

Osnove korozije i zaštita konstrukcije primjenom premaza

Koren, Dino

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:551357>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-07**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište
Sjever**

Završni rad br. 176/PS/2016

**OSNOVE KOROZIJE I ZAŠTITA
KONSTRUKCIJE PRIMJENOM PREMAZA**

Dino Koren, 5067/601

Varaždin, svibanj 2016. godine



Sveučilište Sjever

Odjel za Proizvodno strojarstvo

Završni rad br. 176/PS/2016

Osnove korozije i zaštita konstrukcije primjenom premaza

Student

Dino Koren, 5067/601

Mentor

Marko Horvat, dipl.ing.

Varaždin, svibanj 2016. godine

Prijava završnog rada

Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za proizvodno strojarstvo		
PRISTUPNIK	Dino Koren	MATIČNI BROJ	5067/601
DATUM	25.04.2016.	KOLEGIJ	Tehnologija III
NASLOV RADA	Osnove korozije i zaštita konstrukcije primjenom premaza		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Basics of corrosion and protection construction by applying coatings		
MENTOR	Marko Horvat, dipl.ing.	ZVANJE	predavač
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. Veljko Kondić, mag. ing. mech., predavač		
	2. Marko Horvat, dipl.ing., predavač		
	3. mr.sc. Zlatko Botak, viši predavač		
	4. _____		
	5. _____		

Zadatak završnog rada

BROJ	176/PS/2016
OPIS	

U Završnom radu je potrebno:

- definirati proces korozije i objasniti njezin ekonomski značaj
- klasificirati i objasniti najčešće oblike korozijskih procesa
- klasificirati, objasniti i opisati mjere i metode zaštite od korozije
- u eksperimentalnom dijelu rada potrebno je na primjeru iz prakse opisati i dokumentirati jedan od načina mjere zaštite od korozije čelične konstrukcije
- u zaključku dati osvrt na teme Završnog rada

ZADATAK URUČEN

10.05.2016



Zahvala

Zahvaljujem se svojoj obitelji, Ivani i prijateljima na podršci i razumijevanju iskazanom tijekom mog studiranja. Posebno se zahvaljujem svojem mentoru dipl. ing. Marku Horvatu na savjetima i velikoj pomoći tijekom izrade ovog rada. Zahvaljujem se i tvrtki Komet d.o.o. Prelog u kojoj sam izradio eksperimentalni dio ovog rada.

Sažetak

Završni rad sastoji se od dva dijela:

- *teorijski i*
- *praktični dio*

Teorijski dio prikazuje ekonomsku značajnost korozije u svijetu. Navedeni su razlozi nastajanja, brzine širenja i vrste korozije koje susrećemo kod metalnih konstrukcija. Opisane su različite metode zaštite od korozije koje se koriste u svijetu.

Eksperimentalni dio sastoji se od praćenja procesa prolaska konstrukcije kroz antikorozivnu zaštitu. Od pripreme površine za nanošenje prevlake, nanošenje prevlake i ispitivanje nanosene prevlake. Opširnije je prikazana metoda zaštite primjenom premaza. Eksperimentalni dio rađen je u tvrtki Komet d.o.o. Prelog.

Ključne riječi:

KOROZIJA

EKONOMSKI ZNAČAJ KOROZIJE

VRSTE KOROZIJA

ZAŠTITA OD KOROZIJE

PREMAZ

Abstract

The final work consists of two parts:

- *theoretical part*
- *practical part*

The theoretical part shows the economic importance of corrosion in the world. There are reasons for the formation, the velocity of propagation and types of corrosion encountered with metal structures listed down. The text also provides a variety of methods of corrosion protection used in the world.

The experimental part consists of monitoring the process of passing the construction through corrosion protection. Also, it describes surface preparation for coating, coating and testing of coatings. There are methods of protection by applying the coating explained in greater detail. The experimental part is made in company Komet Ltd. Prelog.

Keywords:

CORROSION

ECONOMIC IMPORTANCE OF CORROSION

TYPES OF CORROSION

CORROSION PROTECTION

COATING

Sadržaj

1.	Uvod.....	1
2.	Ekonomski značaj korozije	Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.
3.	Uzroci i brzina nastajanja korozije	Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.
4.	Klasifikacija korozije	Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.
4.1.	Kemijska korozija	12
4.2.	Elektrokemijska korozija.....	15
4.3.	Opća korozija	20
4.4.	Lokalna korozija.....	21
4.5.	Selektivna korozija	26
4.6.	Interkristalna korozija	27
4.7.	Specifični oblici korozije	27
5.	Zaštita od korozije.....	Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.
5.1.	Racionalni izbor konstrukcijskog materijala.....	32
5.2.	Konstrukcijsko tehnološke mjere	34
5.3.	Zaštitno prevlačenje	38
5.3.1.	Metalne prevlake	44
5.3.2.	Nemetalne anorganske prevlake.....	49
5.3.3.	Nemetalne organske prevlake	50
5.4.	Smanjenje agresivnosti medija.....	58
5.5.	Električne metode zaštite od korozije	63
6.	Eksperimentalni dio	Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.
6.1.	Priprema površine- sačmarenje	66
6.2.	Nanošenje premaza- farbanje	70
6.3.	Ispitivanje debljine nanesenog premaza.....	84
7.	Zaključak.....	88
8.	Literatura.....	89

1. UVOD

Čovjek se od pradavnih vremena koristi predmetima i materijalima za njihovu izradu koje je pronalazio i uzimao iz prirode. Danas su svuda oko nas sveprisutni konstrukcijski materijali. Svi konstrukcijski materijali podložni su nenamjernim oštećivanjima i štetnim promjenama koji u konačnici smanjuju vijek upotrebe same tvorevine. Takve promjene dešavaju se od trenutka samog dobivanja materijala, pa sve do njegove otpreme na otpad ili recikliranje. [1]

Iz prirode čovjek uzima sirovine koje se nalaze u termodinamičkom stabilnom stanju. Unosom energije, preradom i oblikovanjem mijenja se njihov sastav pri čemu se dobiva konstrukcijski materijal sa željenim svojstvima. Dobiveni materijal nalazi se u termodinamičkom nestabilnom stanju te prirodno teži vraćanju u prvobitno termodinamičko stabilno stanje. To je neželjena, nenamjerna i štetna pojava koja se događa iz razloga što su prirodni materijali u ravnoteži s kemijskim reakcijama koje se dešavaju pod utjecajem kisika, vode i ostalih atmosferskih čimbenika. Unosom energije i preradom prirodnih materijala promjene ostaju prekrivene u strukturi materijala te se mijenja njihov sastav da bi se ostvarila željena svojstva za ciljanu namjenu. Zbog velikog unosa energije kod proizvodnje metalno stanje sadržava visoku energiju. Metal ima prirodnu težnju da reagira s drugim tvarima i oslobađanjem energije prelazi u stanje niže energije. Taj prelazak nazivamo pokretačka sila procesa korozije. [1,2]



Slika 1.1 Korozijski ciklus [3]

Proces prelaska materije iz nestabilnog u stabilno stanje nazivamo korozija. Korozija dolazi od riječi „corrodare“, što znači nagristi. “Prema HRN EN ISO 8044:2001 Korozija i zaštita metala i legura - Osnovni nazivi i definicije: Korozija je fizikalno kemijska interakcija između materijala i okoliša, čiji rezultat su promjene u svojstvima materijala koja mogu voditi k slabljenju nosivosti i funkcionalnosti konstrukcije.“ [1] Osim metala korodirati mogu i drugi materijali kao što su keramika, staklo, polimerni materijali i beton. [1]

Posljednji podaci za 2006. godinu govore kako godišnji troškovi uzrokovani korozijom u svijetu iznose 2200 milijardi američkih dolara, dok su za 2011. procijenjeni na vrtoglavih 3300 milijardi američkih dolara. Ovi troškovi uključuju procijenjenu štetu nastalu zbog korozije kao i troškove zaštite konstrukcijskih materijala. [1]

Ljudi su se od pradavnih vremena prije 3500 godina bavili zaštitom svog alata, oružja, posuda, brodova i sličnih tvorevina da bi produžili njihov vijek trajanja. U Egiptu su se koristili zaštitnim premazima kako bi zaštitili podvodne dijelove broda, a u srednjem vijeku su zaštitnim premazima štitili oružje i oklope od korozije. U današnje vrijeme površinska zaštita od korozije ima sve veću tehničku i gospodarsku važnost. Površinskom zaštitom želi se kočiti i spriječiti proces nastanka korozije jer štetne pojave i procesi većinom počinju na samoj površini materijala. Osim toga ona je i srodna finalizaciji proizvoda, tj. završnoj obradi kojom se mijenjaju svojstva površine s ciljem da se zaštiti površina i dobije završni estetski izgled ili neki učinak koji je bitan za funkcionalnost proizvoda. Postupci zaštite materijala od djelovanja korozije obuhvaćaju primjenu korozijski postojanih materijala, konstrukcijsko- tehnoloških mjera zaštite, elektrokemijskih metoda zaštite (anodna i katodna zaštita), zaštitu inhibitorima korozije te zaštitu prevlačenjem. [1,2,4]

Najraširenija metoda zaštite površine od korozije i drugih neželjenih oštećivanja je nanošenje prevlaka na površinu proizvoda. Čak 75 % svih metalnih konstrukcija zaštićeno je organskim prevlakama, tj. premazima. Pravilno projektirana i izvedena zaštita od korozije premazima u većini slučajeva ima presudnu važnost za radni vijek konstrukcije. Iz tog razloga se od zaštitnih premaza zahtijeva dugotrajnost i pouzdanost. Pritom je potrebno osigurati dovoljnu postojanost same prevlake, njezinu homogenost i prionjivost. Danas je u svijetu jako bitna ekološka osviještenost, stoga se osim učinkovitosti zaštite od korozije suvremenim premazima postavljaju i sve stroži zahtjevi na smanjenje štetnog utjecaja na okoliš. Prva smanjenja štetnosti premaza počela su zabranom upotrebe toksičnih i kancerogenih pigmenata, a danas su to strogi uvjeti ograničavanja emisija hlapivih organskih spojeva u okoliš, manja otrovnost i zapaljivost, sigurniji i zdraviji rad te manji troškovi zbrinjavanja opasnog otpada. Vodorazrjedivi premazi se danas smatraju kao ekološki najprihvatljivije rješenje za zaštitu od korozije. [1,2]

2. EKONOMSKI ZNAČAJ KOROZIJE

Iza brojnih industrijskih nesreća i ekoloških katastrofa koje su se dogodile u prošlosti, a događaju se i danas u naftnim, zrakoplovnim, pomorskim i ostalim industrijama svijeta nalazi se korozija. Taj je proces prisutan svugdje u industrijskim postrojenjima i objektima izgrađenim od klasičnih čeličnih materijala i nikada se ne može zaustaviti. Međutim njezina razarajuća moć može se nadzirati i na mnoge konvencionalne i suvremene načine usporiti ili čak spriječiti njezin tijek kao i posljedice. Svakodnevno je vidljivo da je korozija izrazito štetna i razorna te ima velik utjecaj na vijek trajanja sirovine, poluproizvoda, proizvoda ili konstrukcije. Korozija smanjuje masu i upotrebnu vrijednost materijala. Time metoda zaštite od korozije ima sve veću važnost. [4]

Danas su konstrukcije sve lakše i izrađene su od sve tanjih materijala, dok je okoliš kojemu su izložene sve agresivniji. Stoga je potreban pravilan izbor materijala i pravilno provedena antikorozivna zaštita, a to postaje pravi izazov za inženjere. Potrebno je postići predviđeni radni vijek konstrukcije bez dodatnih iznenadnih troškova ali i ono što je najvažnije, rad na siguran način za čovjeka i okoliš. Potreban je novi integralni pristup projektiranju i izradi konstrukcija koji zahtijeva multidisciplinarnost i usvajanje novih znanja. [2,4]

Korozija može biti tih i dugotrajan proces pa je tako uzrok velikih gubitaka u gospodarstvu, što se očituje u novčanim gubicima koji se dijele na izravne i neizravne troškove. Izravni troškovi izazvani su:

- zamjenom oštećene, korodirane opreme, proizvoda ili dijela konstrukcije
- zbog troškova održavanja i provođenja zaštitnih mjera i postupaka
- provođenjem zaštite proizvoda

Neizravni troškovi:

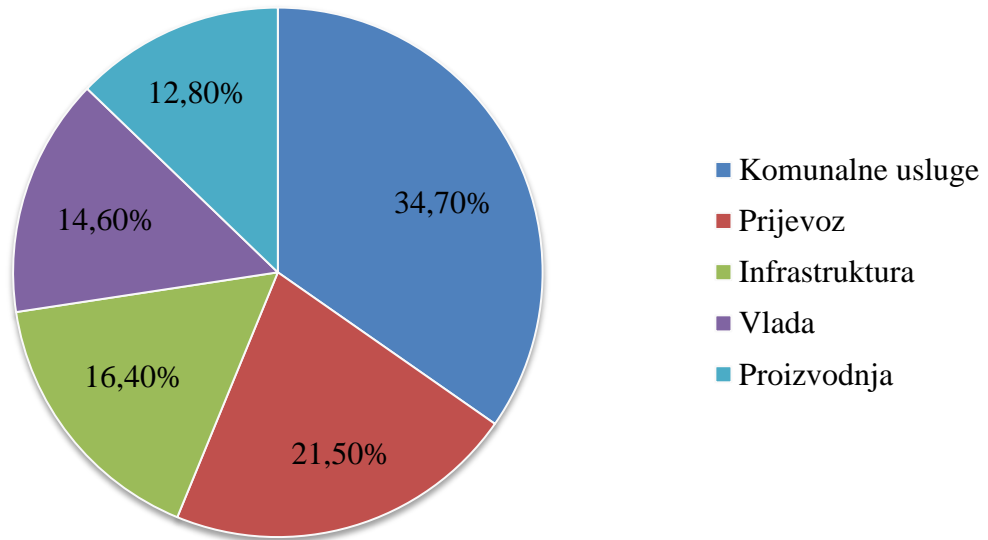
- zaustavljanje rada postrojenja
- gubitak proizvoda (curenje iz tankova i cjevovoda)
- smanjenje stupnja iskorištenja
- onečišćenje proizvoda
- onečišćenje okoliša
- predimenzioniranje

Djelovanjem korozije mogu postati neupotrebljive mnogo veće količine metala u obliku gotovih konstrukcija od onih koje su korodirale, jer su zbog uložene energije i radnog vremena mnogo skuplje od samog ugrađenog materijala. Zbrajanjem svih tih troškova dolazi se do golemih ukupnih troškova.

Stari podaci koje su provele različite države govore o velikim novčanim gubicima izazvanih korozijom. Pa tako Švedski Institut za koroziju dao je podatke da je tijekom 33 godine propalo 44% ukupno proizvedenog željeza. Podatak iz 1975. godine govori da je 40% proizvodnje čelika u SAD-u trošeno na zamjenu korodiranih dijelova. U Velikoj Britaniji industrija je 1971. godine pretrpjela gubitak od 1,365 milijardi britanskih funti, što je oko 3,5% BDP-a, a već se tada znalo da bi se temeljitijom zaštitom veličina štete mogla smanjiti za najmanje 25%. 1981. godine britanski „University of Manchester Institute of Science and Tehnology“ napisao je izvješće u kojem je njihova poljoprivreda izgubila 600 milijuna britanskih funti, a da su polovicu štete mogli izbjeći odgovarajućom upotrebom zaštite. U zemljama bivšeg SSSR-a zbog korozije je bilo neupotrebljivo 30% godišnje proizvodnje tehničkog čelika. Veći dio tog materijala se može ponovno preraditi, ali oko 8% ugrađenog materijala se nepovratno izgubi [1,4,5,6].

Noviji podaci prema istraživanjima u SAD-u od 1999.-2001. godine govore da 1998. godišnji troškovi korozije iznosili 275,7 milijardi američkih dolara. Što je oko 3,1% njihovog BDP-a, odnosno 1000 dolara po stanovniku. Slika 2. prikazuje troškove SAD-a u pojedinim granama. Navedeni troškovi uključuju procijenjenu štetu nastalu zbog korozije kao i troškove zaštite konstrukcijskih materijala. Svjetska korozijska organizacija potvrđuje da troškovi uslijed korozije još uvijek nisu pod kontrolom. Podaci za 2006. godinu govore kako godišnji troškovi uzrokovani korozijom u svijetu iznose 2200 milijardi američkih dolara, dok su za 2011. procijenjeni na vrtoglavih 3300 milijardi američkih dolara. [1,4,5,6]

Studije su pokazale zanimljiv podatak da se pravilnom upotrebom antikorozivnih mjera troškovi mogu smanjiti za 30 do 50%, što znači da je SAD mogao postići uštedu od najmanje 83 milijardi dolara u jednoj godini. Danas Ministarstvo obrane SAD-a troši 22,5 milijardi dolara godišnje za kontrolu i prevenciju od korozije. Slika 2. prikazuje troškove SAD-a u pojedinim granama. [2,5,6]



Slika 2.1 Troškovi korozije u SAD-u [6]

Jedna od najvećih ekoloških katastrofa u Europi kojoj je uzrok korozija bio je brodolom tankera Erike koji je u blizini obale Velike Britanije 1999. godine noseći 315 000 t nafte puknuo na pola i potonuo. Pritom je došlo do izljeva nafte i velikog ekološkog onečišćenja 400 km obale, a sve zbog toga što je korozija oslabila trup broda. Vlasnik je morao isplatiti 200 milijuna eura za čišćenje obale. U ovom primjeru je vidljivo kako indirektni troškovi korozije mogu biti i mnogostruko puta veći od samog gubitka materijala, iz čega je vidljivo da je teško realno odrediti gubitke i štete od same korozije. [1,4]

Provođenje mjera zaštite materijala provode se iz više razloga kao što su [2]:

- smanjenje troškova popravka i zamjene oštećene opreme, odnosno proizvoda
- povećanje prihoda zbog boljeg iskorištenja proizvodnih kapaciteta u smislu većeg opsega proizvodnje i više kakvoće proizvoda
- smanjenje učestalosti kvarova opreme, te požara, eksplozija i drugih havarija, tj. Povećanje pouzdanosti opreme i sigurnosti pri radu
- produženja vijeka trajanja opreme i proizvoda
- otvaranje mogućnosti za proširenje asortimana i područja upotrebljivosti proizvoda
- smanjenje zagađivanja okoliša produktima trošenja materijala
- postizanje izrazitijeg i trajnijeg estetskog dojma proizvoda

3. UZROCI I BRZINA NASTAJANJA KOROZIJE

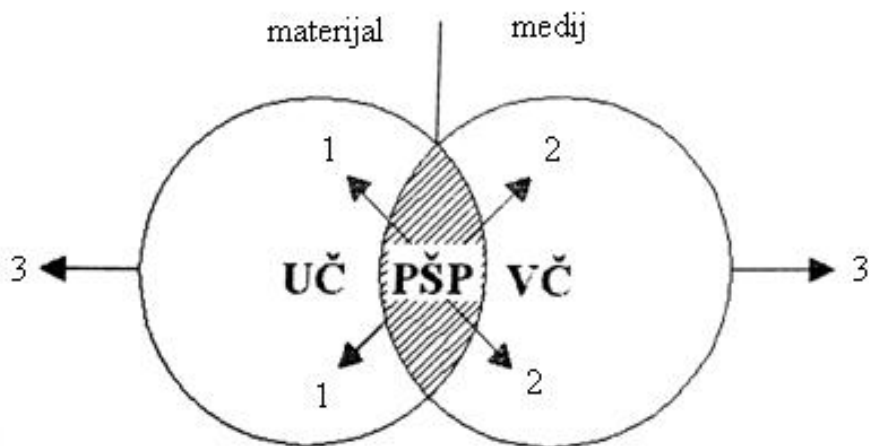
Štetna pojava ili proces oštećivanja konstrukcijskog materijala može nastati samo ukoliko postoji kemijska, mehanička, biološka, električna ili neka druga pokretačka sila. Pokretačka sila uzrokuje štetnu pojavu. Brzina oštećivanja direktno ovisi o veličini pokretačke sile. Ako je pokretačka sila veća to će i brzina oštećivanja biti veća. Pokretačkoj se sili suprostavljaju fizikalni i kemijski otpori. Jakost pokretačke sile i veličina otpora ovise o unutarnjim i vanjskim čimbenicima oštećivanja. Kad spominjemo unutarnje čimbenike govorimo o materijalu, a u vanjske čimbenike ubrajamo obilježja medija i nametnute fizikalne okolnosti. Tablica 3.1 prikazuje unutarnje i vanjske čimbenike koji uvjetuju nastanku korozije. [2]

Tabela 3.1 Unutarnji i vanjski čimbenici korozije [4]

UNUTARNJI ČIMBENICI-materijal	VANJSKI ČIMBENICI-okolina
Sastav materijala	Vrsta okoline, sastav medija
Prostorni raspored, veličina i oblik kristala	Temperatura
Tekstura materijala	Pritisak
Oblik konstrukcije	Brzina strujanja medija
Fizikalna svojstva materijala	Radijacija
Mehanička svojstva materijala	Električni naboj
Defekti u materijalu	Biološka aktivnost
Napetosti u materijalu	

Ukoliko se unutarnji i vanjski čimbenici nalaze u kombinaciji tada je pokretačka sila znatno veća što dovodi do puno bržeg i većeg oštećenja materijala (Slika 3.1). Tada oštećivanje materijala postaje vrlo opasno iz razloga što je pokretačka sila ili toliko velika da brzo dolazi do velikog oštećenja i/ili su otpori određenoj pokretačkoj sili toliko mali da uopće ne usporavaju oštećenje. Zbog toga se zaštita primjenjuje na osnovu dva načela [2]:

- smanjenja ili poništenja pokretačke sile i
- povećanje otpora koji se opiru pokretanju pokretačke sile



Slika 3.1 Odnos unutarnjih i vanjskih čimbenika [2]

UČ- skup unutarnjih činitelja (obilježja materijala); VČ- skup vanjskih činitelja (obilježja medija i fizikalne okolnosti); PŠP- područje štetnih pojava; 1- zaštita promjenom unutarnjih činitelja; 2- zaštita promjenom vanjskih činitelja; 3- zaštita odvajanjem materijala od medija (prevlačenjem)

Brzina korozije na nekom mjestu površine materijala u određenom trenutku razmjerna je pokretačkoj sili i obrnuto je razmjerna otporima koji joj se suprotstavljaju, a te veličine ovise o lokalnim i trenutačnim unutarnjim i vanjskim činiteljima. [1,4]

Najraširenija kvantitativna metoda ispitivanja korozije je određivanje gubitka mase vaganjem uzoraka ili predmeta prije izlaganja agresivnoj sredini te nakon izlaganja i uklanjanja čvrstih produkata korozije. Gubitak mase sveden na jedinicu početne geometrijske ploštine izloženog materijala, prava je mjera za napredovanje korozije.

