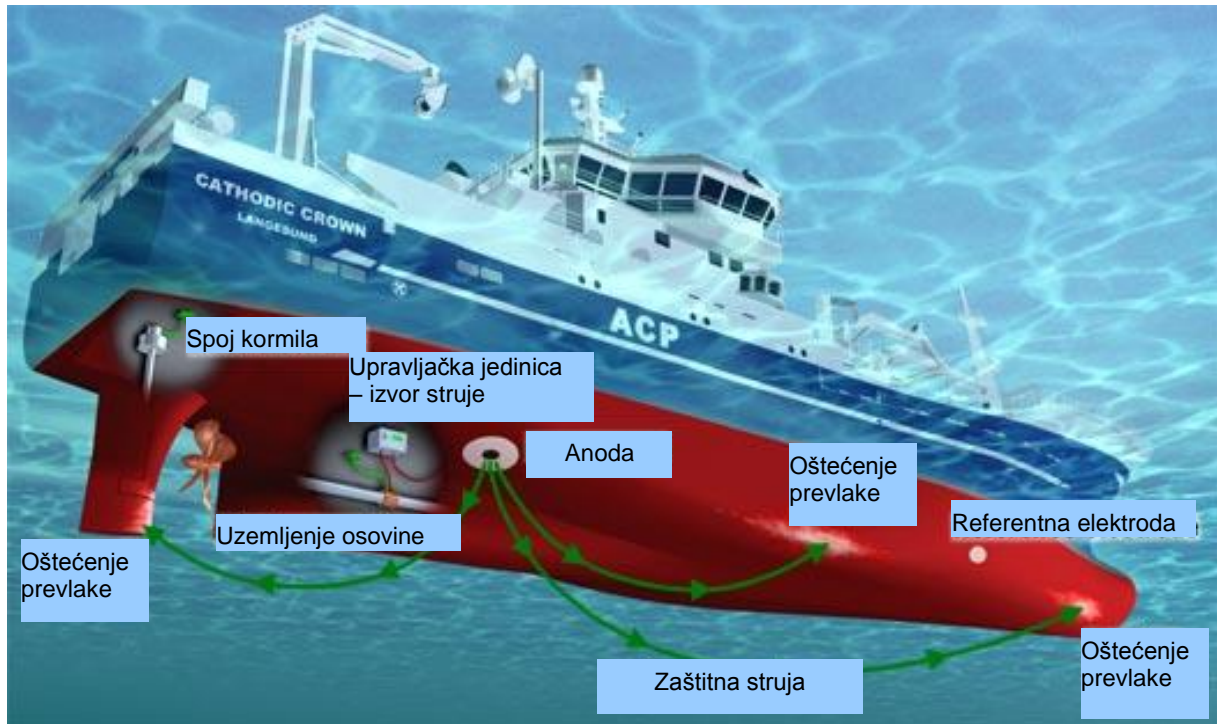


Slika 62: Shema sustava katodne zaštite podzemnog cjevovoda sustavom «narinute struje» [25]

Kod katodne zaštite narinutom strujom, npr. brodski trup najčešće je spojen preko regulatora na minus pol izvora struje, dok su na plus pol spojene anode koje se zbog mogućih oštećenja ugrađuju u oplatu broda. Anode se izrađuju od plemenitih postojanih materijala (platina, grafit, vodljivi poliplasti, smjesa metalnih oksida i dr.), slika 63.

Za razliku od galvanskih anoda, kod inertnih anoda nije propisan njihov međusobni razmak, jer se mogu regulirati struja i domet zaštite. Struja i napon katodne zaštite mijenjaju se u ovisnosti o veličini broda, udjelu oštećene površine dijela broda, brzini

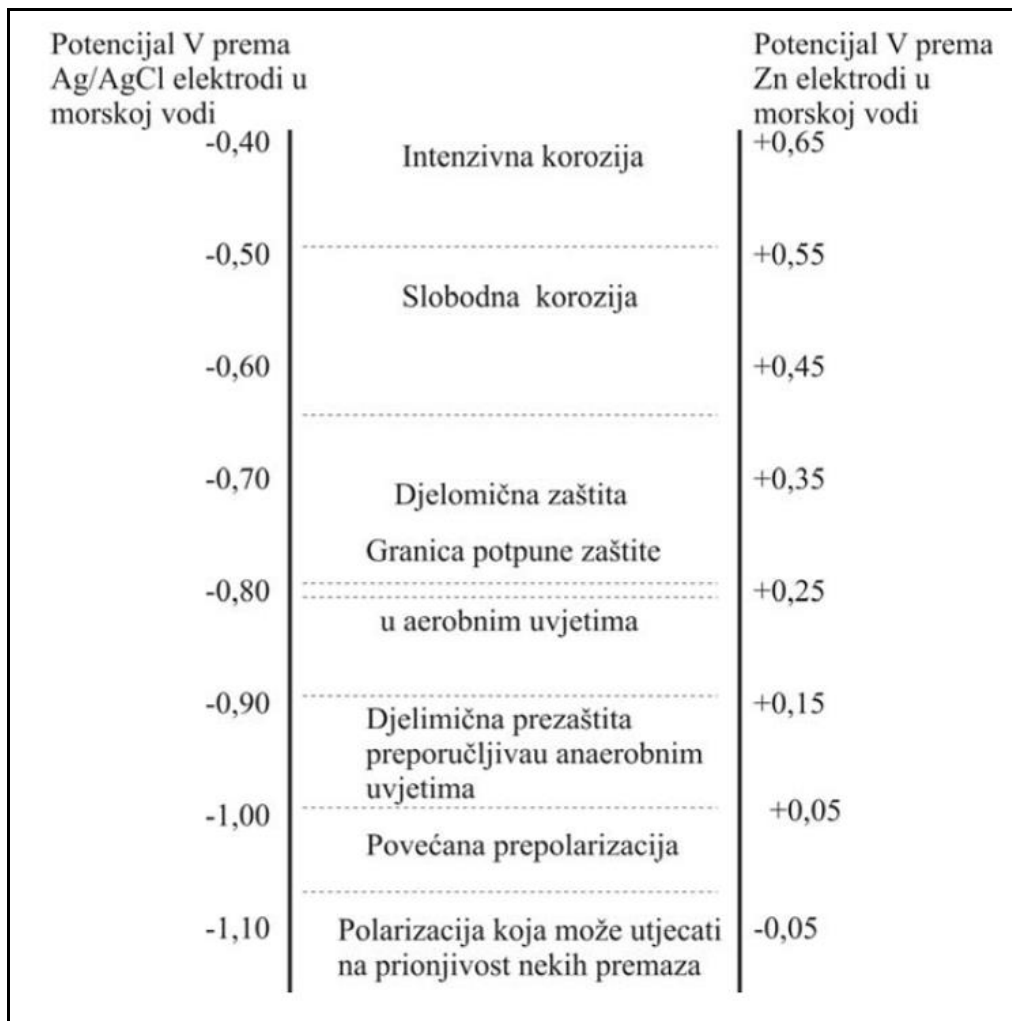
broda, salinitetu morske vode, broju i položaju anoda. Područje brodskog trupa oko postavljenih anoda treba biti zaštićeno posebnim premazom - kitom debljine najmanje 1 mm (zbog pretjerane katodne polarizacije u blizini anode, te lužina koje se razvijaju i mogu oštetiti zaštitni premaz).



Slika 63: Primjer sustava katodne zaštite na brodu [26].

Nedostaci su: početni visoki troškovi, mogućnost pogrešnog spajanja sustava što uzrokuje brzo i intenzivno korozijsko oštećivanje brodskog trupa, a prejak struja zaštite može oštetiti zaštitne premaze [4].