Prosječna brzina korozije se definira:

$$v = \frac{\Delta m}{S \cdot t} \quad \frac{\text{g}}{\text{m}^2 \times \text{d}}$$

Δm -gubitak mase konstrukcijskog materijala

S - površina koja se troši

t -vrijeme izlaganja agresivnim okolnostima

Umjesto prosječne brzine korozije često se primjenjuje brzina prodiranja korozije u konstrukcijski materijal:

$$v_p = \frac{h}{t} = \frac{\Delta V}{S \cdot t} = \frac{\Delta m}{\rho \cdot S \cdot t} = \frac{v}{\rho} \quad \frac{\text{mm}}{\text{god}}$$

h -dubina prodiranja

ρ -gustoća materijala

ΔV -gubitak volumena konstrukcijskog materijala

Metoda kojom se mjeri gubitak mase primjenjuje se za ispitivanje opće korozije koja zahvaća cijelu izloženu površinu materijala. Primjerice metoda gubitaka mase nije primjerena kod lokalne korozije jer korozija napada samo jedan dio materijala i prodire u dubinu materijala. Gubitak mase je tada malen, a konstrukcija možda više nije upotrebljiva, stoga metoda ne daje pravo stanje. Primjer je propuštanje cjevovoda ili spremnika. Gubitak mase je vrlo mali, ali postoji oštećenje i gubitak medija. Zbog toga se za stupanj opasnosti od rupičaste korozije koristi piting-faktor. To je omjer dubine prodiranja korozije u materijal na najснаžnijem korozijskom žarištu promatrane plohe i prosječne dubine prodiranja korozije s obzirom na cijelu površinu. [7]

U Tabeli 3.2 je prikazana orijentacijska klasifikacija upotrebljivosti konstrukcijskih materijala s obzirom na prosječnu brzinu prodiranja korozije u mm/god. Upotrebljivost materijala za neku svrhu u praksi ne mora izravno proizlaziti iz ove tablice.

Tabela 3.2 Primjenjivost metala s obzirom na prosječnu brzinu prodiranja opće korozije [2]

Postojanost metala	Primjenjivost metala	Prosječna brzina prodiranja korozije mm/godinu
potpuno postojan	uvijek primjenjiv	<0,001
vrlo postojan	gotovo uvijek primjenjiv	0,001 do 0,01
postojan	obično primjenjiv	0,01 do 0,1
smanjeno postojan	katkad primjenjiv	0,1 do 10
slabo postojan	iznimno (kratkotrajno) primjenjiv	1 do 10
nepostojan	neprijemljiv	>10

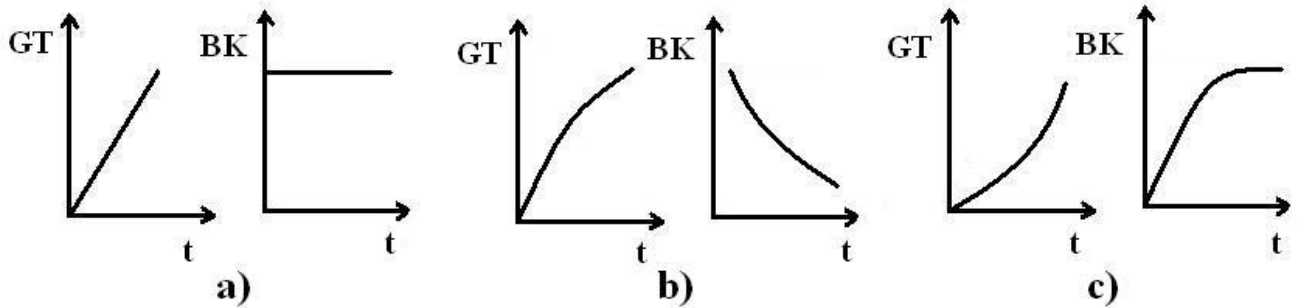
Materijali se prema veličini otpora pokretačkoj sili mogu podjeliti na: [2]:

- imune
- aktivne i
- pasivne

Imuni materijali su materijali koji nemaju afiniteta prema koroziji i ne korodiraju, kao npr. zlato i platina koji su prirodno imuni na koroziju. Kod aktivnih materijala postoji afinitet prema koroziji jer nema velikih otpora pokretačkim silama. Aktivni materijali korodiraju, dok pasivni materijali

korodiraju jako sporo, gotovo nezatnom brzinom. Kod njih postoji mali afinitet za korodiranje kojima se suprotstavlja vrlo veliki otpor. [2]

Brzina korozija je tokom vremena promjenjiva. Korozijski se procesi zbog toga najčešće prikazuju u koordinatama brzina korozije (BK) u funkciji vremena (t), gubitaka težine po jedinici površine (GT) i vremena (t) što je prikazano na slici 3.2. [8]



Slika 3.2 Grafovi brzine korozije [8]

Na slici su prikazani: a) linearni tok korozije i konstantna brzina; b) usporen tok korozije i pad brzine; c) ubrzani tok korozije i porast brzine koja se tokom vremena ustali

4. KLASIFIKACIJA KOROZIJE

Korozija je nepoželjna jer troši materijal i čini tvorevine opasnima ili neupotrebljivima. Postoje mnoge vrste korozije, pa tako postoje i mnoge različite podjele. Da bi se zaštitilo od korozije i produljio vijek trajanja tvorevine potrebno je odrediti vrstu korozije koja se pojavljuje u određenim eksploatacijskim uvjetima. Vrsta korozije često se vrlo se lako može odrediti golim okom. Pojava i oblik nastale korozije ovise o različitim uvjetima. Glavni čimbenici koji utječu na vrstu korozije su [9] :

- dizajn proizvoda (oblik)
- kombinacija materijala i okoline
- stanje površine (čistoća, hrapavost...)
- ostala mehanička pogoršanja

Korodirati mogu metalni i nemetalni materijali pa je osnovna podjela korozije prema materijalu koji korodira na:

- koroziju metala i
- koroziju nemetala.

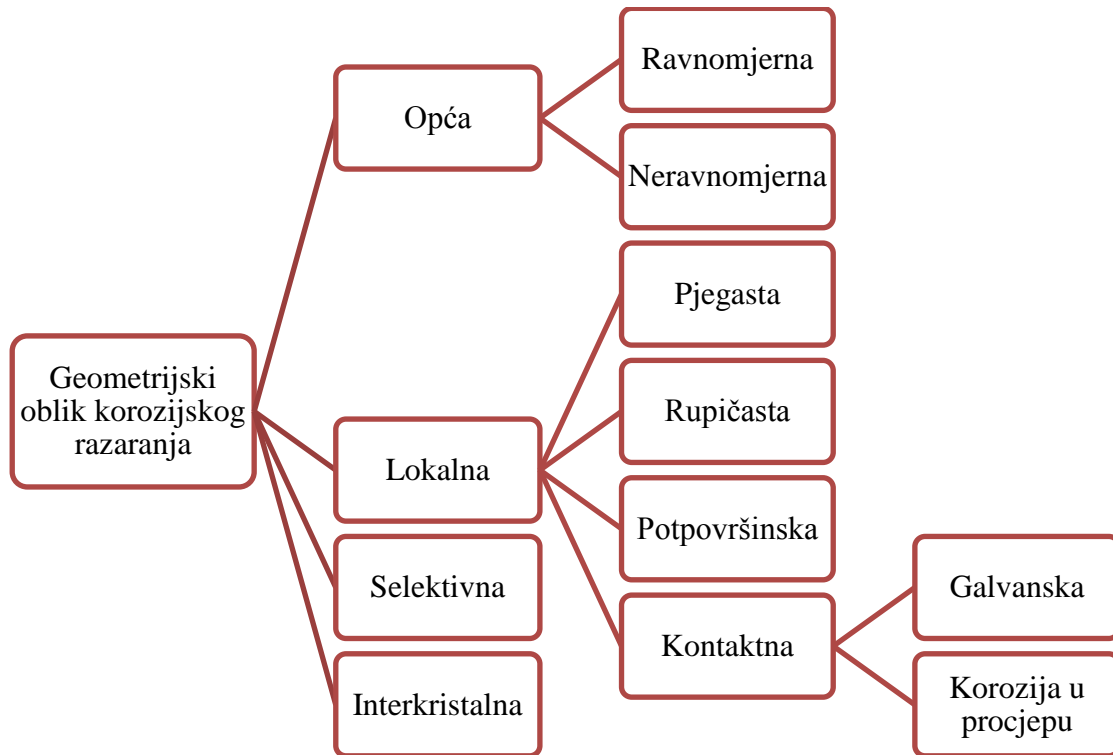
Osnovni materijal u strojarскоj industriji je metal. Stoga se posebna pozornost treba posvetiti koroziji metala. Najvažnija podjela metala je prema mehanizmu procesa gdje razlikujemo:

- kemijsku i
- elektrokemijsku koroziju.

Materijal ne korodira istom brzinom i intenzitetom po površini materijala već korozija varira lokalno i vremenski. Iz toga slijedi podjela prema geometrijskom obliku korozijskog razaranja na [10]:

- opću
- lokalnu
- selektivnu i
- interkristalnu koroziju

Na slici je grafički prikazana detaljnija podjela korozije prema geometrijskom obliku razaranja.



Slika 4.1 Klasifikacija prema geometrijskom obliku koruzijskog razaranja [10]

S obzirom na vremenski tijek odvijanja procesa razlikujemo [2]:

- linearnu (korozija se odvija konstantnom brzinom)
- usporenu (korozija se odvija sve sporija)
- ubranu (korozija se odvija sve brže)
- miješanu i diskontinuiranu koroziju (brzina korozije se postupno ili naglo mijenja u pojedinim razdobljima)

Zbog mehaničkog, biološkog ili električnog utjecaja pojavljuju se posebni oblici korozije kao što su [9,10]:

- napetosna korozija
- kavitacijska korozija
- erozijska korozija
- korozija uzrokovana trenjem
- korozija potpomognuta naprežanjem

- termogalvanska korozija
- korozija usred lutajućih struja
- biološka korozija

4.1. Kemijska korozija

Kemijska korozija je izravna kemijska reakcija između atoma metala iz kristalne rešetke i molekulama medija u fluidima neelektrolitima (medij koji ne vodi električnu struju) bez kapljevite vode pri čemu nastaju različiti spojevi odnosno korozijski produkti, a najčešće su to oksidi i sulfidi. Kemijska se korozija ovisno o mediju u kojem se odvija dijeli na [1,11]:

- plinsku koroziju i
- koroziju u tekućim neelektrolitima

Kemijska korozija u vrućim plinovima (plinska korozija) teče samo uz uvjet da su ti plinovi suhi, tj. da zbog visoke temperature na metalu ne mogu nastati ni tekuća voda ni vodena otopina. Plinska korozija najčešće teče u vrućem zraku i u sagorijevanim plinovima. Do nje može doći kod vruće obrade metala, lijevanja, kovanja, provlačenja, istiskivanja, valjanja, zavarivanja, kaljenja, žarenja u industrijskim pećima te u motorima s unutarnjim izgaranjem i sl. [4,11]

Organske tekućine mogu izazvati kemijsku koroziju samo ako su bezvodne jer inače dolazi do elektrokemijske korozije. Najvažnije bezvodne tekućine su nafta i njezini derivati, otapala za odmašćivanje i razrjeđivanje lakova i boja te otopine neioniziranih tvari u takvim tekućinama. Ova vrsta korozije u tehnici najčešće nastaje djelovanjem maziva na dijelove strojeva [4].

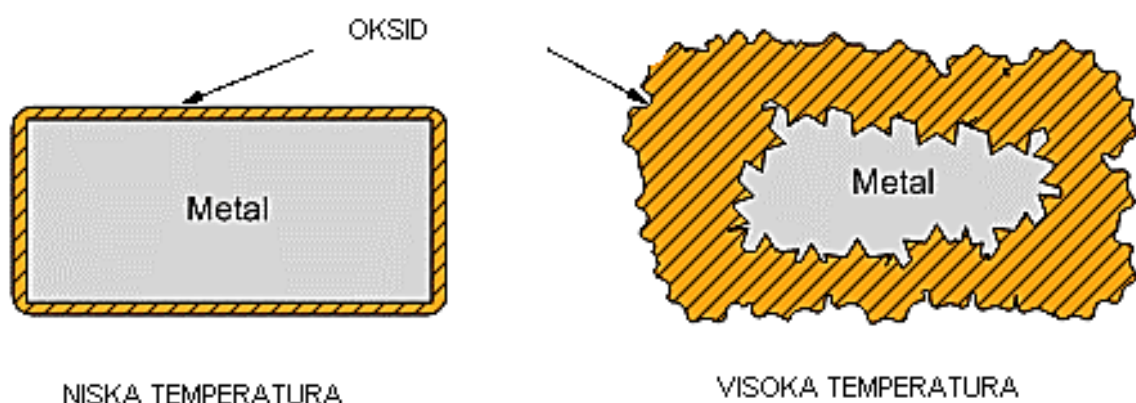
Za odvijanje kemijske korozije mora postojati kemijski afinitet između materijala i okoline. Kemijski afinitet ili kemijska pokretačka sila je sklonost dvaju ili više elemenata ili spojeva da međusobno kemijski reagiraju. Dovoljno je postojanje kemijskog afiniteta između samo jedne komponente materijala i jedne komponente okoline da dođe do procesa korozije. Kemijski afiniteti mijenjaju se ovisno o temperaturi, vrsti tvari, koncentraciji tvari koje međusobno reagiraju i agresivnosti tvari iz okoline. Kemijska korozija sprečava se kočenjem nužnih faktora za nastanak, a to su: temperatura okruženja i korozijski produkti. Utvrđeno je da se intenzitet i brzina odvijanja procesa povećava s povišenjem temperature.

Brzina i tok kemijske korozije ovisi o [2,4]:

- metalu koji korodira (sastav, struktura i tekstura)
- agresivnoj okolini koja ga okružuje (sastav i koncentracija okoline)
- korozivnim produktima (fizična i kemijska svojstva produkata korozije)
- fizikalnim uvjetima (temperatura, hrapavost površine, naprezanja i napetosti brzini gibanja okoline)

Glatke i čiste metalne površine manje korodiraju od hrapavih i onečišćenih jer je njihova stvarna veličina mnogo veća od geometrijske, pa je tako korozija kao površinska reakcija ubrzana. Onečišćenja na površini metala (npr. čađa) također onemogućuju nastajanje kvalitetnog zaštitnog sloja. Također legirajuće komponente koje lako oksidiraju znatno smanjuju brzinu korozije u oksidacijskoj sredini. Naprezanja i napetosti u metalu ubrzavaju kemijsku koroziju u početnoj fazi zbog više energijske razine površine i zbog nepovoljnog utjecaja tih pojava na kvalitetu primarnog sloja korozivskih produkata. [2]

Najbolji primjer kemijske korozije je stvaranje okujine na čeliku što je najčešći slučaj kemijske korozije u praksi. Okujina je površinski produkt koji se formira u uvjetima djelovanja oksidacijske atmosfere na čeliku. Na stvaranje okujine velik utjecaj ima i temperatura, što je vidljivo iz slike. [1]



Slika 4.2 Utjecaj temperature na stvaranje okujine [1]



Slika 4.3 Primjer visokotemperaturne kemijske (plinske) korozije [12]



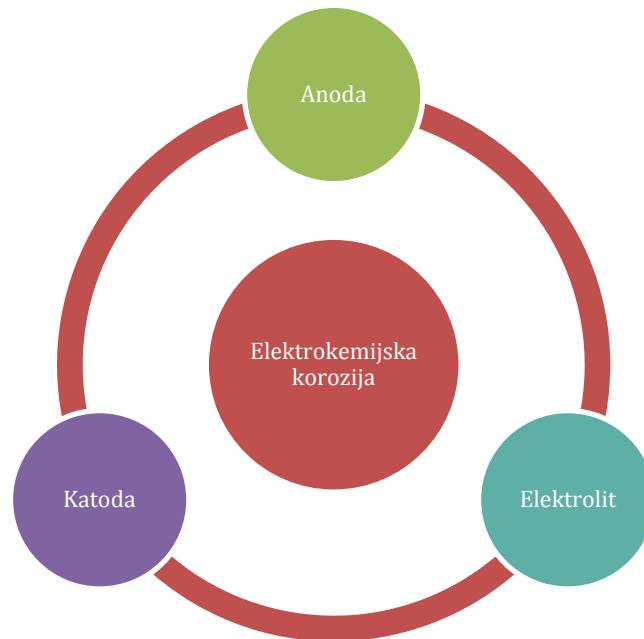
Slika 4.4 Primjer kemijske korozije vanjske ograde [13]



Slika 4.5 Primjer kemijske korozije starog automobila [14]

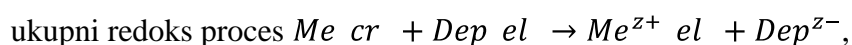
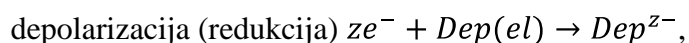
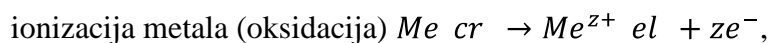
4.2. Elektrokemijska korozija

Elektrokemijska korozija stvara se na metalima u elektrolitima, tj. električni vodljivim sredinama. Slika 4.6. prikazuje da do elektrokemijske korozije može doći samo ako su prisutna sva tri elementa: katoda, anoda i elektrolit [15].



Slika 4.6 Elementi bez kojih nema elektrokemijske korozije [15]

Elektrokemijska korozija metala je kemijski redukcijско-oksidacijski proces ili redoks-proces, pri kojem se metal gubitkom elektrona oksidira prelazeći iz kristalne rešetke u ionsko stanje kapljevitom elektrolitu, dok se istodobno oslobođeni elektroni vežu na neki oksidans (depolarizator) iz medija koji se time reducira tako da vrijedi:



pri čemu cr označava kristalno stanje, z broj elementarnih naboja, el tvar otoplјenu u elektrolitu, e^{-} elektron, a Dep depolarizator (oksidans). [2]

Oksidacija (anodni proces) je reakcija kojom neka tvar ili skupina tvari oslobađa elektrone, pri čemu nastaje druga tvar ili skupina tvari. Suprotno tome redukcija (katodni proces) je reakcija

kojom neka tvar ili skupina tvari veže elektrone, pri čemu također nastaje druga tvar ili skupina tvari. [4]

Anodni se procesi uglavnom odvijaju uz jednostavna stvaranja kationa metala, dok katodnih procesa ima više vrsta, a u praksi su najznačajniji vodikova i kisikova depolarizacija. Vodikova depolarizacija je osnovni katodni proces pri koroziji metala u kiselim otopinama bez jakog oksidacijskog djelovanja. U slabo kiseloj, neutralnoj ili slabo lužnatoj sredini ne može doći do trajne vodikove depolarizacije jer je koncentracija vodikovih iona preniska. Kisikova depolarizacija nastupa kod najvažnijih tehničkih metala (željezo, cink i olovo) u neutralnim, slabo kiselim i slabo alkalnim otopinama. [1,15]

Elektrokemijska korozija odvija se u prirodnoj i tehničkoj vodi, vodenim otopinama kiselina, lužina, soli i drugih tvari, na vlažnom tlu i vlažnoj atmosferi, talinama soli oksida i hidroksida. Korozija metala koja se događa u vlažnom zraku i drugim vlažnim plinovima gdje je relativna vlažnost veća od 60% također je elektrokemijska korozija jer se na metalnoj površini tada stvara kapljeviti vodeni film ili vodene kapljice. Elektrokemijskoj koroziji su izložene rudarske instalacije, energetska i metalurška postrojenja, građevine, oružje, kućanski aparati itd. [2]



Slika 4.7 Primjer elektrokemijske korozije metala [16]

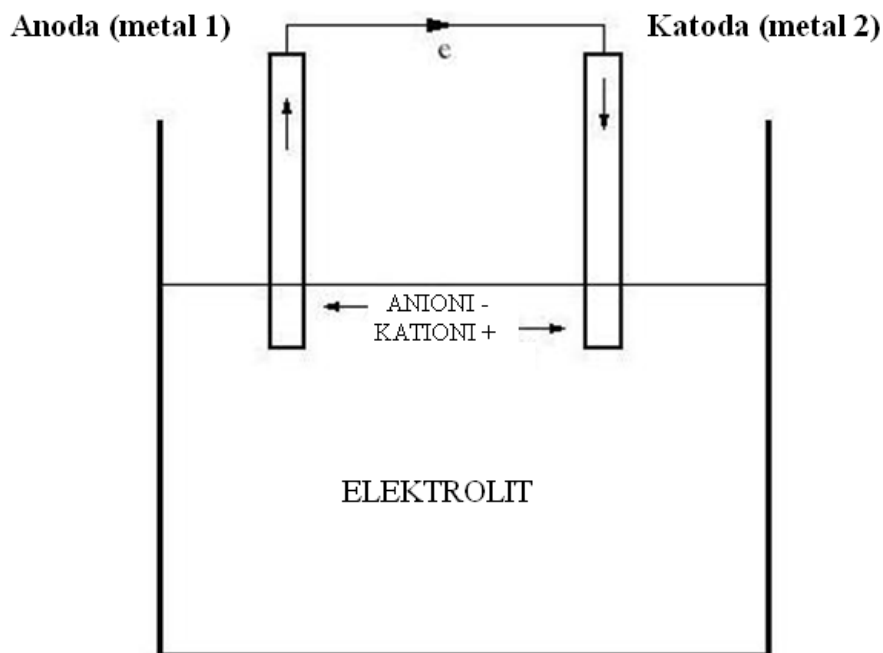


Slika 4.8 Izgled novih željeznih čavala nakon 7 dana stajanja u običnoj (lijevo) i slanoj vodi (desno) [17]

Elektrokemijska korozija može nastati na dva načina:

- stvaranjem galvanskog članka između dva metala u elektrolitu i
- stvaranjem mikroelemenata

Galvanski članak se stvori ukoliko se u elektrolit urone dva komada metala različitog potencijala i izvana se poveže nekim vodičem. Takav sustav je izvor električne energije. Metal koji je uronjen u elektrolit teži izjednačavanju elektrokemijskog potencijala između metala i otopine te se on počinje otapati u katione (pozitivne ione metala). Prelaskom atoma metala u ione, on postaje električki negativno nabijen, zbog čega se otopljeni kationi nastoje vratiti u kristalnu rešetku, odnosno taložiti na metal. Kada se u jedinici vremena otopi i istaloži na metal jednak broj iona, postignuta je dinamička ravnoteža uz što veće nastojanje metala da se otopi i što manje izbijanje metalnih iona te metal postaje sve negativniji. Otopina postaje sve zasićenija kationima i raste joj pozitivni potencijal, a u metalu ostaje sve više elektrona i raste mu negativni potencijal. Slika prikazuje nastanak galvanskog članka. [1,4,15]



Slika 4.9 Stvaranje galvanskog članka [15]

Pokretačka sila elektrokemijske korozije je razlika ravnotežnih potencijala lokalne anode i katode. Ta razlika naziva se elektromotorna sila korozijskog članka i ona je pokretač korozijske struje bez koje nema korozije. Mjeri se u mV ili V. Ravnotežni potencijal nekog metala ovisi o: prirodi samog metala, vrsti elektrodne reakcije, temperaturi, koncentraciji reaktanata i korozijskih produkata te o stanju metalne površine. Metali koji imaju negativni elektrokemijski potencijal su neplemeniti, a oni s pozitivnim potencijalom su plemenitiji. Takve teorijske osnove vrijede samo za čiste metale dok se u praksi radi sa legurama koje nemaju elektrokemijski homogenu površinu. [1,18]

Tabela 4.1 Elektrokemijski naponski niz [18]

Uvjeti: T=298,15 K ; p=101325 Pa		
METAL	VJEROJATNOST KOROZIJE	STANDARDNI POTENCIJAL, V
Zlato	Plemeniti metali	+1,420
Platina		+1,200
Srebro		+0,800
Bakar		+0,522
Vodik		0
Olovo	Neplemeniti metali	-0,126
Kositar		-0,136
Nikal		-0,250
Željezo		-0,440
Krom		-0,710
Cink		-0,762
Aluminij		-1,670
Magnezij		-2,340
Natrij		-2,712

Najčešći primjer koncentracijskog članka u koroziji je tzv. članak diferencijalne aeracije koji nastaje kada se različiti dijelovi metala nalaze u dodiru s elektrolitom u koji sadrži različite količine kisika.