Kriterij katodne zaštite čelika i ostalih metala u morskoj vodi definiran je normom *EN 12473:2000 Opća načela katodne zaštite u morskoj vodi*. Smatra se da je niskougljični čelik potpuno katodno zaštićen ako mu se potencijal nalazi u intervalu od +250 mV do – 50 mV, mjereno prema referentnoj elektrodi Zn-morska voda, slika 34.



Slika 64: EN 12473:2000 - područja korozije, katodne zaštite i prepolarizacije čelika prikazana u odnosu na potencijale referentnih elektroda

Katodna zaštita nehrđajućeg čelika, bronce, bakra i aluminija zahtjeva katodni pomak potencijala od 100 mV u odnosu na korozijski potencijal. Vrlo je važno naglasiti kako je aluminij posebno osjetljiv na katodnu prepolarizaciju uslijed koje dolazi do alkalne korozije aluminija, tako da je potrebno obratiti posebnu pozornost na dizajn i monitoring katodne zaštite aluminija u smislu katodne prepolarizacije koju svakako treba izbjeći.

6. ZAŠTITA PROMJENOM OKOLNOSTI – INHIBITORI KOROZIJE

Inhibitori korozije se definiraju kao tvari anorganskoga ili organskog porijekla koje u vrlo malim koncentracijama smanjuju brzinu korozije do tehnološki prihvatljivih vrijednosti. Prema načinu djelovanja, inhibitori se dijele na anodne, katodne i miješane (anodno-katodne), prema tome koče li ionizaciju metala (anodnu reakciju), redukciju oksidansa (katodnu reakciju) ili oba ta procesa.

Podjela inhibitora

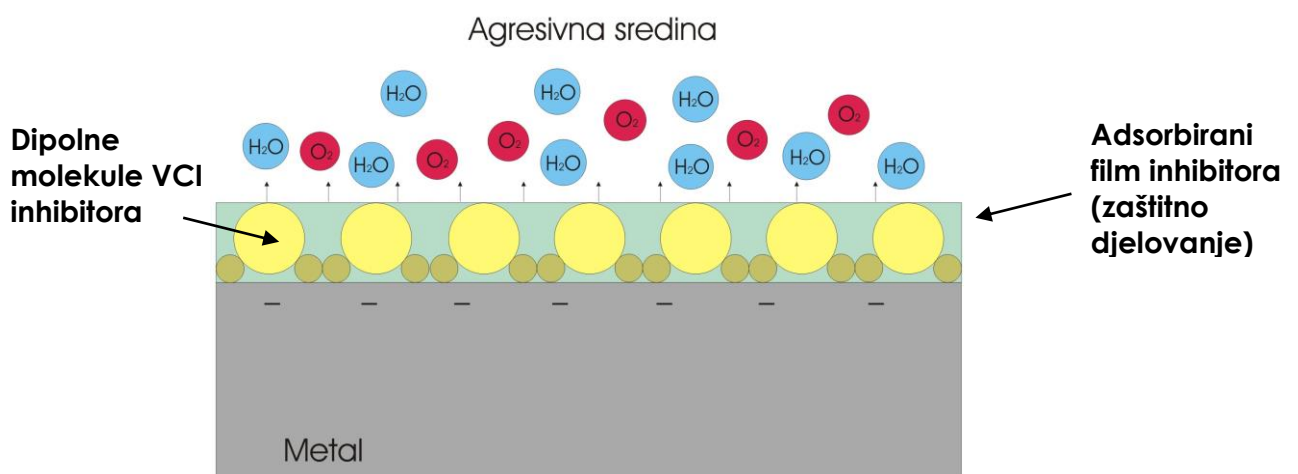
Anodni inhibitori sprječavaju ionizaciju metala. Najvažniji su anodni inhibitori pasivatori, tj. topljive soli oksidativnih aniona, kakvi su kromati, CrO_4^{2-} , nitriti, NO_2^- , molibdati, MoO_4^{2-} , volframati, WO_4^{2-} i vanadati, VO_3^- koji u otopinama s pH 5-9 prevode Fe, Ni, Co i njihove legure u pasivno stanje (snažno kočenje procesa korozije = spora korozija). Takvi se inhibitori često nazivaju "opasnima" jer uz nedovoljnu koncentraciju ne pasiviraju čitavu metalnu površinu, osjetno smanjujući anodnu i povećavajući katodnu ploštinu, što izaziva jamičastu koroziju. Osim pasivatora, među anodne inhibitore ubrajaju se i tzv. taložni inhibitori koji s ionima konstrukcijskog metala, nastalima na lokalnim anodama, daju slojeve netopljivih korozijskih produkata. Među tim se inhibitorima ističe vodeno staklo (Na-silikat) koje na anodama tvori sloj silikagela i metalnog silikata [2,3].

Katodni inhibitori izravno koče katodnu reakciju (redukciju vodika ili kisika) ili djeluju kao taložni inhibitori, tvoreći na lokalnim katodama netopljive produkte. Pri dekapiranju i kiselinskom čišćenju postrojenja i uređaja često se rabe inhibitori koji povećavaju prenapon redukcije H^+ i izlučivanja vodika (npr., spojevi As, Sb, Sn, Bi, itd.). U slabo kiselim, neutralnim i lužnatim otopinama u kojima je katodna reakcija korozijskog procesa redukcija kisika apsorbiranog iz zraka (redukcija kisika), rabe se katodni taložni inhibitori [1]. Takvo djelovanje imaju cinkove i kalcijeve soli. Za razliku od anodnih, katodni inhibitori dodani u bilo kojoj količini smanjuju brzinu korozije i nisu opasni [2,3].

Mješoviti inhibitori imaju dvostruko djelovanje, i anodno i katodno (usporavaju anodnu i katodnu reakciju). To su najčešće organski spojevi koji se adsorbiraju na metalnu površinu, tvoreći spojeve u obliku zaštitnih monomolekulskih filmova, pa se

često nazivaju i adsorpcijski inhibitori. Najpoznatiji su želatina, agar-agar, škrob, tanin, K-glukonat. U ovu skupinu inhibitora spadaju i derivati acetilena, soli organskih kiselina, spojevi s dušikom (amini) i njihove soli (nitrati), spojevi sa sumporom, tioalkoholi (merkaptani), sulfidi [2,3].

Hlapivi inhibitori korozije (VCI, engl. volatile corrosion inhibitor) čine posebnu skupinu inhibitora koji štite metale od atmosferske korozije. To su organske tvari u čvrstom stanju koje imaju dovoljno visok tlak para da bi sublimacijom (izravno isparavanje čvrste faze) učinile nekorozivnim okolni zrak ili neki drugi plin. Rabe se u obliku praha ili se njihovom alkoholnom otopinom natapaju papiri, odnosno spužvaste tvari (najčešće spužvasti poliplasti). Isparavanjem, VCI-i putuju prema svim dijelovima metalne površine te je pokrivaju. Pri dodiru s metalnom površinom, para VCI-ja se kondenzira u tanki monomolekularni film koji putem ionskog djelovanja štiti metal (slika 65). Te molekule organskih inhibitora korozije su dipolne, tako da se pozitivni dio molekule veže za površinu (-), a negativni dio je okrenut prema mediju i on je hidrofoban, odnosno odbija vodu i kisik te izolira predmet od njegove okoline. Nastali film se dalje održava i nadomješta daljnjom kondenzacijom pare. VCI-i se, npr. stavljaju u zaštitne omote za skladišno ili transportno konzerviranje metalnih predmeta. Para inhibitora se unutar takva omota otapa u filmu vlage, odnosno kondenzatu koji nastaje na površini konzerviranog predmeta i štiti predmet od korozije [2, 27,28, 29] .



Slika 65: Mehanizam djelovanja hlapivog inhibitora korozije [29].