Do stvaranja mikroelemenata ili mikročlanaka dolazi zbog nastajanja razlike potencijala, odnosno zbog različitih koncentracija jedne ili više korozivnih tvari u blizini elektroda. Zbog lokalne razlike potencijala na površini istog metala može doći do korozije pri čemu je isti metal anoda i katoda. Uzrok korozije je neravnomjerna koncentracija otopljenog kisika. Brzina korozije je veća u području manje koncentracije kisika zbog odsustva sloja produkata korozije koji imaju učinak korozijski zaštitnog sloja. Da nema ovog učinka korozijskog zaštitnog sloja, korozija bi bila najbrža u području najveće koncentracije kisika.

Lokalne struje koje uzrokuju koroziju mogu teći samo ako postoji razlika ravnotežnih potencijala između plemenitije lokalne katode i neplemenitije lokalne anode. Razlika potencijala može nastati zbog [4,19,20]:

- nejednakomjerne pristupačnosti kisika koji je otopljen u elektrolitu,
- utjecaja elektrolita s nejednoličnim sastavom, brzine protjecanja i temperature...

Najčešći primjer nastajanja mikročlanka je tzv. članak diferencijalne aeracije. On nastaje kada se različiti dijelovi metala nalaze u dodiru s elektrolitom koji sadrži različite količine kisika. Primjer takve korozije je korozija koja nastaje po vodenoj liniji kod čeličnih stupova u vodi, prekoceanskih brodova, kod skladištenja vode u čeličnim spremnicima. Kod njih se dio metala uvijek nalazi pod vodom, a dio iznad vode. Dio metala ispod vodene linije izložen je samo otopljenom kisiku, a dio iznad vode izložen je višoj koncentraciji kisika iz atmosfere. Tako se na vodenoj liniji formira vidljiva crta, korozija. [20,21]

4.3. Opća korozija

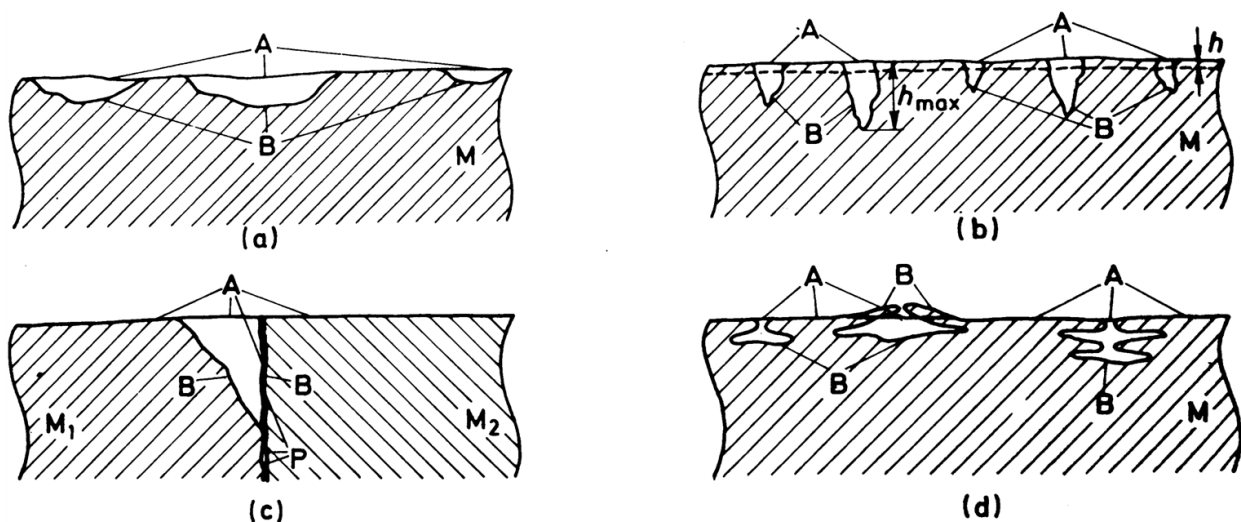
Opća korozija zahvaća cijelu izloženu površinu materijala. Ona je vrlo čest i rašireni oblik korozije, a može biti ravnomjerna ili neravnomjerna. Ravnomjerna korozija je tehnički gledano najmanje opasna jer se jednako širi po cijeloj površini pa ju je lakše pratiti i predvidjeti potrebu za popravak ili zamjenu materijala. Neravnomjerna opća korozija je daleko opasnija jer podaci o prosječnoj dubini prodiranja u materijal ne daju stvarnu sliku stanja, pa u primjeru spremnika ili cjevovoda može doći do propuštanja. Do opće korozije dolazi kada je cijela površina materijala izložena agresivnom mediju pod približno jednakim uvjetima s obzirom na unutrašnje i vanjske faktore korozije. Opća korozija mjeri se gubitkom dimenzija u mm na godinu ili gubitkom mase. [1,4,9].



Slika 4.10 Primjer opće korozije pumpe od ljevanog željeza [22]

4.4. Lokalna korozija

Lokalna korozija je najrašireniji oblik korozije. Ona napada samo neke dijelove površine izložene materijala koji je izložen koroziji. Lokalna korozija je nepredvidiva i vrlo ju je teško kontrolirati zbog lokaliziranog pojavljivanja. Dijeli se na: pjegastu, točkastu, kontaktnu i potpovršinsku. Na slici su prikazane vrste lokalne korozije [1].



Slika 4.11 Vrste lokalne korozije: a) pjegasta, b) rupičasta, c) kontaktna, d) potpovršinska ;
 A- površina materijala prije korozije, B- površina materijala nakon korozije, M-materijal, h-
 prosječna dubina prodiranja točkaste korozije, h_{max} - maksimalna dubina prodiranja točkaste korozije,

M_1 -neplemenitiji metal, M_2 -plemenitiji metal [1]

- a) Pjegasta korozija je najraširenija vrsta lokalne korozije i napada samo neke izložene dijelove površine materijala, tj. usko je lokalizirana na žarištu približno kružnog presjeka. Pjegasta korozija je dubinska korozija i djeluje u dubinu materijala. [1,3]



Slika 4.12 Primjer pjegaste korozije na oštrici noža [23]

- b) Rupičasta korozija naziva se još jamičasta ili na engleskom pitting korozija kod koje nastaju rupičasta oštećenja. Dubina oštećenja je nakon nekog vremena nekoliko puta veća od širine na površini materijala. Za stupanj opasnosti koristi se tzv. piting-faktor koji pokazuje omjer između najveće dubine prodiranja korozije i prosječne dubine prodiranja korozije, a najčešće iznosi od 3 do 10. Rupičasta korozija može biti veoma opasna jer je teško uočljiva, a obično je neotkrivena sve dok ne dođe do puknuća stjenke. Brzina nastajanja raste s porastom temperature. Nehrdajući čelici su vrlo podložni rupičastoj koroziji ukoliko se nalaze u vodi ili agresivnom okolišu. [4,27,28]



Slika 4.13 Primjer rupičaste korozije- probušeni cjevovod[24]

- c) Potpovršinska korozija naziva se još listanje ili slojevita korozija. Kod nje se žarište rupičaste korozije šire u dubinu materijala raslojavajući ga. Najraširenija je na valjanim metalima u dodiru s morskom vodom i s kiselinama. Na površini materijala nastaju mjehuri jer se u materijalu gomilaju korozijski produkti čiji je volumen veći od volumena uništenog metala. [4,29]



Slika 4.14 Primjer potpovršinske korozije- listanje [25]

d) Kontaktna korozija, postoje dvije vrste: galvanska korozija i korozija u procijepu

Galvanska korozija nastaje u kontaktu dva metala različitih električnih potencijala u elektrolitu. Metal koji korodira ima niži potencijal i on će biti anoda. Stoga je posebno opasna ukoliko su na mjestima spajanja konstrukcije vijci ili zavareni spojevi anode, jer on vrlo brzo korodira. Potrebno je izbjegavati dodir metala koji imaju veliku razliku potencijala. [4,29]



Spoj matice i plemenitije podloge podloge (lijevo), povezanost čeličnog vijka s inoks materijalom [12]

Slika 4.15 Primjer galvanske korozije [22,26]

Korozija u procjepu je slična rupičastoj koroziji a pojavljuje se u dodiru dva ista metala ili između metala i nemetala u koncentraciji elektrolita. Smanjuje se izbjegavanjem uskih procijepa pri konstruiranju, izbjegavanju naslaga, katodnom zaštitom, izbjegavanjem stagnacije medija, osiguranjem drenaže. [26, 29]



Slika 4.16 Korozija u procijepu između dva jednaka metala nastala na konstrukciji mosta [30]

4.5. Selektivna korozija

Selektivna korozija kao što joj samo ime govori napada samo jednu (neplemenitiju) od faza ili komponenata višefaznog ili višekomponentnog materijala. Korozija se pojavljuje samo u višekomponentnim materijalima, npr. u obliku grafitizacije sivog lijeva ili u višefaznim materijalima kao npr. decinkacija mjedi. Selektivna korozija može biti lokalna i opća, a češće se pojavljuje u elektrolitima nego u neelektrolitima. Vrlo je opasna jer pretvara čvrst i duktilan metal u slab i krhak koji je podložan lomu. Može proći neopaženo te tako izazvati velike probleme i katastrofe. [1,22]



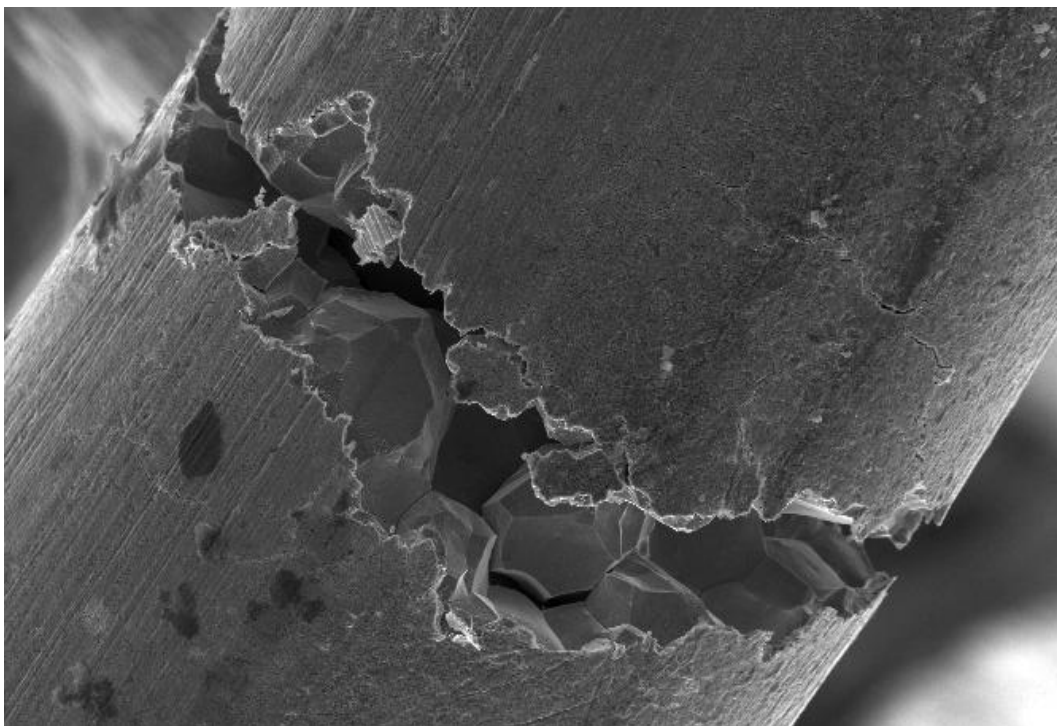
Slika 4.17 Uslijed decinkacije mjedi dolazi do puknuća ventila [31]



Slika 4.18 Tamne mrlje na vanjskoj strani cijevi predstavljaju oblik korozije specifične za lijevano željezo poznato kao grafitizacija sivog lijeva [32]

4.6. Interkristalna korozija

Interkristalna korozija je opasan oblik korozije. Širi se nevidljivo u dubinu metala duž granica njegovih zrna, što za posljedicu ima razaranje metalne veze među kristalitima u mikrostrukturi čelika i konačno raspad čitavog dijela. Može dugo ostati neprimijećena i naglo smanjiti čvrstoću i žilavost materijala. Najčešće zahvaća nehrđajuće čelike, legure na bazi nikla i aluminijske. [1,22]



Slika 4.19 Primjer interkristalne korozije [33]

4.7. Specifični oblici korozije

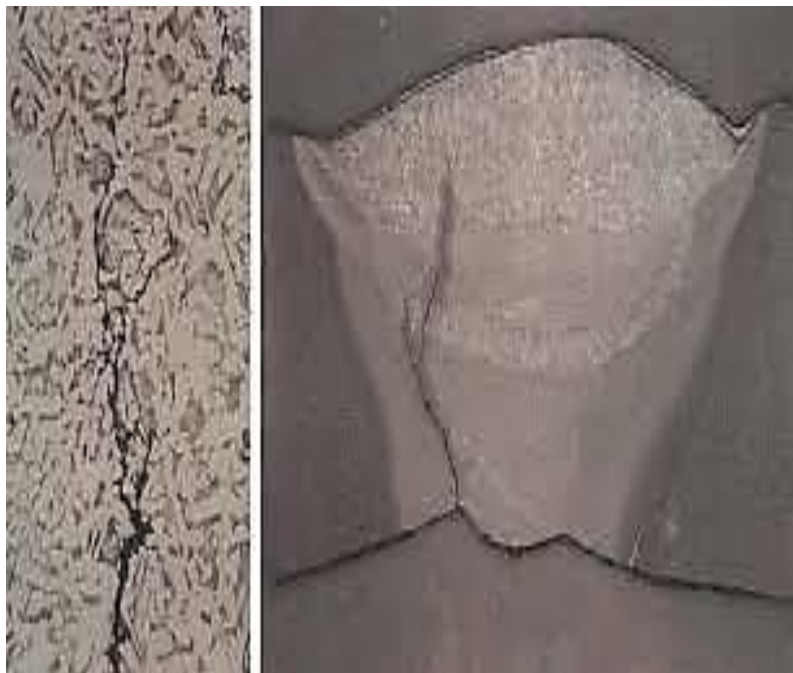
Postoje mnogi specifični oblici korozije, a neki od njih su: napetosna korozija, kavitacijska korozija, erozijska korozija, korozija uzrokovana trenjem, korozija potpomognuta naprežanjem, termogalvanska korozija, korozija usred lutajućih struja, biološka korozija

Napetosna korozija nije česta pojava ali može uzrokovati velike štete. Nastanku napetosne korozije moraju pogodovati tri uvjeta: materijal mora biti sklon napetosnoj koroziji, materijal mora biti izložen djelovanju agresivnog medija i mora postojati naprežanje. Ponekad se može javiti bez ikakvih upozorenja kod vrlo malih naprežanja i blage okoline, stoga se teško uočava.

Napetosna korozija ugljičnih i niskolegiranih čelika javlja se u različitim granama industrijama poput kemijske, naftne, nuklearne, energetske, plinske industrije. Napetosna korozija najčešće se javlja kod hladno deformiranih koljena cjevovoda gdje postoje zaostala naprezanja, u okolini zavarenih spojeva gdje zbog unosa topline također imamo zaostala naprezanja. [34]



Slika 4.20 Primjer napetosne korozije ugljičnog čelika [34]



Slika 4.21 Primjer napetosne korozije ugljičnog čelika u zoni zavarenog spoja [34]

Poznati je prvi primjer napetosne korozije koji se dogodio u Indiji prije više od 80 godina gdje su se počele raspadati čahure streljiva. Čahure su bile hladno oblikovane i napravljene od legure bakra i cinka koje su za vrijeme monsunskih kiša bile uskladištene u blizini konjušnica koji je bio izvor amonijaka. Uslijed korozije koja je nastala zbog kombinacije prisutnosti vlage i amonijaka došlo je do slabljenja veze po granicama zrna i pojavile su se napukline zbog prisutnosti zaostalih naprezanja.



Slika 4.22 Primjer napetosne korozije čahure streljiva [34]

Nastanak napetosne korozije nije moguće uvijek do kraja spriječiti, stoga se ona usporava. Metode koje se primjenjuju kod usporavanja pojave napetosne korozije su: pravilno projektiranje, pravilni odabir materijala, kontrola okruženja i naprezanja, uklanjanje zaostalih naprezanja žarenjem, primjena prevlaka, primjena inhibitora. [34]

Termogalvanska korozija nastaje kada materijal podliježe promjenama temperatura. Kod termogalvanske korozije može doći kada se radi o samo jednom materijalu koji je nejednoliko zagrijan, tada površina s višom temperaturom postaje anoda, a s nižom katoda. Ovakva vrsta korozije sprječava se konstrukcijskim rješenjem, premazima i jednolikom izolacijom kako bi se spriječilo neravnomjerno grijanje i hlađenje. [9]



Slika 4.23 Primjer principa termogalvanske korozije [9]

Erozijska korozija javlja se na metalu koji je uronjen u korozivnu tekućinu koja se kreće. Kretanjem tekućine metal je izložen habanju zbog nataložene soli ili produkata korozije ili čestica u tekućini. Metal postaje mehanički čišći te dolazi do korozije. Erozijska korozija se manifestira kao jamica ili utor u metalu. [9]



Slika 4.24 Primjer erozijske korozije unutarnje stjenke bakrenog cjevovoda [35]

Razlika između erozijske i kavitacijske korozije je u tome što se kod abrazivske korozije metal kreće zajedno s tekućinom i u dodiru je s česticama, kao npr. propeler



Slika 4.25 Primjer kavitacijske korozije krila brodskog vijka [35]

Korozija uzrokovana trenjem javlja se kada su dva materijala izložena smicanju ili kod velikih vibracija dvaju susjednih ploha. Postoje dvije pretpostavke trošenja. Prva je da kretnje koje se događaju između dodirnih površina uklanjaju dijelove metala i oksidnog filma. Kada se oksidni i metalni sloj potroše, tada je metalna površina ponovno vrlo aktivna i stvara se novi oksidni sloj koji se zatim opet troši i tako u krug. Druga teorija je da metal koji se ukloni u kombinaciji s kisikom stvara prah metalnog oksida koji je tvrdi nego metal i troši se. Prevlaka metalnog oksida može ponovno nastati i trošiti se. [10]



Slika 4.26 Primjer korozije uzrokovane trenjem kod automobilskih kočnica[36]

5. ZAŠTITA OD KOROZIJE

Čovječanstvo se oduvijek odupiralo oštećivanju konstrukcijskog materijala, stoga danas imamo mnoge metode zaštite od korozije koje se temelje na teoriji korozijskih procesa. Metodama zaštite materijala sprječava se ili koči nastanak različitih vrsta i oblika korozijskog razaranja. Metode se temelje na promjenama unutrašnjih čimbenika (karakteristike konstrukcijskog materijala) ili vanjskih čimbenika (karakteristike okoline) ili odvajanjem konstrukcijskog materijala od medija nanošenjem prevlaka. Iz teorije kemijske korozije proizlazi da se osnovne metode borbe protiv te pojave mogu temeljiti na smanjenju ili poništenju kemijskog afiniteta, na sniženju energetske razine sustava ili na poboljšanju zaštitnih svojstava korozijskih produkata. Iz teorije elektrokemijske korozije proizlazi da se ta pojava može zakočiti ili onemogućiti sprečavanjem nastanka elektrolita, sniženjem ili poništenjem afiniteta, tj. razlike ravnotežnih potencijala anodnog i katodnog procesa, povišenjem omskog otpora u strujnom krugu korozijskog članka, povišenjem anodne ili katodne polarizacije i povećanjem anodne površine. [1,2,4]

U tehnici se metode zaštite od korozije klasificiraju prema načinu provođenja [8]:

- racionalnim izborom konstrukcijskog materijala
- zaštitnim prevlačenjem
- konstrukcijsko tehnološkim mjerama
- smanjenjem agresivnosti medija
- električnim metodama

5.1. Racionalni izbor konstrukcijskog materijala

Prvi i najvažniji korak kod zaštite konstrukcije od korozijskog razaranja je pravilan izbor konstrukcijskog materijala. To je jedan od najvažnijih i najsloženijih zadataka konstruktora pri čemu je jedna od najvažnijih stavka korozijsko ponašanje materijala u predviđenim eksploatacijskim uvjetima. Uz to je potrebno uzeti u obzir i mnoge druge tehničke i ekonomske kriterije koji utječu na ukupnu konkurentnost proizvoda. Pravilnim izborom materijala se direktno utječe na trajnost i sigurnost konstrukcije u različitim uvjetima eksploatacije. Racionalan izbor konstrukcijskog materijala nije moguć bez poznavanja njegova korozijskog ponašanja. Ono naravno ovisi o unutrašnjim i vanjskim korozijskim faktorima, stoga se određeni materijal korozijski ponaša vrlo različito, već prema mediju u kojemu se nalazi te fizikalnim uvjetima. Za izradu konstrukcija, njezinih dijelova ili opreme koju je teško zaštititi ili održavati koriste se korozijski postojani čelici. [1,4]

Tabela 5.1 Ocjene otpornosti na koroziju [1]

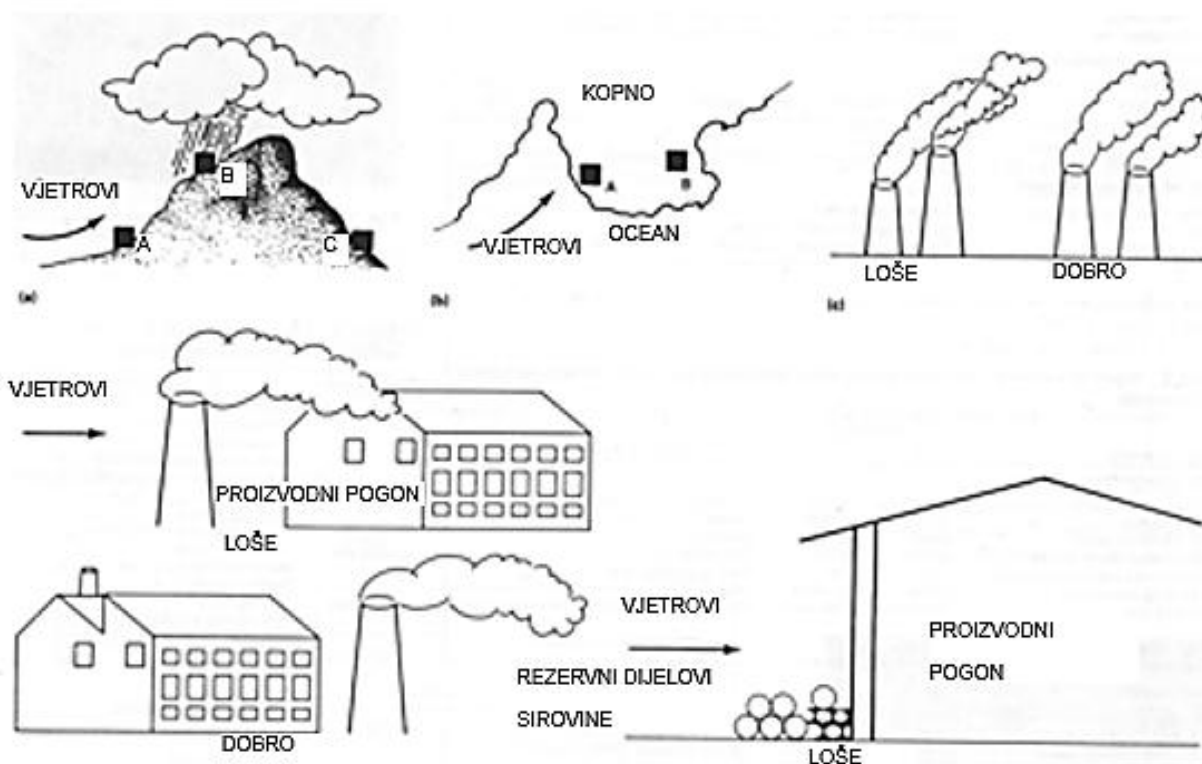
Vrsta materijala	Industrijska atmosfera	Slatka voda	Morska voda	H ₂ SO ₄ (5-15%)	Lužina (8%)
Niskouglični čelik	1	1	1	1	5
Sivi lijev	4	1	1	1	4
Čelik s 4...6% Cr	3	3	3	1	4
18%Cr i 8%Ni nehrđajući čelik	5	5	4	2	5
18%Cr i 35%Ni nehrđajući čelik	5	5	4	4	4
„Monel“(70%Ni, 30% Cu)	4	5	5	4	5
Nikal	4	5	5	4	5
Bakar	4	4	4	3	3
Mjed (85%Cu i 15%Zn)	4	3	4	3	1
Al-bronca	4	4	4	3	3
Aluminij	4	2	1	3	1
Al-Cu legura	3	1	1	2	1

Ocjene otpornosti na koroziju: 1=slaba- brzo razaranje; 2=osrednja- privremena upotreba; 3=dobra- umjereno korištenje; 4=vrlo dobra- pouzdano korištenje; 5=izvrsna- neograničeno korištenje

Neki od korozijski postojanih materijala koji nisu upotrebljivi zbog nepovoljnih mehaničkih ili drugih svojstva ili zbog visoke cijene, ipak se često upotrebljavaju u obliku zaštitnih prevlaka. Zbog svojstva korozijske postojanosti, nehrđajući čelici se danas primjenjuju u gotovo svim područjima ljudskog djelovanja, od nezamjenjive primjene u različitim granama industrije poput kemijske, petrokemijske i farmaceutske, u arhitekturi, brodogradnji, energetici, te do primjene u svakodnevnom životu. Zbog sve raznovrsnijih i strožih zahtjeva na kvalitetu, pouzdanošću i trajnošću dijelova, sklopova i postrojenja, odabir materijala predstavlja sve složeniji i odgovorniji zadatak konstruktora i tehnologa [1].

5.2. Konstrukcijsko tehnološke mjere

Kod konstruiranja novih pogona ili proizvoda već samo pozicioniranje i izvođenje imaju veliki utjecaj na djelovanje okoline, tj. na mogućnost nastanka korozije. Prilikom konstruiranja novih proizvoda i objekata kao što su marine, platforme za naftne bušotine, mostovi itd. mogu se uštedjeti znatna sredstva. Ispravno izvođenje i pozicioniranje imaju veliki utjecaj na djelovanje okoline, tj. na mogućnost nastanka korozije. Troškovi koji se mogu smanjiti pojavljuju se u obliku smanjene potrebe za presvlačenjem materijala, rjeđem izvođenju održavanja prevlaka, dužem vijeku trajanja proizvoda. Prilikom pozicioniranja postrojenja ili predmeta važno je uzeti u obzir izloženost opreme vjetru i česticama u zraku. Uobičajeni vjetrovi i kapljice mora moraju biti uzeti u obzir kod konstruiranja građevina, skladišta, dimnjaka itd. Od velike važnosti su i godišnja doba za opremu koja je izložena utjecajima korozije samo dio sezone, npr. turistička oprema, oprema za skijaše, itd. Primjeri dobrog i lošeg pozicioniranja dani su dolje na slici. [1]



Slika 5.1 Primjeri dobrog i lošeg pozicioniranja pogona [1]

Mnogi korozijski procesi mogu se ukloniti ili barem usporiti pravilnim oblikovanjem čeličnih konstrukcija, raznim projektnim rješenjima i tehnologijom izrade. Oblikovanje materijala, počevši od konstruiranja do izrade pojedinih dijelova i složenih proizvoda, mjerodavno je za unutrašnje faktore oštećivanja, pa tako i za koroziju. Vrsta, oblik, intenzivnost i tok korozije uvelike ovise o oblikovanju, a sve to utječe i na funkcionalnost, estetski dojam, cijenu i trajnost proizvoda. S korozijskog je gledišta potrebno općenito birati onaj tehnološki proces izrade koji daje proizvode što homogenije strukture i teksture, sa što manje zaostalih napetosti i sa što glađom površinom. Zajednički rad konstruktora, tehnologa i stručnjaka za koroziju tijekom procesa projektiranja vrlo je važna radi postizanja optimalne korozijske otpornosti konstrukcije pri čemu je preporučljivo pridržavati se sljedećih smjernica [1]:

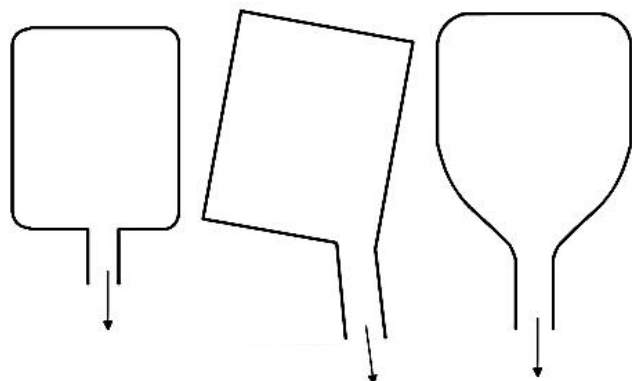
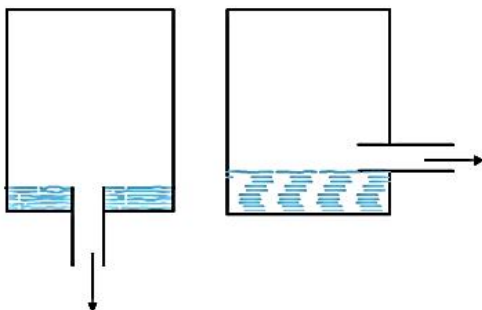
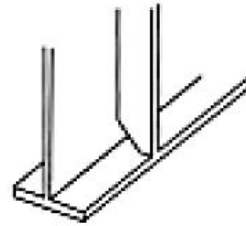
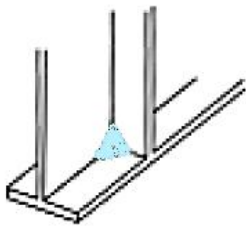
- zavareni spojevi, ukoliko su ispravno izvedeni, imaju prvenstvo pred vijčanim ili zakovičnim spojevima koji često mogu dovesti do pojave korozije u procijepu
- oblikovati konstrukciju tako da se na njoj ne zadržava voda, osigurati njezino otjecanje
- kao konstrukcijske materijale treba koristiti metale 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
- spremnici, rezervoari i sl. moraju se tako konstruirati da se lako prazne i čiste
- 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
- izbjegavati mehanička naprezanja s ciljem smanjenja opasnosti od napetostne korozije
- izbjegavati oštre zavoje u cjevovodnim sistemima radi smanjenja opasnosti od erozijske korozije
- izbjegavati dodir različitih metala udaljenih u galvanskom nizu - radi sprečavanja galvanske korozije
- izbjegavati lokalno intenzivno zagrijavanje - korozija se izuzetno ubrzava s porastom temperature, a i isparavanjem se znatno uvećava koncentracija medija
- kadgod je to moguće izbjegavati kontakt s agresivnim česticama
- najopćenitije pravilo je da se svaka heterogenost mora izbjegavati (lokalna naprezanja, temperaturne razlike, mjesta gdje se vlaga nakuplja, i sl.).

Na slici su prikazani primjeri dobrog i lošeg konstruiranja. Važno je konstruirati tako da se voda i prljavština ne zadržavaju na jednom mjestu, da se ne stavljaju prepreke u toku tekućina i plinova.

LOŠE RJEŠENJE



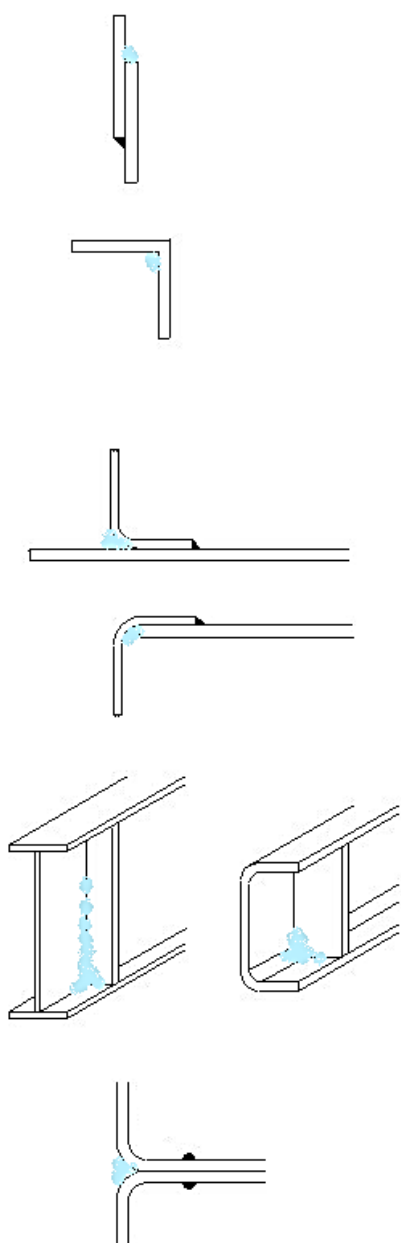
BOLJE RJEŠENJE



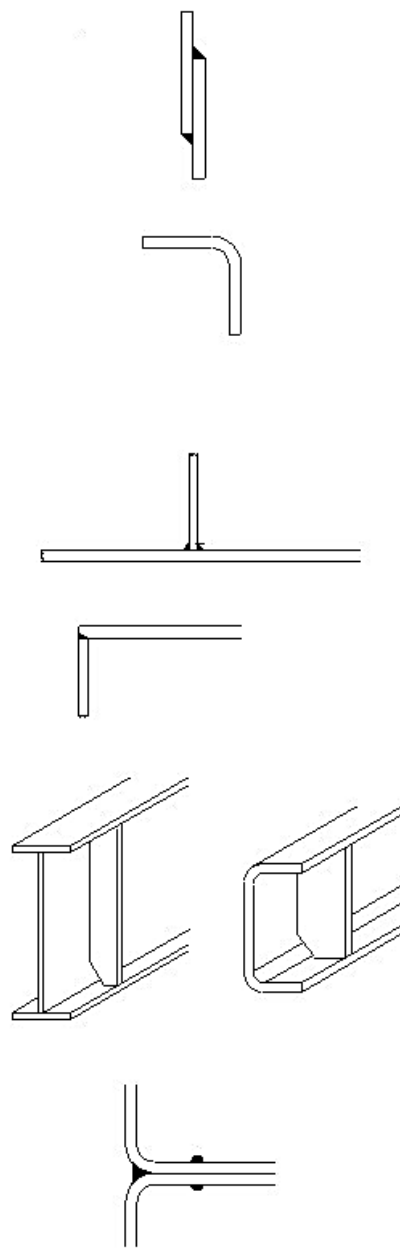
Plava boja prikazuje nakupljanje vode i nečistoća

Slika 5.2 Primjeri lošeg i dobrog konstrukcijskog rješenja [1,37,38]

LOŠE RJEŠENJE



BOLJE RJEŠENJE



Slika 5.3 Primjeri lošeg i dobrog konstrukcijskog rješenja [39]

5.3. Zaštitno prevlačenje

Nanošenje prevlaka drugog materijala na površinu proizvoda najraširenija je metoda zaštite od korozije i drugih vrsta oštećivanja materijala. Nanesene prevlake služe kao barijera između metala i agresivnog medija, čime se koči ili sprječava nastanak korozije. Osim za zaštitu od korozije prevlake se primjenjuju i za sprječavanje mehaničkog trošenja, iz estetskih razloga ili pak za reparaturu loše izrađenih dijelova. Prevlake mogu biti:

- metalne i
- nemetalne:
 - organske i
 - anorganske

Zaštitno djelovanje prevlaka ovisi o vrsti prevlake, o njenoj debljini, o stupnju kompaktnosti i o čvrstoći prijanjanja. S obzirom na to, na kvalitetu prevlake znatno utječe postupak nanošenja, koji uključuje pred obradu metalne površine za prevlačenje, nanošenje u užem smislu i završnu obradu prevlake, koja nije potrebna u svim postupcima prevlačenja. Prevlake veće debljine nazivaju se oblogama, a tanke filmovima ili opnama. [1,2]

Prevlaka mora čvrsto prijanjati na metalnu podlogu. Za prijanjanje je vrlo bitna pred obrada. Pred obrada materijala ima dvojaku svrhu:

- čišćenje, tj. uklanjanje masnih tvari, produkata korozije, starih prevlaka i različitih onečišćenja
- postizanje željene kvalitete, tj. optimalne hrapavosti, odnosno glatkoće površine

Predobradom je potrebno osigurati što čvršće prijanjanje prevlake uz osnovni materijal, a to je nemoguće ukoliko se ne uklone onečišćenja i masne naslage koje najčešće potječu od prethodne mehaničke obrade. Predobrada se načelno sastoji od [1,4]:

- odmašćivanja
- mehaničkih operacija i
- kemijskih operacija

1) ODMAŠĆIVANJE

Odmašćivanjem se s površine uklanjaju čvrste i tekuće masne tvari mineralnog ili biološkog porijekla i organska onečišćenja. Ukoliko je površina masna, tada je odmašćivanje neophodno u pripremi površine kako bi prevlaka dobro prijanjala uz metal. Razlikuju se grubo i fino odmašćivanje. Grubim odmašćivanjem se uklanja glavnina masnih tvari s jako zamašćenih

površina, a finim odmašćivanjem se eventualno nakon grubog odmašćivanja potpuno odstranjuju zaostala onečišćenja te vrste. Za odmašćivanje se upotrebljavaju organska otapala (benzin, benzol,) vodene emulzije organskih otapala, lužnate otopine (NaOH, KOH, Na₂CO₃,) i vodene otopine industrijskih detergenata. Odmašćivanje se može izvesti uranjanjem, prskanjem, elektrolitički u otopinama te spaljivanjem u pećima. Također je moguće odmašćivanje uz primjenu ultrazvuka radi ubrzanja procesa, a osobito na predmetima sa šupljinama, žljebovima i sl. [1,4]



Slika 5.4 Odmašćivanje visokotlačnim prskanjem

Odmašćivanje lužnatim otopinama (5-10% NaOH, KOH, Na₂CO₃) provodi se u uređajima za odmašćivanje prskanjem vrućom lužnatom otopinom kao i upotrebom industrijskih detergenata. Aluminij, cink i njihove legure ne smiju se odmašćivati u lužnatim otopinama jer se u njima otapaju. To isto vrijedi i za nemetalne materijale.

Odmašćivanje organskim otapalima provodi se prskanjem otapala po predmetu, uranjanjem ili izlaganjem pari otapala. Zapaljiva su otapala derivati, nafte, benzin i petrolej, a nezapaljivi su trikloretilen i tetraklorugljik, ali su toksični. [1,4]

Elektrokemijsko odmašćivanje može biti katodno, anodno ili kombinirano. Katodno odmašćivanje se provodi u kadi s lužnatom otopinom elektrolita u kojoj su predmeti, koje treba odmastiti, spojeni kao katode. Anode su od čelika ili nikla, koji su stabilni u lužnatim otopinama. Procesom elektrolize na katodi se izlučuje vodik koji mehanički odvaja masnoću s površine metala. Mjehurići vodika odnose sa sobom čestice ulja koje se kasnije u lužnatoj otopini

emulgiraju. Zbog opasnosti od vodikove krhkosti kombiniraju se anodno i katodno odmašćivanje. Anodno odmašćivanje je slabije pa se provodi rjeđe. Naime, kisik koji se tim postupkom izdvaja na anodi, slabije od vodika odvaja masnoću sa površine. Za elektrokemijsko odmašćivanje upotrebljavaju se čelične posude koje se spajaju kao protuelektrode

Odmašćivanje ultrazvukom je završni postupak nakon grubog odmašćivanja. Izvor ultrazvuka je visokofrekventni generator koji daje visoku frekvenciju za pogon titrajućeg tijela. Ultrazvuk se širi iz izvora kroz otopinu i na uronjenom predmetu izaziva velike tlačne i vlačne sile koje odvajaju masnoće od predmeta. Postupak je skup, ali vrlo djelotvoran [4,40, 41].

2) MEHANIČKE OPERACIJE

Mehaničkom pred obradom osnovnog materijala teži se postizanju najpovoljnije kvalitete površine podloge. Mehaničkim operacijama skidaju se korozijski produkti i druga nemasna onečišćenja. Najčešće se želi smanjiti, a rjeđe povećati stupanj hrapavosti da bi se omogućilo kvalitetno nanošenje prevlaka. Često se kao mjera za kvalitetu površine uzima prosječno odstupanje profila koje je definirano apsolutnom vrijednošću prosječnog odstupanja profila od njegove srednje linije. Za galvansko nanošenje metalnih prevlaka optimalna je velika glatkoća površine. Mehanička obrada u praksi obično služi i za uklanjanje produkata korozije i drugih čvrstih onečišćenja s površine metala. Postoji ručno mehaničko čišćenje i strojno mehaničko čišćenje. [1,2]

Ručno mehaničko čišćenje se primjenjuje za uklanjanje boje, hrđe ili kamenca koji slabo prijanjaju na površinu. Sporo se provodi pa se primjenjuje samo za čišćenje na određenim manjim mjestima i malim površinama. Provodi se ručnim alatima kao što su strugala, žičane četke, dlijeta, abrazivi na raznim podlogama, zavarivački čekići i slično.