Svojstva VCI-ja [27, 28]:

- *Visoka otpornost adsorbiranoga zaštitnog sloja na koroziju.*

Organski spojevi velike molekularne težine, koji snažno prijanjaju uz metalne površine, stvaraju zaštitni sloj koji štiti metal od uzročnika korozije (atmosfera, H₂S, kiseline, lužine, soli, itd.). Upijajući zaštitni sloj fizički štiti metalnu površinu i sprječava dodir fluida i metala. Usto zaštitni sloj inhibitora priječi ione da migriraju s površine metala u otopinu. Zaštitni sloj se zadržava i štiti kod niskih pH-vrijednosti.

- *Dobra otpornost na temperaturu*

Svi inhibitori korozije pokazuju dobru toplinsku stabilnost pri temperaturama do 300 °C. Neki organski spojevi pri tim temperaturama neće imati dobra svojstva inhibicije, ali ih je potrebno staviti u područje visokih temperatura da bi inhibitor dospio do mjesta hlađenja i kondenziranja tijekom tehnološkog procesa i tada djelovao zaštitno.

Praktična primjena hlapivih inhibitora korozije u obliku praha poznata je još iz 19. stoljeća iz Švedske, gdje su kamfor koristili za zaštitu oružja. Kasnije su korišteni prahovi organskoga i anorganskog nitrita, a danas su to uglavnom organske soli [2].

Djelotvornost inhibitora

Uspješnost inhibicije izražava se faktorom usporenja (retardacije) f_u definiranim kao

$$f_u = \frac{(v_{kor})_{ni}}{(v_{kor})_i}$$

odnosno stupnjem inhibicije η_i jednakim

$$\eta_i = \frac{(v_{kor})_{ni} - (v_{kor})_i}{(v_{kor})_{ni}} \cdot 100\%$$

gdje je $(v_{kor})_{ni}$ brzina korozije u neinhibiranom mediju, a $(v_{kor})_i$ brzina korozije u inhibiranom mediju [3]. Iz ekonomskih razloga je vrlo važno da inhibitori djeluju već u niskim koncentracijama. Obično se traži da η_i bude 80-98%, što odgovara f_u između 5 i 50, tj. inhibitor toliko puta usporava proces korozije [2,3]. Optimalno područje koncentracije inhibitora ovisi o mnogim čimbenicima, među kojima treba spomenuti

vrstu metala, sastav i koncentraciju elektrolita, njegovu pH-vrijednost i temperaturu kao i vrstu inhibitora. Vrlo je raširena primjena inhibitora jer dva, pa i više inhibitora u smjesi često djeluju sinergijski. Sinergizam je pojava povećanja stupnja inhibicije (usporenja brzine korozije) miješanjem inhibitora [3]. Postiže se jači zaštitni učinak koji bi se postigao odvojenom uporabom pojedinog inhibitora uz jednaku zbirnu koncentraciju.

Neki od praktičnih primjera korištenja inhibitora u zaštiti od korozije dani su u tablici 7.

Tablica 7: Neki od praktičnih primjera primjene inhibitora korozije u gospodarstvu[29].

<p>Primjena inhibitora se afirmirala na mnogim tehničkim područjima, gdje se druge metode zaštite od korozije (npr., prevlačenje) nisu pokazale uspješnim. Oni se koriste u sustavima za grijanje i hlađenje, u parnim kotlovima, pri dobivanju i preradi nafte i plina, u kemijskoj industriji, pri hlađenju i podmazivanju tijekom obrade rezanjem, pri kiselinskom nagrizanju metalnih predmeta, za zaštitu različite opreme i strojeva tijekom transporta itd., čime se postižu značajne uštede i omogućuje kvalitetniji rad. Inhibitori služe i za sprječavanje pukotina zbog napetostne korozije, vodikove bolesti metala i korozijskog umora, a naročito su prikladni za zaštitu od korozije unutrašnjosti cijevi (slika desno) i drugih šupljih predmeta u vrijeme njihova rada ili skladištenja.</p>	
<p>Hlapivi inhibitori korozije uspješno štite električne i elektronske komponente tijekom proizvodnje, montaže, skladištenja, transporta i primjene. Štite važne komponente u rasklopnim i osiguračkim kutijama, komunikacijskim i pomorskim uređajima, radio i računalnim uređajima, električkim upravljačkim sklopovima, tiskanim pločama, kontaktima, motorima i generatorima [2]. Osnovna prednost primjene inhibitora pred drugim metodama zaštite je vrlo jednostavna montaža, konstantnost električnih i mehaničkih svojstava, te samoobnavljanje zaštitnog djelovanja tijekom eksploatacije ili mirovanja navedenih elemenata.</p>	
<p>Inhibicija je osobito prikladna za zaštitu postrojenja s potpuno kružnim tokom elektrolita, ali se često isplati i u postrojenjima s djelomično kružnim, a katkad i protočnim tokom. U zatvorenom se sustavu inhibitor, kao negativni katalizator, ne troši [1]. Tako se određene vrste inhibitora mogu dodati vodi pri hidrostatskoj probi kondenzatora, izmjenjivača ili kotlova. Inhibitori djeluju zaštitno i pri 100-postotnoj relativnoj vlažnosti, pa je oprema zaštićena i pri najnepovoljnijim uvjetima. Također, inhibitori se mogu primijeniti i prilikom obustave pogona, jer nije potrebno sušiti unutrašnjost opreme, a pogon je spreman za pokretanje u rad u svakom trenutku.</p>	<p>Prerada tehničkih kovina od ingota do žice, lima ili cijevi traži primjenu velikog broja tehnoloških tekućina i maziva tijekom različitih vrsta tehnološke obrade. Uporabom tehnoloških tekućina u svim fazama postižu se odlična svojstva površine, brzine proizvodnje i produžuje se vijek alata za obradu. Tek obrađeni elementi su izloženi koroziji i kao takvi trebali bi se nakon obrade odmah zaštititi. Primjenom isparljivih inhibitora u tehnološkim tekućinama sprječava se korozija obrađenog elementa i troškovi naknadne obrade čišćenja korozijskih produkata s površine prije njegove daljnje obrade ili ugradnje.</p>
<p>Zaštita u graditeljstvu - trajnost i upotrebljivost konstrukcija od armiranog betona izloženih korozijskom okolišu uvelike je smanjena, pa čak i do te mjere da je ugrožena sigurnost konstrukcije. Armaturna mreža se proizvodi od čelika koji je sklon koroziji u atmosferi te ga je, na neki način, potrebno zaštititi. Migrirajući inhibitori korozije (MCI), kao sredstva za zaštitu armature od korozije, pripadaju najnovijoj tehnologiji zaštite. Oni se dodaju mješavini betona tijekom gradnje novih i za vrijeme procesa sanacije starih konstrukcija, pri čemu MCI migrira kroz beton do čelične armature mreže. Veže se za armaturu i čeličnu mrežu, stvarajući tanak zaštitni sloj MCI-ja koji sprječava kemijsku reakciju između okoliša i čelika u strukturi betona, a tako i daljnju koroziju.</p>	<p>Oružje i vojnu opremu koja se kraće ili duže vrijeme nalazi izvan uporabe potrebno je štiti. Primjenom hlapivih inhibitora korozije kod skladištenja oružja i opreme izbjegava se dugotrajan postupak konzervacije i naknadne dekonzervacije prije uporabe. Oružje se npr. očisti i zapakira u vrećice u koje su u postupku proizvodnje impregnirani hlapivi inhibitori korozije. Oni isparavaju i popunjavaju prostor u vrećici i na taj način čine okoliš nekorozivnim. Tako zapakirano oružje skladišti se u sanducima u koje se dodatno postavljaju emiteri koji u slučaju oštećenja vrećica štite opremu od korozije. U slučaju ratne ugroze, oružje se vadi iz vrećica i trenutano je spremno za uporabu.</p>