Strojno mehaničko čišćenje provodi se korištenjem električnih ili pneumatskih uređaja na koje se montiraju mehanički alati. Veća je produktivnost s obzirom na ručno čišćenje. Rotacijske četke primjenjuju se na manjim površinama. Četke brže skidaju strugotine ako se okreću većom brzinom i ako su gušće. [1]

Najčešći postupci mehaničke obrade su [8]:

- brušenje
- poliranje
- pjeskarenje
- sačmarenje
- četkanje

Brušenjem se poboljšava kvaliteta površine materijala, uklanjaju se produkti korozije, metalne kapi od zavarivanja, nadvišenje zavara, zaobljuju rubovi te čiste ulegnuća i druge nepravilnosti. Provodi se abrazivnim zrcima ugrađenim u rotacijske diskove koji se montiraju na pneumatske ili električne uređaje. Prosječno odstupanje profila nakon brušenja iznosi približno 1 mikron. [1]



Slika lijevo prikazuje brušenje brusnim papirom, a slika desno žičanom četkom

Slika 5.5 Ručno brušenje pomoću kutne brusilice [42]

Poliranje se koristi ako je potrebna veća glatkoća površine te za uklanjanje neravnina zaostalih nakon brušenja. Provodi se pastom ili prahom za poliranje. Prosječno odstupanje profila nakon poliranja iznosi približno 0,1 mikron. [1]

Pjeskarenje je postupak kojim se uz pomoć abrazivnog sredstva čisti metalna ili nemetalna površina od raznih nečistoća i korozijskih produkata. Abrazivno sredstvo, najčešće pijesak, se izbacuje iz mlaznica pomoću komprimiranog zraka. U novije vrijeme kao abrazivno sredstvo koristi se korund pomoću kojeg je otklonjen nedostatak pjeskarenja kvarcnim pijeskom u smislu stvaranja za zdravlje opasne silikatne površine koja izaziva tešku bolest dišnih organa, silikozu. Ukoliko se kao abrazivno sredstvo koristi metalna sačma postupak se naziva sačmarenje. Često se primjenjuje mlaz vode kojoj je dodan pijesak kojim se mehanički uklanjaju nečistoće, a smanjuje se i prašina u zraku. Radnik pri upotrebi pneumatskih pištolja koriste se skafanderima u koje se uvodi čisti zrak. Željena površina može se obraditi do željene čistoće pravilnim odabirom abraziva. Pjeskarenje je najbolja metoda ukoliko treba odstraniti debele slojeve produkata korozije i jedini je mogući način čišćenja velikih objekata kao što su mostovi, metalne konstrukcije, procesna oprema na otvorenome, brodovi i sl. [4,27]



Slika 5.6 Postupak pjeskarenja [43]

Sačmarenje je postupak sličan pjeskarenju, a provodi se mlazom čelične sačme pomoću specijalnih mlaznica. Sačma može biti raznih veličina.



Slika 5.7 Uredaj za ručno sačmarenje (lijevo) i neke vrste sačme (desno) [43]

Četkanje ili grebanje izvodi se četkama od žica i vlaknastih materijala. Za izradu četka primjenjuju se ravne ili valovite žice i vlakna koja se u snopovima ugrađuju u perforirane drvene, aluminijske ili kartonske podloge. Četke se razlikuju po broju žičanih snopova i gustoći žica u snopu. [1]



Slika 5.8 Ručne i strojne četke [45]

3) KEMIJSKA PREDOBRAĐA

Najvažniji postupak kemijskog odstranjivanja korozivskih produkata je otapanje hrđe i okujine s ugljičnog i niskolegiranog čelika te s lijevanog željeza dekapiranjem tj. nagrivanjem. Zahtjevi koji se postavljaju kao sredstva za kemijsku obradu su brzo otapanje korozivskih produkata, niska cijena, neotrovnost, mogućnost regeneriranja, neisparljivost i što manje otapanje metala.

Provodi se uranjanjem predmeta u otopinu kiseline. Najčešće u 3 do 20 %-tnoj otopini sumporne ili klorovodične kiseline. Kisela otopina otapa površinski porozni sloj korozivskih produkata. Ali kada dođe u dodir s osnovnom površinom metala ona ju nagriza, tj. smanjuje joj dimenzije i stvara hrapavost.. Zbog toga se kiselinama dodaju inhibitori korozije koji pri niskoj koncentraciji usporavaju koroziju odnosno otapanje metala za 5 do 20 puta. Ponekad se koristi i lužnato dekapiranje koje se koristi za aluminij i njegove legure u 10 %-tnoj otopini natrijevog hidroksida. Takva otopina skida korozivske produkte, ali i otapa aluminij, a ne može se

djelotvorno inhibirati. Zbog toga je potrebno pravodobno prekinuti obradu kako se ne bi oštetili proizvodi.

Radi ubrzanja procesa ponekad se predmeti kreću ili njišu ili se otopina miješa. Nakon dekapiranja predmeti se ispiru vodom i to uranjanjem ili mlazom. Tokom vremena kiselinu je potrebno povremeno mijenjati ili regenerirati. Vrijeme obrade ovisi o stanju metalne površine. [1,2,4,8]

5.3.1. Metalne prevlake

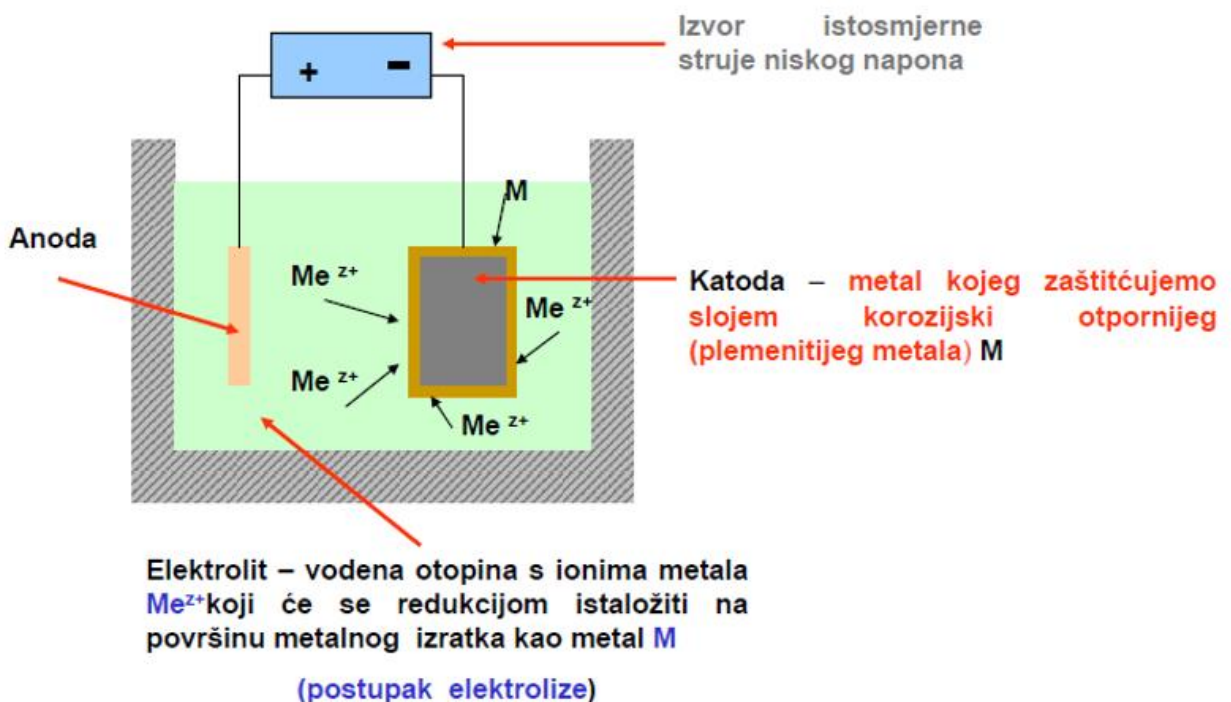
Metalne prevlake se na podlogu nanose fizikalnim ili kemijskim postupcima metalizacije ili platiniranja, ovisno o tome događaju li se pri prevlačenju samo fizikalne promjene ili su prevlake produkt kemijskih reakcija. Metalne prevlake ne služe samo za zaštitu od korozije već se koriste i u svrhu promjene tvrdoće, otpornosti na trošenje, dekorativne svrhe ili radi električne vodljivosti. Metalne prevlake nanose se postupcima:

- vrućeg uranjanja
- metalizacijskim prskanjem
- naštrcavanjem
- difuzijskom metalizacijom
- metalizacijom iz parne faze
- navarivanjem
- oblaganjem
- galvanskom tehnikom
- ionskom izmjenom
- kemijskom redukcijom i sl.

Za zaštitu strojarskih konstrukcija najviše se primjenjuju postupci prevlačenja galvanizacijom, vrućim uranjanjem i prskanjem metala. [1,8]

Galvanska tehnika ili galvanizacija je najrašireniji postupak nanošenja metalnih prevlaka na metalne i nemetalne obratke elektrolizom ionskih otopina, tj. elektrolita. Temelji se na katodnoj redukciji iona metala iz elektrolita pomoću električne struje. Predmeti se uranjaju u elektrolit koji sadrži ione metala čija prevlaka se nanosi i spajaju s negativnim polom izvora istosmjerne struje niskog napona (4 – 10 V), odnosno kao katode. Anoda je najčešće metal koji se nanosi kao prevlaka, a spojena je s pozitivnim polom izvora istosmjerne struje. U tom slučaju anoda se u toku procesa otapa ili oksidira i na taj način nadoknađuje ione potrošene katodnim taloženjem iz elektrolita. [8]

Donja slika prikazuje galvanizacijski postupak prevlačenja metala, proces elektrolize. Obradak od osnovnog metala je spojen s negativnim polom izvora struje (katoda) i uronjen u otopinu iona pokrovnog metala. Ioni pokrovnog metala putuju na katodu-metal koji želimo obložiti, gdje se talože i stvaraju prevlaku. [1]



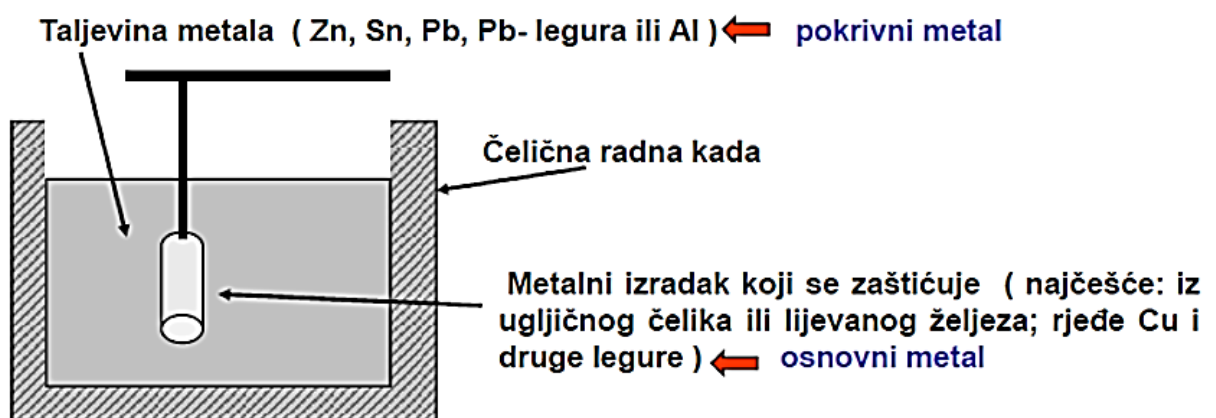
Slika 5.9 Galvanizacijski postupak [46]

Galvanski se nanose jednoslojne i višeslojne prevlake od metala, legura i kompozita. Najčešće se prevlače čelici, bakar i bakrene legure, cinkove legure i rjeđe aluminij i Al-legure. Najčešći galvanski postupci su: pobakrivanje, niklanje, pocinčavanje, kromiranje, kadmiranje, kositrenje, poolovljavanje, posrebrivanje i pozlaćivanje.

Prednosti galvanskih prevlaka su: čvrsto prijanjanje na podlogu, ekonomičnost, mogućnost spajanja metala različitih mehaničkih svojstava, visoka čistoća prevlaka, niske temperature prevlake, može se jednostavno regulirati debljina prevlake, mogu se nanijeti raznovrsne metalne prevlake (višeslojne).

Nedostaci su: nejednolika debljina prevlaka na profiliranim površinama, slaba mikroraspodjela, galvanski piting koji izaziva poroznost tanjih prevlaka, mehaničke napetosti

Vruće uranjanje je postupak uranjanja predmeta s višim talištem u rastaljeni metal s nižim talištem. Prevlaka nastaje skrućivanjem filma zaostalog na obratku zbog kvašenja nakon što se predmet izvadi iz taline. To je jedna od najvažnijih metoda fizikalne metalizacije. Za vruće uranjanje najvažnije je da osnovni metal ima znatno višu temperaturu tališta od pokrivnog i da metali stvaraju zajedničku leguru. Podloga za uranjanje može biti ugljični čelik, sivi lijev, bakar i bakrene legure, a prevlake mogu biti od cinka, kositra, olova, aluminija. te od PbSn i AlZn- legura. Postupak se primjenjuje kad je potrebno dobiti veću debljinu prevlake, jer se galvanizacijom dobije manja debljina prevlake. [1,46]



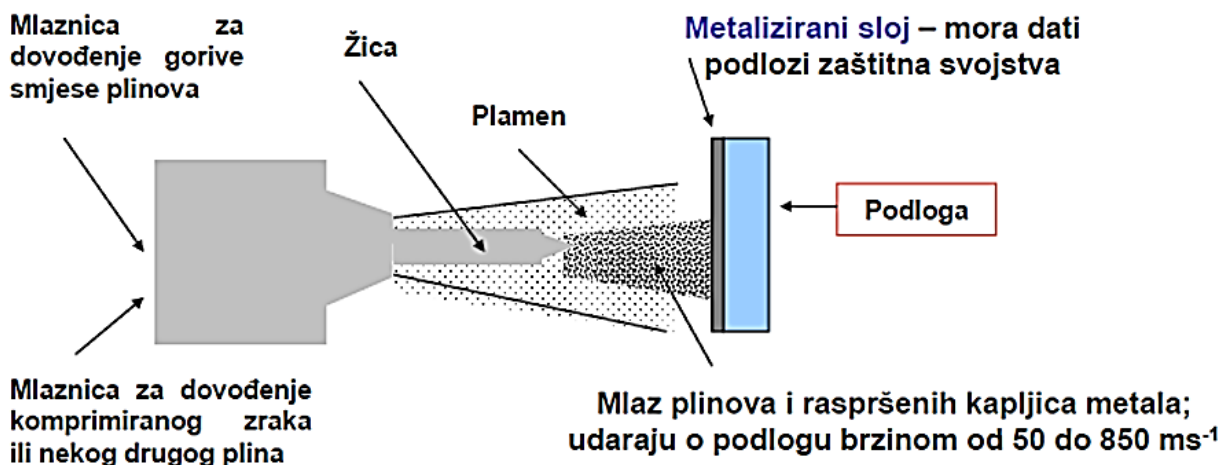
Slika 5.10 Shema postupka vrućeg uranjanja [46]

Vruće pocinčavanje je postupak antikorozivne zaštite u kojem se čelik ili lijevano željezo zaštićuje od korozije pomoću cinkove prevlake. Vrućim pocinčavanjem dobije se proizvod koji ima karakteristike čelika, a korozijsku otpornost cinka. Pocinčavanje je najrašireniji postupak vrućeg uranjanja. Postupak se primjenjuje za zaštitu čelika od atmosferske korozije i od korozije u neutralnom tlu. Predmet sa cinkovom prevlakom može trajati i do 50 godina u atmosferi koja nije jako agresivna. Debljina cinkove prevlake obično iznosi oko 80 mikrona. Temperatura metalne taline cinka je otprilike 460 °C. Prednost vrućeg uranjanja je što se velikom brzinom mogu obraditi velike količine robe i dobiti prevlake dobre zaštite i dobrih mehaničkih svojstava. Nedostatak je veliki gubitak rastaljenog metala i mogućnost izobličenja predmeta zbog visoke temperature u postupku. [4,46]



Slika 5.11 Primjer vrućeg pocinčavanja [47]

Metalizacijsko prskanje je štrcanje kapljica rastaljenog metala na podlogu. Postupak se često naziva šopiranjem po izumitelju, Švicarcu M.U. Schoopu. Mlaz kapljica stvoren brzom strujom zraka ili drugog plina, udara u podlogu brzinom 50 do 850 m/s pro čemu se kapljice spljošte, naglo ohlade i skrućivaju tvoreći prevlaku. Proces je prikazan na slici. [8,46]



Slika 5.12 Pojednostavljeni prikaz metalizacijskog prskanja [46]

Postupak se provodi poradi zaštite od atmosfere korozije, povećanja dekorativnosti površine, reparature istrošenih dijelova i dobivanja specijalnih svojstava površine. Prskanjem se mogu nanositi svi metali i legure, pa i mnogi nemetali. Jer se podloge zagriju samo na 50 do 200 °C, pa je postupak prikladan za materijale s niskim i visokim talištem. Metaliziraju se građevinski objekti kao mostovi prije bojenja, dijelovi energetskih postrojenja, uređaji metalurške obrade, brodska oprema, elementi raketne tehnike, dijelovi motora itd. Prednosti metalizacije prskanjem su mogućnost zaštite velikih konstrukcija i predmeta, relativno jednostavan način, mogućnost zaštite na terenu, mogućnost reguliranja debljine prevlake. Nedostaci su velika poroznost prevlake kod tanjih slojeva, veliki gubitak materijala pri prskanju i niska čvrstoća spajanja prevlake za površinu predmeta. [1,8,46]

5.3.2. Nemetalne anorganske prevlake

Anorganske nemetalne prevlake nanose se kemijskim ili mehaničkim postupkom s ili bez prisustva električne struje. Tretiranje površine, kod kemijskih nemetalnih prevlaka, mijenja površinski sloj metala u sloj jednog ili više oksida. Taj novonastali sloj oksida ima bolja antikorozivna svojstva. Nerijetko taj sloj predstavlja dobru podlogu za daljnje nanošenje ostalih vrsta prevlaka. Anorganske prevlake dobivene mehaničkim putem slabije prijanjaju za podlogu. Mehaničke anorganske prevlake se dobivaju emajliranjem ili nanošenjem sloja betona.

Emajliranje je mehanička anorganska prevlaka koja se zasniva na nanošenju sloja na bazi alkalijsko-borosilikatnog stakla na površinu metala. Metali koji se najčešće emajliraju su čelični limovi i proizvodi od čeličnih ljevova, sivi lijev i aluminij, a za ukrasne svrhe i obojeni metali. Emajl se može nanositi na metal uranjanjem, prevlačenjem ili prskanjem. Tada se emajl peče i dobiva se kompaktni sloj na površini. Emajliranjem se mogu dobiti slojevi koji predstavljaju dobru zaštitu metala u jako agresivnim atmosferama. Nedostatak emajla je što ima malu žilavost te je jako podložan pucanju čak i pri manjim udarcima. Najčešće se emajliraju kuhinjsko posuđe, kade, umivaonici, sudoperi, dijelovi štednjaka, peći, perilice, hladnjaci i bojleri i dr. Emajliranje je najvažnija anorganska nemetalna prevlaka dobivena mehaničkim putem.

Oksidne prevlake nanose se kemijskim i elektrolitičkim postupcima najčešće na čelik, aluminij i bakar te neke njihove legure. Nanošenje oksidnih prevlaka na čelik naziva se bruniranje. Bruniranjem se dobiva sloj oksida koji je plemenitiji od čelika, ali zbog svoje poroznosti nije pogodan za zaštitu od korozije, tako da se brunirani sloj impregnira strojnim uljem. Dobivene prevlake mogu biti crne, sive, smeđe ili plave boje.

Fosfatne prevlake najčešće se nanose na čelik, cink i aluminij. Dobivene prevlake su prilično krute, dobar su izolator i dobro prijanjaju za površinu osnovnog materijala. Prevlake nanosene u debljem sloju služe za antikorozivnu zaštitu. Nedostaci prevlake su neugledna boja bez sjaja, a sloj je hrapav i dijelom porozan, što omogućava zadržavanje ulja, boja, lakova i sl. Često se mora naknadno impregnirati strojnim uljem ili se kromatira.