LITERATURA

1. ASM Volume 13A: Corrosion, fundamentals, testing and protection, ASM International, 2003.
2. I. Esih, Z. Dugi: Tehnologija zaštite od korozije I, Školska knjiga, Zagreb, 1990.
3. I. Esih: Osnove površinske zaštite, Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, FSB, 2003.
4. Protective Coatings Europe, Volume 7, July 2002.
5. D. Jones: Principles and prevention of corrosion, Prentice Hall, 1996.
6. Juraga, Ivan; Linardon, Lorena; Šimunović, Vinko; Stojanović, Ivan: Zaštita od korozije u brodogradnji, savjetovanje Zavarivanje u pomorstvu, Hvar, Hrvatsko društvo za tehniku zavarivanja, 2004. 183-198.
7. P. Marcus, J. Oudar: Corrosion mechanisms in theory and practice, Marcel Dekker, Inc, New York, 1995.
8. K. R. Trethewey, J. Chamberlain: Corrosion for science and engineering, Longman, Essex, 1995.
9. Davis, A., Williamson, P.: "Marine Biofouling: a sticky problem", NERC News, 1996, <http://www.biology.bham.ac.uk/biofouling>
10. Bertram, V.: "Past, Present and Prospects of Antifouling", 32nd WEGEMT School on Marine Coatings, Plymouth, 2000
11. Anderson, C.: "TBT Free Antifouling and Foul Release Systems", <http://www.international-marine.com/antifouling>
12. P. R. Roberge: Handbook of corrosion engineering, McGraw-Hill, New York, 1999.
13. U. Nürnberger: Korrosion und Korrosionsschutz im Bauwesen, Bauverlag, 1995.
14. <http://www.jotun.com>
15. <http://www.beckerpowder.com>
16. J. R. Davis: ASM Specialty Handbook – Stainless Steels, ASM International, Materials Park, 1994., p. 133 – 146.
17. H. Schlerkmann: Nichtrostende stähle – Eigenschaften und Korrosionsbeständigkeit als Kriterium für die Anwendung, Sammelbuch, Nichtrostende Stähle können rosten, GfKORR, Frankfurt am Main, 2004, p. 17.
18. C. P. Dillon: Corrosion resistance of stainless steels, Marcel Dekker Inc., New York, 1995., p. 65 – 77.
19. Juraga, I., Šimunović, V., Španiček, Đ.: Contribution to the study of effects of surface state of welded joints in stainless steels upon resistance towards pitting corrosion, Metalurgija, vol 46, br. 3, Hrvatsko metalurško društvo, Zagreb, 2007., 185-189.
20. E.D.D. Doring: Corrosion Atlas, Elsevier, 1997.
21. I. Juraga, Ivan; Šimunović, Vinko; Parat, Vjenceslav; Stojanović, Ivan: Konstrukcijsko-tehnološke mjere i smanjenje korozivnih oštećenja, Zavarivanje, Vol. 48, No. 5/6, 2005., pp 167-180
22. S. Martinez: "Katodna zaštita konstrukcija u moru", Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb
23. <http://www.stoprust.com/pdf/15/CP-101-2007.pdf>
24. B. Jarić, A. Rešetić: "Korozija – Elektrokemijske osnove i katodna zaštita", Korexpert, Zagreb, 2003.
25. <http://www.cpdesigncenter.com>
26. <http://www.acp.no>
27. M. Ivanušić: Primjena praškastih hlapivih inhibitora korozije u zaštiti od korozije razne metalne opreme – iskustva zaštite u Hrvatskoj, Seminar: Primjena inhibitora korozije u zaštiti inženjerskih konstrukcija, HDZaMa, Zagreb, 2001.
28. I. Esih: Teorija zaštite od korozije i njena primjena s posebnim osvrtom na inhibitore, Seminar: Primjena inhibitora korozije u zaštiti inženjerskih konstrukcija, HDZaMa, Zagreb, 2001.
29. Juraga, I., Šimunović, V., Stojanović, I.: Primjena inhibitora u zaštiti od korozije u brodogradnji, SORTA 2006, Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci i 3. maj brodogradilište d.d., Rijeka, 2006., 183-198.