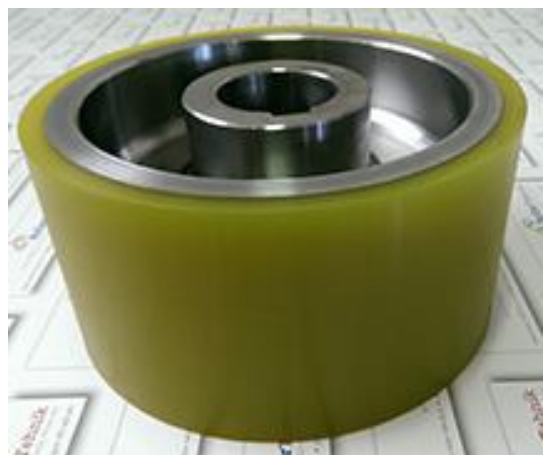
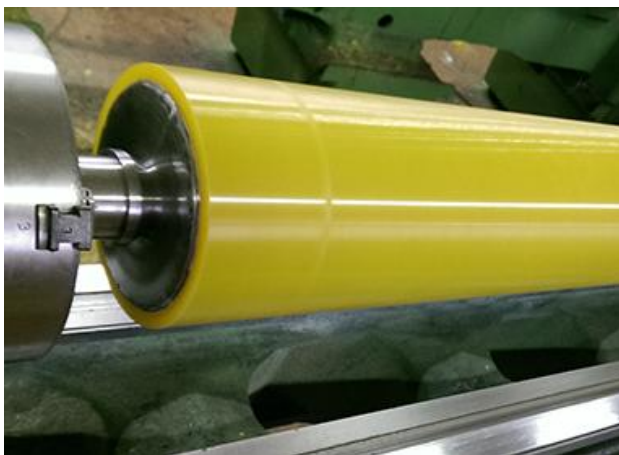
Kromatirane prevlake najčešće se nanose na prevlake cinka i kadmija, te na magnezijske legure, a katkad i na bakar. Ovisno o debljini prevlake ovim postupkom se dobijaju žućkasti, zelenkasti (maslinasti) i smečkasti slojevi koji štite od korozije u zraku, vodi itd. Prevlake su mnogo mekše, ali nešto žilavije od oksidnih. Ukoliko se prevlaka ošteti ona zacjeljuju zbog pasivirajućeg djelovanja kromata. Kromatiranje je brz i jeftin postupak i dobro prijanja na površinu, a na dobivene površine izvrsno prijanjaju boje i lakovi. [1,2,8, 27,48]

5.3.3. Nemetalne organske prevlake

Organske prevlake su prevlake koje čini kompaktnima organska tvar tvorbom opne. Organskim se prevlakama zaštićuje čak 75% svih metalnih površina. Za neke je površine to nezamjenjiv način zaštite. Takvi slojevi se dobivaju:

- nanošenjem organskih premaznih sredstava (bojanje i lakiranje)
- uobičajeno podmazivanje
- plastifikacijom
- gumiranjem
- bitumenizacijom

Gumiranje se koristi kada želimo metal zaštititi od kiselina i kiselih otopina, udaraca i raznih oštećenja. Gumiranje se najčešće izvodi tako da se obloge od meke ili tvrde gume lijepe na metal. Kod oblaganja gumom predmeti se najprije očiste i premažu gumenim lijepkom. Nakon sušenja lijepka obljepljuje se predmet gumenim pločama i vulkanizira na temperaturi od 100 do 150 °C u trajanju od 1 do 10 sati. Nedostatak ovakvog postupka je u tome što je primjena ograničena temperaturno i starenjem, te su prevlake neotporne na benzin, benzol itd. [1,8]



Slika 5.13 Gumirani proizvodi (valjak i kotač)[49]

Plastificiranje je slično kao i gumiranje. Za plastificiranje se upotrebljavaju različite vrste polimera kao što su PVC, PE, PTFE itd. Plastificiranje metala je postupak kojim se na površinu naelektriziranog metala nanosi nabijeni prah obrnutog polariteta od metala pomoću pištolja za elektrostatsko prašenje. Na taj se način prah lijepi i po dijelovima koji nisu na direktnom udaru praha. Elektricitet privlači prah gdje ga nema, a odbija gdje je nanesen. Zatim se sloj polimerizira odnosno peče na oko 180 °C i dobiva se zaštitni sloj plastike. Na taj se način metal štiti od korozije. Termoplastične prevlake mogu se nanositi i postupcima vrućeg prskanja i nataljivanja. Predmeti se kratkotrajno uranjaju u masu zagrijanu na 160 °C u trajanju (3-5 s), a debljina dobivenog sloja iznosi 1-2 mm koji je nepropustan za vlagu i plinove. Plastificiranje se primjenjuje za dugotrajnu zaštitu od korozije. [8,27,50]



Slika 5.14 Postupak plastificiranja metala [50]

Bitumenizacija je postupak nanošenja bitumeniziranih tvari. Bitumeniziraju se čelične i betonske konstrukcije da bi se zaštitilo od djelovanja prirodnih i podzemnih voda. Postupak bitumenizacije se može izvoditi lijepljenjem ili nataljivanjem bitumenskih bandaža. Bitumenske bandaže su tkanine koje su impregnirane bitumeniziranim tvarima nalijevanjem kod temperature 200 °C. Kod pogonske bitumenizacije nataljivanjem dobiju se slojevi debljine 0,5 do 2,5 mm, a trajnost takvih prevlaka je nekoliko desetaka godina. Debljina jedne bandaže koja se nanosi lijepljenjem iznosi 4 mm. Temperaturno područje primjene je između -15 °C do 120 °C. [51]



Slika 5.15 Izgled tkanine za bitumenizaciju i postupak bitumeniziranja lijepljenjem [51]

Od organskih prevlaka u praksi se najčešće upotrebljavaju organski premazi, boje i lakovi. Boje i lakovi su se u početku koristili samo za oslikavanje pećina i u dekorativne svrhe, sve dok čovjek nije spoznao da s time može provoditi zaštitu materijala. Boje i lakovi su organska tekuća zaštitna sredstva koja nakon sušenja stvaraju prevlaku na površini metala te odvajaju metal od okoline i na taj način štite metal od korozije. Koriste se još i u dekorativne svrhe. [1]

Premaz je općeniti naziv za jedan ili više međusobno povezanih slojeva na nekoj podlozi koji stvaraju suhi film. Izraz boja tradicionalno se rabi za opis pigmentiranih materijala drugačijih od bezbojnih filmova koje nazivamo lakovi. Sva premazna sredstva sadržavaju vezivo, koje čini opnu prevlake i otapalo koje otapa vezivo i regulira viskoznost. Osim toga premazna sredstva mogu sadržavati netopljive praškove (pigmente i punila) koji daju nijansu i čine premaze neprozirnim i različite dodatke koje nazivamo aditivi. Lakovi su većinom prozirni a mogu biti i pigmentirani, a razlikuju se od boja većom glatkoćom, sjajem i tvrdoćom prevlake.

Veziva povezuju sve komponente premaznog sredstva. Veziva su organske tvari u tekućem ili praškastom stanju koje nakon nanošenja stvaraju tvrdi zaštitni sloj. Po sastavu mogu biti razne smjese na temelju sušivih masnih ulja, poliplasta, derivata celuloze, prirodnih smola, prirodnog ili sintetičkog kaučuka i bituminoznih tvari. A danas se upotrebljavaju veziva na bazi polimernih materijala.

Pigmenti su prirodne ili umjetne praškaste tvari najčešće anorganskog porijekla. Pigmenti se ne otapaju u vezivu i zaštitnom sloju daju boju. Zadaća pigmenta je da premaze čine neprozirnim, da povećaju mehanička i zaštitna svojstva premaza, te njihovu kemijsku i termičku postojanost. Pigmenti poboljšavaju refleksiju svjetlosti i time smanjuju zagrijavanje. Zaštitno djelovanje pigmenata može biti pasivirajuće, inhibitorsko, neutralizirajuće i djelovanje katodnom zaštitom.

Otapala su hlapivi organski spojevi u kojima se vezivo otapa, ali pri tome ne dolazi do kemijskih promjena. Otapala se upotrebljavaju radi postizanja određene viskoznosti radi lakšeg nanošenja na metal. Služe kao razrijeđivači za sniženje viskoznosti premaznih sredstava i kao otapala za njihova veziva.

Punila su bijele ili slabo obojane anorganske tvari netopljive u korištenom mediju. Dodaju se u premaze radi poboljšanja mehaničkih svojstava, mazivosti i svojstva tečenja, zbog povećanja i smanjenja sjaja i zbog otpornosti filma prema difuziji vode i agresivnih plinova.

Aditivi su tvari koje se dodaju u malim količinama ali imaju velik utjecaj na svojstva. Dodaju se kako bi se spriječili nedostaci kao što su pjena, loše razlijevanje, sedimentacija ili da daju specifična svojstva, npr. klizavost, usporavanje širenja vatre, svjetlostabilnost. Potrebno je paziti na koncentraciju miješanja jer ako je ona veća tada se pojavljuju više nuspojava koje su itekako neželjena. [1,2,4,8,52]

Premazi se nanose na metalne površine obično u dva ili više slojeva koji čine sustav premaza (slika).



Slika 5.16 Sustav premaza [1]

Temeljni premazi osiguravaju adheziju na podlogu i sprječavaju koroziju. Nanose se izravno na metal. Aktivna zaštita metala od korozije osniva se na djelovanju pigmentata koji po pravilu čine više od 80% masenog udjela takvog premaza. Da bi antikorozivni pigmenti bili djelotvorni, poželjno je da budu što bliže, odnosno da prijanjaju na metal. Zato se često nanose postupcima (kistovima) kojima je moguće utrljati premaz u udubinu površine. Značajke temeljnog premaza:

- prionjivost- jaka veza s podlogom
- kohezija- velika čvrstoća sloja
- inertnost- jaka otpornost na koroziju i kemikalije
- vezivanje s međupremazom- jaka veza s međupremazom

- elastičnost- da prati dilataciju podloge

Međupremazi daju neprozirnost, povećavaju debljinu zaštitnog filma i poboljšavaju zaštitni učinak sustava. Može se sastojati od jednog ili više slojeva. Čini vezu između temeljnog i završnog sloja. Zaštitno svojstvo ostvaruje se preko listićavih pigmenata koji se slažu paralelno s podlogom i otežavaju prodor vlage i kisika do podloge. Glavna svrha međuprolaza je osigurati:

- potrebnu debljinu sustava premaza
- jaku kemijsku otpornost
- nepropusnost na vlagu
- povećani električni otpor
- jaku koheziju
- jaku vezu između temeljnoga i završnoga sloja

Završni premazi zadovoljavaju kriterije vezane uz nijansu boje, sjajem, lakoćom čišćenja, otporom na abraziju te štite prethodne premaze od utjecaja okoline (vode, onečišćene atmosfere itd.). Nanose se povrhu svih premaza. Mogu imati i specijalnu namjenu zaštite od širenja požara, protu klizno djelovanje, sprječavanje obrastanja podvodnih konstrukcija. Glavne funkcije:

- osigurati otpornost sustava premaza
- tvoriti prvu barijeru prema utjecajima okoline
- osigurati otpornost na kemikalije, vodu, različite vremenske uvjete
- osigurati otpornost na trošenje
- osigurati lijep izgled

Postupci nanošenja premaza:

- četke
- lopatice
- valjci
- prskanje
- uranjanje
- prelijevanje itd.

Četke ili kistovi služe za ručno nanošenje premaza bojanjem. Četka se sastoji od snopova životinjskih, biljnih ili sintetičkih vlakana. Prednost četkanja je mogućnost rada bez dodatka razrjeđivača, jer proizvođači već prilagode viskoznost otapalima toj vrsti ličenja, pa se dobiju premazi veće debljine i manje poroznosti, uz smanjenje zagađivanja okoline i opasnosti od požara i eksplozije. Gubici premaznog sredstva kod četkanja su vrlo mali, premaz se dobro utrlja u podlogu, što je pozitivno kod nanošenja prvog temeljnog sloja. Najveći nedostatak četkanja je niska produktivnost zbog sporosti premazivanja. Četkanjem nastaju pruge od kista, što uzrokuje lokalnu neravnomjernost debljine premaza. [1,53]



Slika 5.17 Četka za bojanje [54]

Lopatice ili spatule služe za nanošenje kitova i nekih pastoznih premaza koji imaju veliki udjelom suhe tvari. Nanošenjem se dobiju debele prevlake (preko 0,1 mm) koje su često neravnomjerne i hrapave. Lopatice se izrađuju od čelika. Postupak je srodan četkanju, ali uz slabije utrljavanje. [1,53]



Slika 5.18 Lopatice za nanošenje kitova [54]

Ukoliko se radi o većim površinama limene ploče ili trake, tada je mnogo produktivnije bojanje valjcima nego bojanje četkanjem. Valjci se izrađuju od vune ili nekih drugih materijala. Kod bojanja valjcima utrljavanje premaza je slabije nego pri četkanju, ali je dobiveni sloj gladi i ravnomjernije nanesen. Kod proizvodnje limene ambalaže često se primjenjuju strojevi za ličenje s nekoliko metalnih valjaka. [1,53]



Slika 5.19 Valjci za bojanje [54]

Manji i jednostavniji obratki koji se proizvode u velikim serijama premazi se nanose uranjanjem u boje i lakove. Kod uranjanja je potrebno razrjeđivanje i naknadno ocjeđivanje viška premaza. Prednost uranjanja je što su gubici vrlo mali. Nedostatak je teško postizanje prevlake jednolične debljine na kompliciranim profilima te na unutarnjim i vanjskim površinama cijevi.

Veći predmeti koji na sebi imaju rešetke ili rebrasti proizvodi po čijoj se površini premazna sredstva lako razlijevaju liče se prelijevanjem. Kod prelijevanja se premazna sredstva razrjeđuju, kako bi se što ravnomjernije razlila po čitavom obratku. Boja se kroz mlaznice ili kroz dugačke proreze prelijeva preko obratka, a višak premaza se ispod obratka skuplja u spremnik i ponovno se primjenjuje. [1,53]



Slika 5.20 Nanošenje boje prelijevanjem

Često se boje i lakovi nanose zračnim prskanjem. Prskanje se obavlja sa stlačenim zrakom na sobnoj ili povišenoj temperaturi, bezračnim ili elektrostatičkim postupkom. Zračno prskanje izvodi se pomoću pištolja u koji se uvodi zrak pod tlakom 0,12 do 0,5 MPa i premazno sredstvo koje se zrakom raspršuje. [53]



Slika 5.21 Špricanje [53]

5.4. Smanjenje agresivnosti medija

Agresivna okolina ima velik utjecaj na nastanak i brzinu širenja korozije. Djelovanje agresivne okoline na metale može se smanjiti:

- Uklanjanjem agresivne komponente
- Dodavanjem antikorozivne komponente (inhibicijom)
- Zamjenom okoline

Takve se metode mogu primijeniti na plinovite i tekuće medije. Agresivnost zraka prema metalima izvan eksploatacije, a rijetko i u eksploataciji može se smanjiti slabo propusnim ili nepropusnim omotom ili kućištem. Tada se metal nalazi u kontaktu s malim volumenom zraka koji sadrži ograničenu količinu agresivnih tvari kao što su vodena para, kisik, sumporni oksid. Slika 5.3.1 prikazuje zaštitu metala od agresivne okoline slabo propusnim omotom i folijom. [55]



Slika 5.22 Zaštita metala slabo propusnim omotom i skidanje zaštitne folije s automobila [55]

Neznatnom početnom korozijom agresivne tvari se troše, pa se agresivnost atmosfere u omotu ili kućištu smanjuje. Takva metoda primjenjuje se kod pakiranja i konstruiranju kućišta mnogih instrumenata. Zaštitni omoti ne moraju biti u kontaktu s površinom metala pa se po tome razlikuju od prevlaka. Primjenjuju se navoštene, parafinirani i bitumenizirani papiri, folije od celofana, polietilena, polivinilklorida, aluminijska itd. a spajaju se lijepljenjem ili zavarivanjem. Zaštita od korozije u zraku i u drugim plinovima na niskoj temperaturi provodi se i sušenjem tj.

odvlaživanjem. Plinovi se suše pomoću higroskopnih tvari (desikansa) te hlađenjem i kompresijom, pri čemu se vlaga kondenzira. [55]

Danas se za smanjenje korozijskog djelovanja agresivnih komponenata u mediju u praksi vrlo često primjenjuju inhibitori korozije. Upotreba inhibitora za smanjenje brzine širenja korozije je vrlo raznolika. U nekim se granama industrije inhibitori korozije smatraju prvom linijom obrane od korozije, kao na primjer u procesnoj i naftnoj industriji. Inhibitori se definiraju kao tvari koje dodane u malim količinama u agresivni medij mogu uvelike doprinijeti smanjenju intenziteta širenja korozije. Vrlo je važan pravilan izbor inhibitora, jer pojedini inhibitori zaustavljaju koroziju samo za određeni sustav medij/metal. Klasifikacija inhibitora:

- anodni (koče anodnu reakciju)
- katodni (koče katodnu reakciju)
- mješoviti (koče oba procesa)
- hlapivi

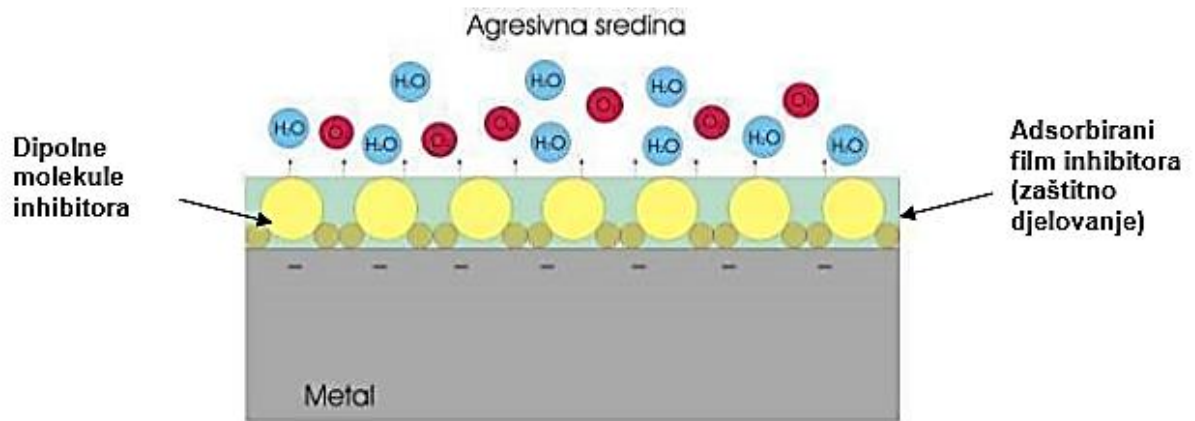
Anodni inhibitori stvaraju na anodnim mjestima filmove oksida ili slabo topljivih soli i tako čine barijeru koja izolira temeljni metal. Stvoreni filmovi su toliko tanki da se ne vide okom. Funkcija anodnih inhibitora je i održavanje, obnavljanje ili pojačanje prirodnog oksidnog filma koji se već nalazi na metalima i legurama.

Katodni inhibitori smanjenje brzine korozije metala zasnivaju na jednom od dvaju načina, usporenju katodne reakcije korozijskog procesa ili smanjenju površine katodnih dijelova metala. Katodni inhibitori koče katodni proces na način da djeluju ili na reakciju izdvajanja vodika ili na reakciju redukcije kisika.

Mješoviti inhibitori imaju dvostruko djelovanje, usporavaju anodnu i katodnu reakciju. To su najčešće organski spojevi koji se adsorbiraju na metalnu površinu, tvoreći spojeve u obliku zaštitnih monomolekularnih 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

Hlapivi inhibitori 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 učinile okolni zrak ili neki drugi plin nekorozivnim. Koriste se u obliku praha ili se njihovom alkoholnom otopinom natapaju papiri, odnosno spužvaste tvari. Primjenjuju u zatvorenim prostorima, te za vrijeme skladištenja i transporta robe. Kod isparavanja inhibitor putuje prema svim dijelovima metalne površine te je pokriva. Kada dođe do dodira između inhibitora i metalne površine, tada se para kondenzira i stvara tanki monomolekularni film koji putem

ionskog djelovanja štiti metal kako je prikazano dolje na slici. Molekule organskih inhibitora korozije su dipolne, pa se se pozitivni dio molekule veže za površinu, a negativni dio je okrenut prema mediju i on je hidrofoban, odnosno odbija vodu i kisik iz okoline. Nastali film se dalje održava i nadomješta daljnjom kondenzacijom pare. Primjenjuju se kod zaštitnih omota za skladišno ili transportno konzerviranje metalnih predmeta. [55]



Slika 5.23 Mehanizam djelovanja hlapivog inhibitora korozije [55]



Slika 5.24 Primjena inhibitora korozije u vojnoj industriji [55]



Slika 5.25 Privremena zaštita unutrašnjosti cijevi praškastim inhibitorima [55]



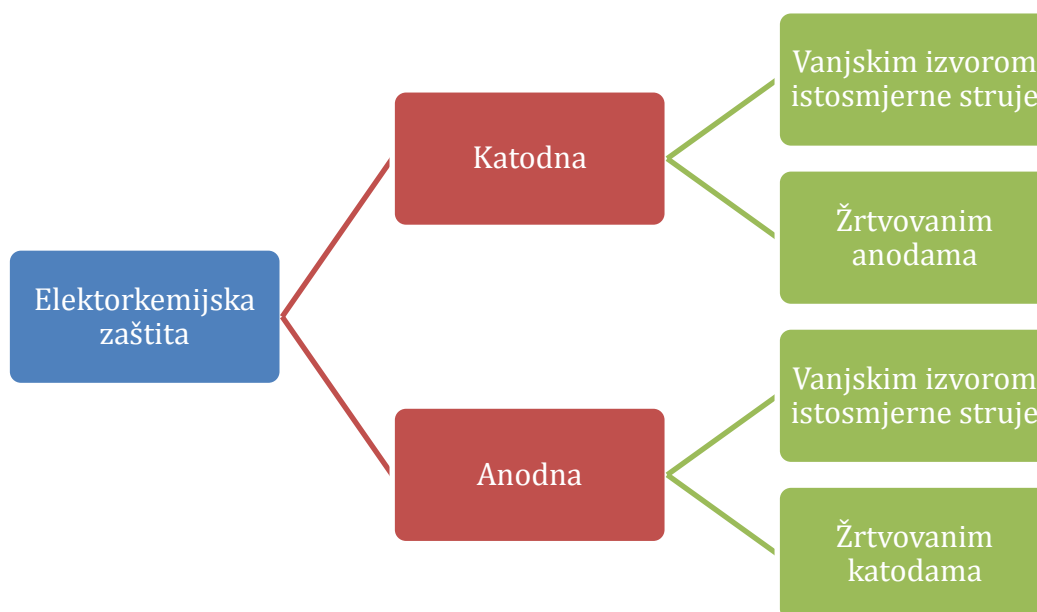
Slika 5.26 Primjena inhibitora za zaštitu električnih kontakata [55]



Slika 5.27 Zaštita dijelova motora u omotu sa hlapivim inhibitorima [48]

5.5. Električne metode zaštite od korozije

Za zaštitu metalnih konstrukcija koje nisu lako dostupne zbog uronjenosti ili ukopanosti konstrukcije za održavanje premazima kao npr. konstrukcije cjevovoda (naftovodi, plinovodi), kabela, lučkih postrojenja, brodova, rezervoara, armatura u građevinarstvu i sl. koristi se električna zaštita. Temelje elektrokemijske zaštite postavio je 1824. godine Sir Humphry Davy, koji je upotrijebio cink kao zaštitu bakrenih oklopa na drvenim trupovima ratnih brodova u morskoj vodi. [1]



Slika 5.28 Podjela elektrokemijskih postupaka zaštite

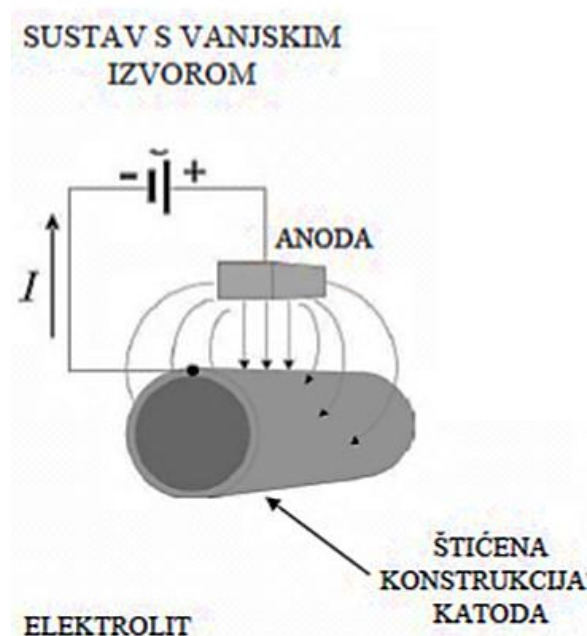
Upravo zbog mogućnosti nastanka korozije koristimo anodnu i katodnu zaštitu da bi spriječili oštećenje materijala. Metode se temelje na održavanju metala u pasivnom stanju (u području potencijala pasivacije) ili u imunom stanju (pri potencijalima nižim od stacionarnih) kada ne korodira.

Najznačajnija metoda zaštite u elektrolitima je katodna zaštita. Uz zaštitu premazima, katodna je zaštita najčešća metoda zaštite od korozije ukopanih i uronjenih konstrukcija. Metal u elektrolitu neće korodirati ako mu se potencijal negativira do ravnotežnog potencijala anoda korozijskih članaka. Katodna zaštita se temelji na usporavanju korozije katodnom polarizacijom metala tj. pomakom elektrokemijskog potencijala metala u negativnom smjeru. [1,4]

U praksi se upotrebljavaju dva načina katodne zaštite:

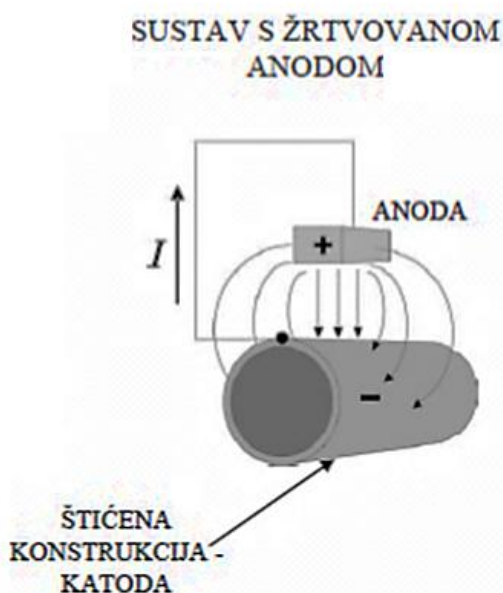
- a) Katodna zaštita u kojoj je zaštićeni predmet katodno polariziran djelovanjem vanjskog izvora istosmjerne struje
- b) Katodna zaštita u kojoj se katodna polarizacija ostvaruje kontaktom zaštićenog metala s neplemenitijim metalom – žrtvovanom anodom (protektorom)

Kada predmet želimo katodno zaštititi djelovanjem vanjskog izvora istosmjerne struje, tada preko ispravljača konstrukciju spajamo na minus pol izvora istosmjerne struje, a pomoćnu anodu na plus pol. Ovisno iz kojeg su materijala napravljene, pomoćne anode mogu biti trajne i potrošne. Trajne se izrađuju od ferosilicija, grafita, ugljena, magnetita, nikla, olova i njegovih legura, platiniranog titana itd., a potrošne najčešće od konstrukcijskog ugljičnog čelika. Djelotvorna zaštita konstrukcijskog čelika postiže se samo ako se konstrukcija polarizira unutar potrebnog potencijala. Ukoliko su potencijali negativniji od potrebnih tada dolazi do prebrzog trošenja anode, a na konstrukciji može doći do vodikove bolesti, ljuštenja organskih prevlaka i razaranja prevlaka. Shema katodne zaštite s vanjskim izvorom struje prikazana je na slici 5.4.2. [2,4,56]



Slika 5.29 Shema katodne zaštite s vanjskim izvorom struje [56]

Kada želimo predmet katodno zaštititi od korozije bez vanjskog izvora struje, tada predmet spajam s neplemenitijim metalom u galvanski članak. U takvom spoju neplemenitiji metal postaje protektor u zaštiti od korozije, odnosno žrtvovana anoda. Anoda se ionizacijom otapa, tj. korodira dajući katione i elektrone koji odlaze na šticevenu konstrukciju. Kod zaštite čeličnih konstrukcija koriste se protektori od Zn, Mg, Al i njihovih legura, dok se za zaštitu Cu i Cu-legura koristi kao protektor gotovo čisto željezo. Anoda nije uvijek u potpunosti u službi zaštite, jer se na njoj također javljaju lokalni korozijski članci koji troše metal i ne daju zaštitnu struju. Protektor se neravnomjernim otapanjem troši i smanjuje mu se ploština, a povećava električni otpor pri čemu protektor ne daje dovoljnu zaštitnu struju. [2,4,56]



Slika 5.30 Shema katodne zaštite s žrtvovanom anodom [56]

Anodna zaštita temelji se na usporavanju korozije anodnom polarizacijom metala tj. pomakom elektrokemijskog potencijala metala u pozitivnom smjeru ili spajanjem sa metalom čiji je elektrokemijski potencijal pozitivniji od potencijala metala koji se zaštićuje. Anodno se zaštićuju nehrđajući čelici, titan, i njegove legure, nikal, kromove prevlake i ugljični čelici u otopinama nitrata i sulfata. Jedan od nedostataka ove metode je visoka cijena opreme, tako da se koristi samo u sustavima gdje nije moguće izvesti neke druge oblike zaštite od korozije. Često se kombinira s emajliranjem kao sekundarna zaštita. Prednosti ove metode su što se struja pasivacije automatski namješta i može se lagano očitati sa potenciostata. [2,4,56]

6. EKSPERIMENTALNI DIO

Ekperimentalni dio rada sastojao se od praćenja procesa antikorozivne zaštite čeličnog transformatorskog kotla. Proces je praćen od pripreme površine za nanošenje prevlaka, samo nanošenje prevlaka i na kraju mjerenje nanesenih prevlaka. Praćenje procesa i izvedena mjerenja napravljena su u tvrtki Komet d.o.o. Prelog. Kotao je rađen za tvrtku Končar-elektroindustrija d.d. Zagreb, a mjesto na kojem će kotao biti instaliran je SAD, Florida. Vrlo je važno poznavati eksploatacijske uvjete poradi pravilne provedbe antikorozivne zaštite. Florida je mjesto specifično upravo po svojim vremenskim uvjetima. Na Floridi vlada tropska klima, najmanja prosječna temperatura je 15,1 °C, dok je najviša prosječna temperatura 31,6 °C. Prosječna količina padalina je 1480 mm, a najkišovitiji mjesec je lipanj s 220 mm kiše.

6.1. Priprema površine- sačmarenje

Čišćenje površine prije završnog postupka antikorozivne zaštite provodi se sačmarenjem. Kvalitetu pripreme površine mlazom abraziva provodi se po normi HRN EN ISO 8501-1:2007, koja definira četiri razreda stanja površine prije pripreme i nakon pripreme. Za energetski kotao firma zahtjeva pripremu površine stupnja Sa 2,5. To je najčešća zahtijevana priprema površine u praksi i time se dobije vrlo temeljito čišćenje mlazom abraziva, što je vidljivo iz tablice.

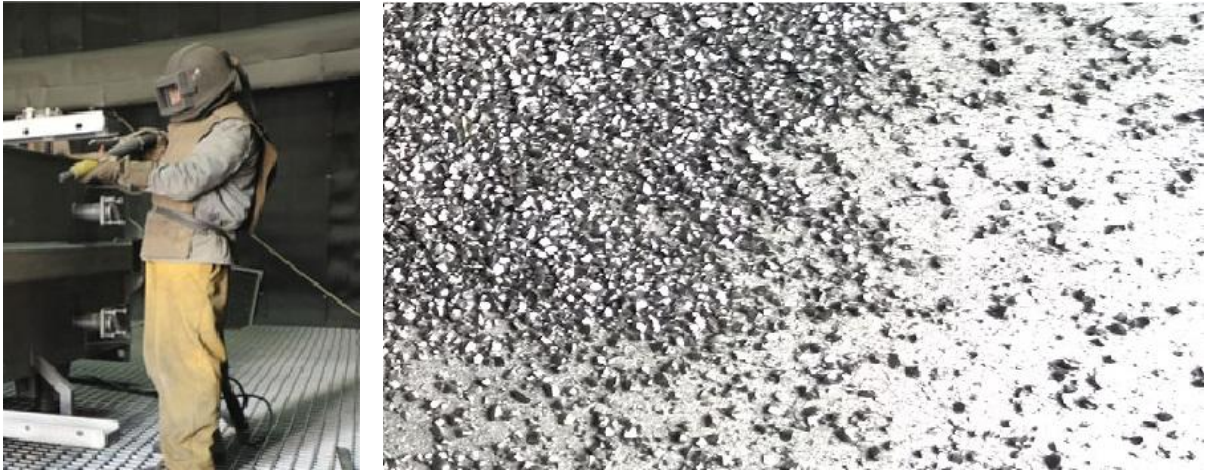
Tabela 6.1 Stupnjevi pripreme površine mlazom abraziva [1]

Sa 1	Lagano čišćenje mlazom abraziva Kad se promatra bez uvećanja, na površini se ne smije vidjeti ulje, masnoća i nečistoće te slabo prijanjajuća okujina, hrđa, premaz ili strano tijelo
Sa 2	Temeljito čišćenje mlazom abraziva Kad se promatra bez uvećanja, na površini se ne smije vidjeti ulje, masnoća i nečistoće te na njoj smije biti prisutan tek neznatna količina okujine, hrđe, premaza ili stranih tijela. Može bitna onečišćenja moraju čvrsto prijanjati uz podlogu
Sa 2,5	Vrlo temeljito čišćenje mlazom abraziva Kad se promatra bez uvećanja, na površini se ne smije vidjeti ulje, masnoća i nečistoće te na njoj ne smije biti prisutne okujine, hrđe, premaza ili stranih tijela. Bilo koji ostali tragovi onečišćenja smiju se pojaviti u obliku laganih mrlja, pruge ili pjege.
Sa 3	Čišćenje mlazom abraziva do čistog čelika Kad se promatra bez uvećanja, na površini se ne smije vidjeti ulje, masnoća i nečistoća te na njoj ne smije biti prisutne okujine, hrđe, premaza ili stranih tijela. Površina mora imati jednoobraznu metalnu boju.



Slika 6.1 Izgled površine prije sačmarenja

Kotao ide na sačmarenje i sačmari se sačmom približne granulacije 0,4 mm. Prije samog postupka sačmarenja potrebno je zaštititi mjesta već izrađenih navoja plastičnim čepovima kako ne bi došlo do oštećenja navoja. Sačmarenje se provodi ručno i u zatvorenoj prostoriji može biti samo jedan radnik koji mora biti propisno obučen.



Slika 6.2 Propisano obučen radnik (lijevo) i izgled sačme (desno)

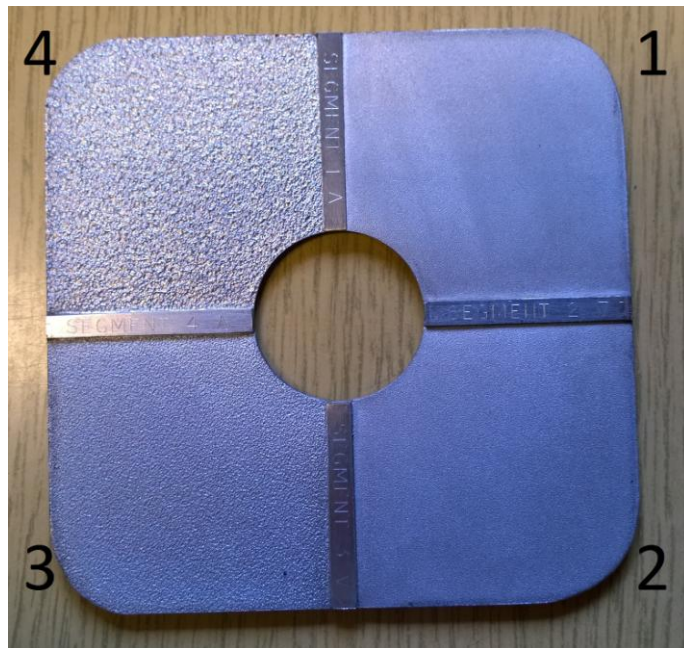


Slika 6.3 Kotao u postupku sačmarenja



Slika 6.4 Izgled površine nakon sačmarenja, stupanj Sa 2,5

Kontrola sačmarenja, odnosno ispravno dobivene zahtijevane kvalitete površine provodi se vizualno pomoću umjerene i ispitane pločice na kojoj su prikazana četiri segmenta. Segment 1 i segment 2 dobivaju se pomoću pjeskarenja, a segment 3 i 4 pomoću sačmarenja. Sačmarenjem Sa 2,5 dobije se izgled segmenta 3 i hrapavost površine 40-50 μm .



Slika 6.5 Pločica za kontrolu sačmarenja

6.2. Nanošenje premaza- farbanje

Nakon sačmarenja kotao se stavlja na transportna kolica i odvozi se u lakirnicu. Poslije sačmarenja svi proizvodi se odvoze u lakirnicu ili pod krov kako ne bi došlo do ponovne korozije i nepotrebnog ponovnog postupka predobrade. Nakon što se kotao dovezao u lakirnicu potrebno je zaštititi mjesta na kojima se naknadno radi zavarivanje poklopca ili mjesta kao što su otvoreni prozori ili navoji. Ta mjesta se ne farbaju. Zaštićuje se najlonima, papirima, papirnatim trakama ili čepovima.



Slika 6.6 Zaštita dijelova

Prije nanošenja temeljnog premaza površina mora biti čista, suha, bez masnoća i ostalih nečistoća. Stoga se prije samog nanošenja temeljnog sloja provodi usisavanje abraziva i grubo otprašivanje. Ukoliko postoji mjesto popravka provodi se hrapavljenje mjesta popravka metala ručnim brušenjem. Zatim slijedi fino ispuhivanje zrakom pomoću zraka iz kompresorskog pištolja. Time se odstranjuje prah i razne nečistoće koje su se mogle pojaviti poslije sačmarenja i podiže se razina prionjivosti temeljnog premaza. Prije premazivanja slijedi i vizualni pregled očišćene površine.



Slika 6.7 Ispuhivanje zrakom

Za miješanje boje koristi se strojni alat, miješalica. Zatim se nakon miješanja boje dodaje razrjeđivač i ponovno se sve zajedno promiješa dok se ne dobije homogena smjesa. Razrjeđivač se dodaje u udjelu od 10 %. Kontrola viskoznosti provodi se viskozimetrom. Viskozimetar ima oblik čašice koja se napuni bojom te se mjeri vrijeme potrebno za istjecanje boje. Time se određuje viskoznost, a nerijetko se događa da majstori mjere viskoznost prelijevanjem boje, te otprilike znaju koja je viskoznost potrebna. Viskoznost je vrlo bitna zbog sprječavanja curenja boje s vertikalne površine. Ostatak boje se zatvori, pogotovo u toplijim vremenskim uvjetima jer može doći do površinskog koženja zbog visokih temperatura. Kod naknadnog miješanja treba obratiti pozornost na nastalu pojavu kožice te je ukloniti. Pretakanje iz kante u kantu ili korištenje pomoćnih alata (komadi drva, metalne šipke i slično) ne smatra se pravilnim miješanjem boje, jer se u većini slučajeva sadržaj komponenti dobro ne izhomogenizira, pa mogu nastati problemi u sušenju i izgledu nijanse koja je bitna kod završnih premaza. Boja se prije korištenja prelijeva preko sita kako bi se uklonile možebitne nečistoće koje se nalaze u kanti.



Slika 6.8 Prelijevanje boje preko sita

Prije nanošenja svakog premaza potrebno je izmjeriti klimatske uvjete koji utječu na kvalitetu nanesenog premaza:

- temperatura zraka
- temperatura podloge
- relativna vlaga (ovisno o tipu premaza – maksimalno do 85%)

Najprije se premazuje unutrašnja strana kotla. U unutrašnjost ide jedan premaz i to uljootporni premaz, jer će u kotlu biti smješteno ulje. Premaz se nanosi valjcima, četkama i pištoljem za špricanje. Najprije se flekaju teško dostupna mjesta. Zatim se pištoljem nanosi tzv. magla na površinu. Nakon nanosene magle ide se na završno špricanje pri kojem se zalije cijela površina. Špricanje se provodi ručno s udaljenosti od nekih 80 cm i konstantnim pokretima lijevo desno.

Nakon što se nanese premaz na unutrašnjoj strani kotla. Kotao ide na sušenje u električnu peć. Peć se zagrije na 70 °C i suši se 180 minuta. Zatim se Kotao opet vraća u lakirnicu.



Slika 6.9 Mješanje boje, flekanje, špricanje

Nakon što se kotao vratio u lakirnicu, ispituje se debljina nanesenog sloja. Mjerenje se provodi mjernim instrumentom, tj. elektro-magnetskim mjeračem koji radi na principu privlačnih sila između permanentnog magneta i magnetske metalne podloge koje su obrnuto proporcionalne s udaljenošću među njima. Mjerenje se provodi na ukupno 60 mjesta u unutrašnjosti kotla. Četrdeset mjesta ispitivanja su na ravnim površinama, te dvadeset na teško dostupnim mjestima. Potrebna debljina premaza je 40 μm . Najmanja izmjerena debljina iznosi 62 μm , a najveća 115 μm .



Slika 6.10 Mjerenje debljine suhog filma

U tablici su prikazani detaljniji podaci o uvjetima nanošenja, sušenju i ispitivanju uljootpornog premaza.

Tabela 6.2 Podaci o uljootpornom premazu

Sustav: Transformatorski kotao	Unutrašnje površine
Uljootporni premaz	62÷115μm
Proizvođač	CHING
Naziv boje	EMC 182 K-DB grund besch EP+ Harter M038
Razrjeđivač	EM 01
RAL	9010
Način nanošenja	Špricanje Četka/valjak
Temperatura okoline	22 °C
Relativna vlažnost	59%
Viskozitet	22
Način sušenja	Peć
Temperatura sušenja	70 °C
Vrijeme sušenja	3 h

Kotao se nakon ispitivanja okreće naopačke i kreće se sa nanošenjem temeljnog sloja. Za temeljni premaz koristi se epoksidna dvokomponentna boja od cinka. Da bi se osigurala dobra antikorozivna zaštita minimalni sloj mora iznositi 40 μm . Premaz od cinka koristi se u agresivnom okruženju, potrekomejskoj industriji, papirnatopj industriji, kod zaštite mostova i u elektranama. Temeljna boja se također razrjeđuje sa 10% razrjeđivača.



Slika 6.11 Izgled površine nakon nanesenog temeljnog sloja

Nakon nanošenja temeljnog sloja, slijedi sušenje u peći na 70 °C 3 sata. Vrijeme potrebno za sušenje se razlikuje u ljetnim mjesecima i zimskim mjesecima. Ljeti kada je vani vruće potrebno vrijeme sušenja je sat i pol, a zimi je potrebno 3 sata kako bi se boja do kraja posušila. Ukoliko se boja do kraja ne posuši, nakon nekog vremena dolazi do pucanja i ljuštenja. Stoga je potrebno da se svaki sljedeći premaz nanosi na suhu površinu.

Tabela 6.3 Podaci o temeljnom sloju

Sustav: Transformatorski kotao	Vanjske površine
Temeljni sloj	63÷118μm
Proizvođač	INTERNATIONAL
Naziv boje	INTERZINC 52+ HARTER INTERZINC 52
Razrjeđivač	GTA 220
RAL	9010
Način nanošenja	Špricanje Četka/valjak
Temperatura okoline	22 °C
Relativna vlažnost	59%
Viskozitet	22
Način sušenja	peć
Temperatura sušenja	70 °C
Vrijeme sušenja	3h

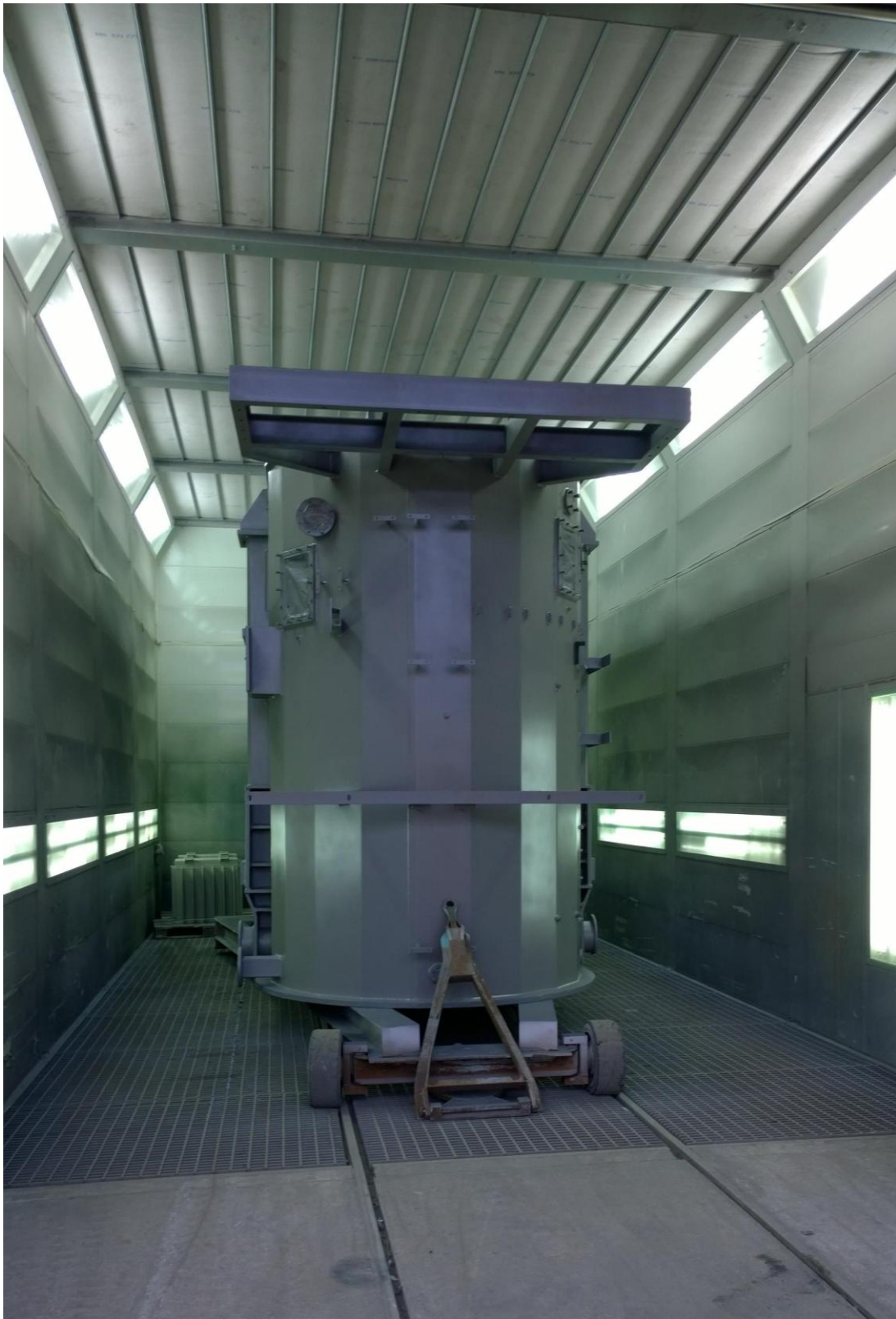
Slijedi premazivanje međuslojom. Za međusloj se koristi epoksidna boja. Debljina međusloja iznosi između 60 i 120 μm. Također se prvo flekaju teško dostupna mjesta četkama i valjcima. Zatim se prvo nanosi magla pomoću pištolja, a zatim se cijeli zalije.



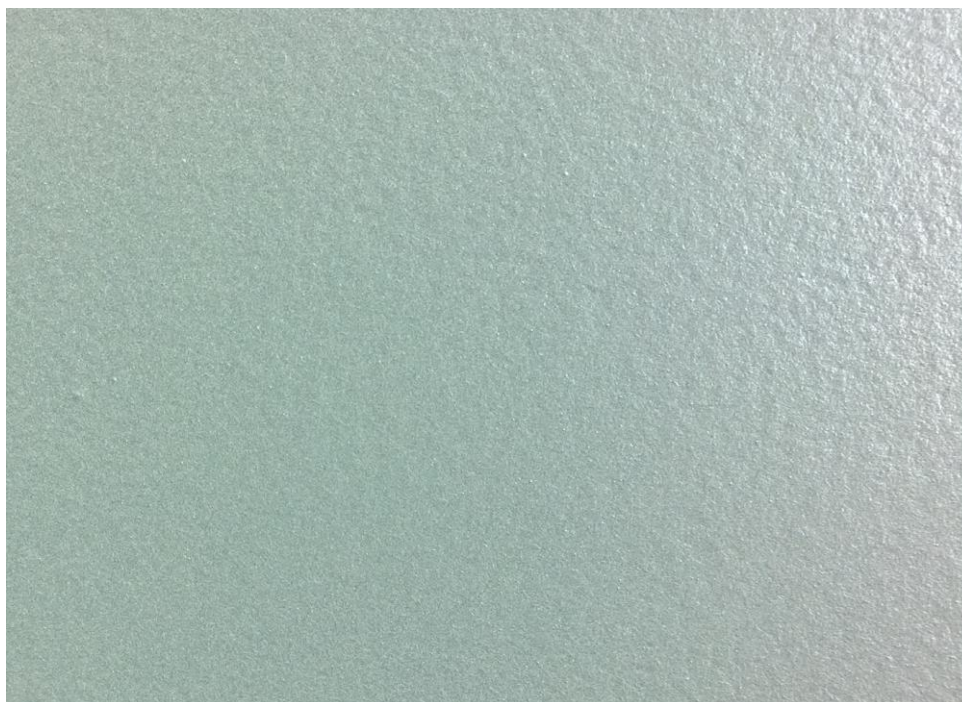
Slika 6.12 Nanošenje međusloja



Slika 6.13 Postavljanje temperature za sušenje

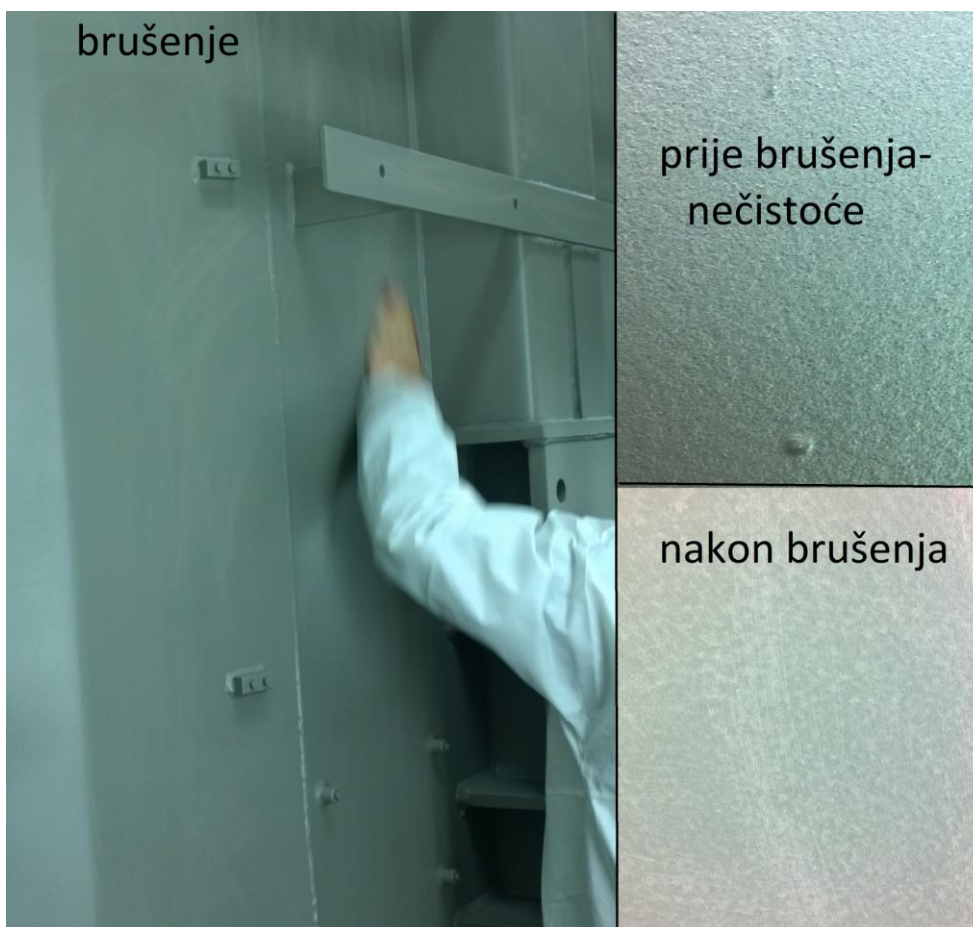


Slika 6.14 Kotao u peći za sušenje



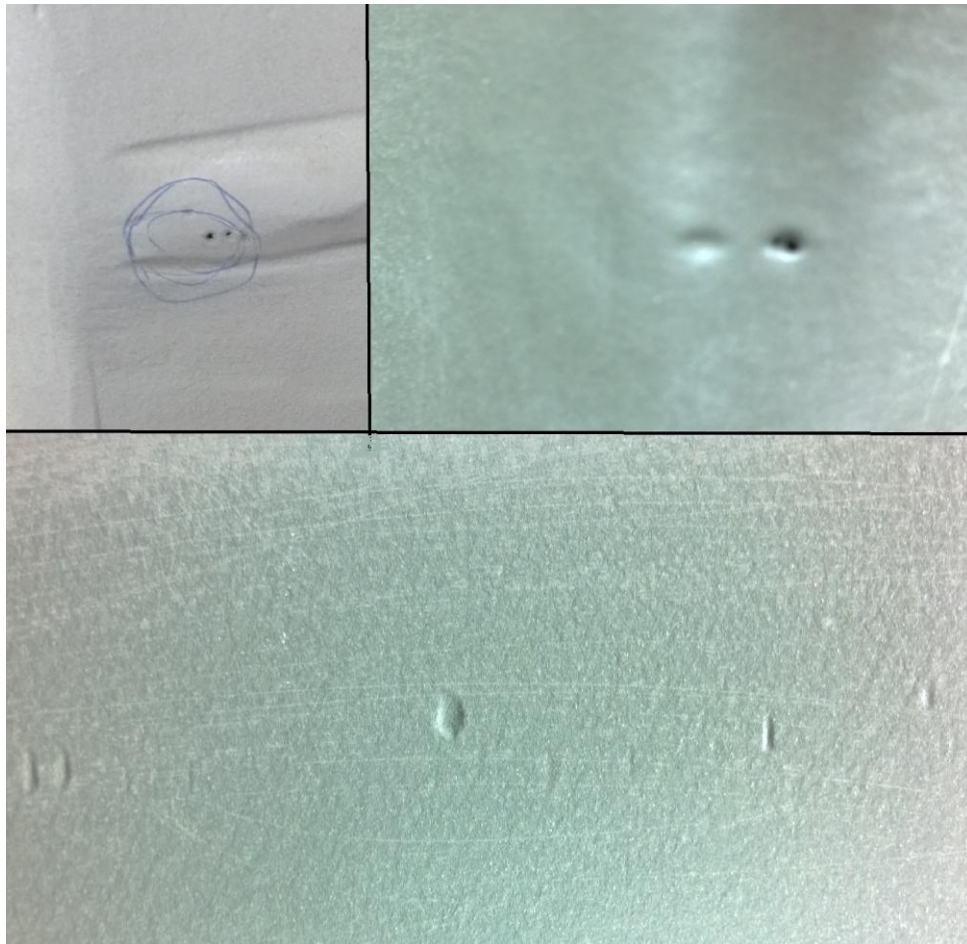
Slika 6.15 Međusloj nakon sušenja

Nakon sušenja međusloja slijedi brušenje brusnim papirom. Brušenjem se samo površinski odstrane prljavština i mjesta na kojima se desilo curenje boje.



Slika 6.16 Priprema za lakiranje- brušenje

Poslije brušenja provodi se vizualna kontrola. Vizualnom kontrolom otkrila su se mjesta malih neravnina i rupica. Rupice se obavezno moraju popravljati, jer na tim mjestima jako brzo dolazi do korozije koja se zatim može i brzo proširiti.



Slika 6.17 Uočene greške na površini kotla

Popravak se vrši kitanjem autokitom uz dodatak komponente kako bi se kit stvrdnuo. Veće neravnine koje su nastale na zavarenom spoju ne preporučuje se popravljati zbog toga što je potrebno nanijeti veliku količinu kita. Kada bi došlo do većeg udaranja po tom mjestu, kit bi pao dolje i to bi bilo mjesto početka nastanka korozije. Prije lakiranja se na mjesto popravka nanosi temeljna boja i međusloj.



Slika 6.18 Popravljanje grešaka kitom

Tabela 6.4 Podaci o međusloju

Sustav: Transformatorski kotao	Vanjske površine
Međusloj	63÷118μm
Proizvođač	INTERNATIONAL
Naziv boje	INTERGARD 475 HS+ HARTER INTERGARD 47HS
Razrjeđivač	GTA 007
RAL	
Način nanošenja	Špricanje Četka/valjak
Temperatura okoline	21 °C
Relativna vlažnost	61%
Viskozitet	22
Način sušenja	peć
Temperatura sušenja	70 °C
Vrijeme sušenja	2 h

Nakon popravka greški, slijedi završno lakiranje. Prije lakiranja radnik provodi ispitivanje debljine prije nanesenih slojeva kako bi znao gdje je potrebno nanijeti više laka. Pokrivni lak je poliuretanska boja. Debljina nanesenog sloja kreće se oko 80 μm. Nakon lakiranja kotao također ide u peć gdje se suši 3 sata na 70 °C.



Slika 6.19 Kontrola debljine prethodno nanesenih sloja prije lakiranja



Slika 6.20 Izgled površine gotovog kotla

6.3. Ispitivanje debljine nanesenog premaza

Završno ispitivanje provodi se kako bi se utvrdila konačna debljina suhog premaza. Provodi se vizualno uz uvjete:

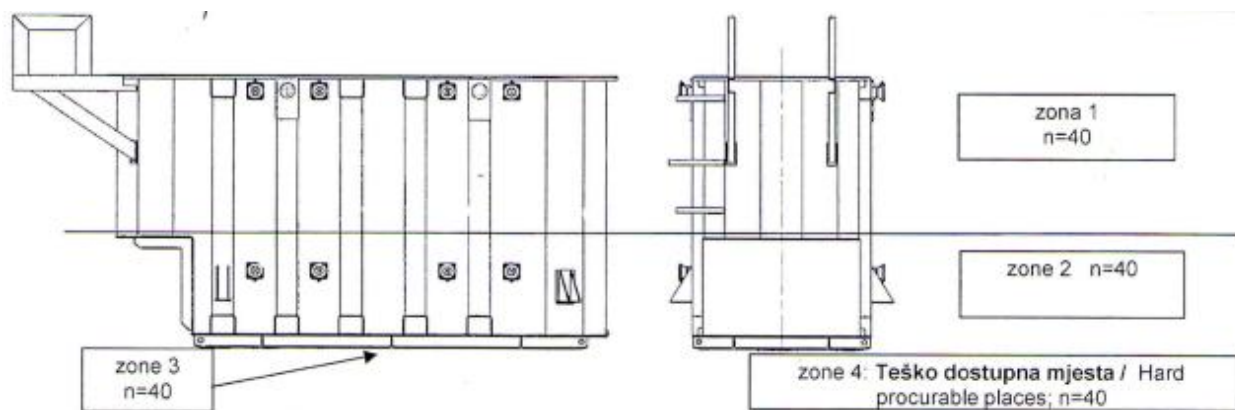
- površina mora biti bez nanosa nastalih procurivanjem
- na površini ne smiju postojati dijelovi koji su nebojani
- površina mora biti bez defekata mjehuranja
- površina mora biti bez raspuklina filma
- premazani film ne smije se ljuštiti ili guliti od podloge ili prethodnog premaza

Mjerenje se još provodi i mjernim instrumentom, tj. elektro-magnetskim mjerачem koji radi na principu privlačnih sila između permanentnog magneta i magnetične metalne podloge koje su obrnuto proporcionalne s udaljenošću među njima. Uređaj se prije završnog ispitivanja mora kalibrirati na površini gdje će se izvršiti nanošenje premaza na donju granicu „0“ te nakon toga preko etalona poznate debljine. Kalibriranje se provodi tako da se na metalnu pločicu stavi listić poznate debljine te se mjeri da li instrument kaže točnu debljinu kao što je listić.



Slika 6.21 Kalibriranje prije završnog ispitivanja

Završno mjerenje vanjske debljine nanesenog premaza provodi se s ukupno 160 mjerenja. Postoje 4 zone mjerenja kako je prikazano dolje na slici i u svakoj zoni postoje 40 mjerenja. Aparat bilježi sva mjerenja, te prikazuje najveću izmjerenu veličinu, najmanju izmjerenu veličinu i srednju veličinu. Tražena debljina nanesenog premaza je 320 μm .



Slika 6.22 Nacrt kotla koji prikazuje zone potrebnih ispitivanja

U tablici su prikazane izmjerene debljine po zonama. Prikazana je najmanja, najveća i srednja debljina.

Tabela 6.5 Debljine nanesenih premaza po zonama

Tražena debljina: 320 μm											
Izmjerena debljina nanosa											
Zona 1			Zona 2			Zona 3			Zona 4		
x	362	μm	x	380	μm	x	395	μm	x	412	μm
x_{min}	321	μm	x_{min}	336	μm	x_{min}	343	μm	x_{min}	322	μm
x_{max}	414	μm	x_{max}	602	μm	x_{max}	642	μm	x_{max}	584	μm



Slika 6.23 Izgled gotovog kotla

Nakon provedenog mjerenja prosječna debljina sloja iznosi 382 μm , što je dosta više od tražene. Dobivena debljina sloja je povoljna za kupca, ali nije za tvrtku. Analizom potrošnje boje u mjesecima listopadu, kolovozu i rujnu vidljivo je da tvrtka ima velike probleme s viškovima nanesenih premaza. Višak premaza u mjesecu kolovozu je gotovo 70% od potrebnog, a u mjesecu listopadu je oko 50% više od potrebnog.

Tabela 6.6 Analiza potrošnje boje u mjesecu listopadu

Analiza potrošnje boje 9 projekata- listopad 2015							
PROJEKT	TRAŽENA DEBLJINA	IZMJERENA DEBLJINA			PROSJEK UKUPNO	RAZLIKA UKUPNO	POSTOTAK VIŠKA
		KOATO	POKLOPAC	KONZERVATOR			
N8078-102	220	283	364	327	325	105	48%
N8078-101	220	286	409	280	325	105	48%
N7931-104	320	444	415	399	419	99	31%
N7825-108	200	315	384	297	332	132	66%
N8078-106	200	299	351	200	283	83	42%
N8078-107	220	334	351	382	356	136	62%
N8078-108	220	401	390	405	399	179	81%
N8078-109	140	204	236	203	214	74	53%
N8079-103	220	297	355	292	315	95	43%
PROSJEK VIŠKA UKUPNO							53%

Tabela 6.7 Analiza potrošnje boje u mjesecu kolovozu

Analiza potrošnje boje 9 projekata- kolovoz 2015							
PROJEKT	TRAŽENA DEBLJINA	IZMJERENA DEBLJINA			PROSJEK UKUPNO	RAZLIKA UKUPNO	POSTOTAK VIŠKA
		KOATO	POKLOPAC	KONZERVATOR			
N7932-101	240	330	308	279	306	66	27%
N7896-102	240	347	325	303	325	85	35%
N7992-101	100	221	257	292	257	157	157%
N7826-103	140	262	284	277	274	134	96%
N8012-104	140	272	260	231	254	114	82%
N8013-109	160	322	322	347	330	170	106%
N8014-111	320	466	417	423	435	115	36%
N8022-106	320	413	393	535	447	127	40%
N8078-102	320	431	472	457	533	134	42%
PROSJEK VIŠKA UKUPNO							69%

Za antikorozivnu zaštitu čeličnog transformatorskog kotla težine 12 tona, bilo je potrebno oko 30 radnih sati. Utrošeno je 90 litara zaštitnog premaza, a nanoseno je u prosjeku 382 μm . Garancija da u predviđenim eksploatacijskim uvjetima neće korodirati je 5 godina.

7. Zaključak

Korozija od davnih vremena čovječanstvu predstavlja veliki problem. Korozija je krivac za mnogobrojne nesreće i ekološke katastrofe u svijetu. Proces je to koji je sveprisutan i na koji se odvaja velika količina novca. Upravo zbog tolike štetnosti i gubitaka istražuju se i usavršavaju različite metode zaštite od korozije kao što su npr. zaštita premazima koja je jedna od osnovnih vrsta zaštite materijala i koristi se kod 75% svih konstrukcija, zatim zaštita inhibitorima, električne metode zaštite, zaštita pravilnim odabirom materijala, različita konstrukcijska i tehnološka rješenja za zaštitu materijala. Koroziju je nemoguće spriječiti i koliko god se vodilo računa o izboru materijala i određenim vrstama zaštite od korozije, svejedno s vremenom dolazi do korodiranja i uništavanja materijala jer korozija se najčešće samo usporava. Tako ako koroziju na vrijeme uočimo i saniramo biti će manje posljedice nego ako se to dogodi u nekoj fazi kada je materijal već potpuno uništen i treba ga zamijeniti. Prema tome, s ciljem učinkovite zaštite od korozije potrebno je pažljivo uzimati u obzir vrstu materijala, njegovu primjenu u različitim vrstama medija i naravno voditi računa o kvalitetnoj zaštiti i održavanju kako bismo mogli konstrukcije što jednostavnije i jeftinije održavati, što se posebno odnosi na one izrađene od nelegiranih čelika. Različite prevlake nanose se na površinu metala ne samo zbog zaštite od korozije već i u svrhu poboljšanja tvrdoće, električne vodljivosti, u dekorativne svrhe i sl.

Najzastupljenija i najvažnija metoda zaštite strojarskih konstrukcija od korozije je zaštita primjenom premaza. Zaštita primjenom premaza vrlo je zahtjevna, a tržište nam pruža vrlo velike mogućnosti odabira različitih vrsta i sustava premaza. Prilikom odabira je potrebno voditi računa o namjeni konstrukcije i uvjetima eksploatacije. Međutim, i najpomnijim odabirom najskupljeg i najkvalitetnijeg sustava premaza neće se postići očekivani rezultat zaštite ako se priprema površine dovoljno kvalitetno ne izvede. Zbog ekoloških zahtjeva danas se sve više upotrebljavaju vodorazrjedivi premazi. Vrlo je važno da se konstrukcija zaštiti pravilnom metodom s obzirom na uvjete u kojima će biti izložena, te da se ta metoda provede na odgovarajući način. Time produžujemo vijek konstrukcije, smanjujemo rizik od nesreće, štedimo velika financijska sredstva i pozitivno utječemo na okoliš.

Varaždin, 18. svibanj 2016.

Dino Koren

8. Literatura

- [1] I. Juraga, V. Alar, I. Stojanović: Korozija i zaštita premazima, FSB, Zagreb, 2014.
- [2] I. Esih: Osnove površinske zaštite, FSB, Zagreb, 2010
- [3]https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/TKM_02.predavanje_Mehanizam_korozije_metala.pdf, dostupno 02.07.2015.
- [4] I. Esih, Z. Dugi: Tehnologija zaštite od korozije, Školska knjiga, Zagreb, 1990.
- [5] <http://dod.nace.org/> , dostupno 02.07.2015.
- [6] <http://www.corrosioncost.com/> , dostupno 02.07.2015.
- [7] I. Stojanović: Utjecaj tehnoloških parametara na zaštitu svojstava vodorazrjedivih premaza, Doktorski rad, FSB, Zagreb, 2010.
- [8] Predavanje, Tehnologija III, prof. Horvat
- [9] <http://documents.tips/documents/vrste-korozije.html>, dostupno 13.07.2015.
- [10] V. Alar, V. Šimunović, I. Juraga: Teorijske osnove korozijskih procesa i metode zaštite, Zagreb, 2012.
- [11] http://www.pfst.unist.hr/uploads/KZMpredavanje_2.ppt, dostupno 13.07.2015.
- [12]<http://bs.scribd.com/doc/219168839/Kotlovski-Materijali-i-Opterecenja>, dostupno 13.07.2015.
- [13]<http://www.amasci.net/knowledge/physical-and-chemical-properties.php?lang=hrv>, dostupno 20.07.2015.
- [14] <http://sciencenetlinks.com/lessons/the-transfer-of-energy-3/>, dostupno 21.07.2015.
- [15] www.pfst.unist.hr/uploads/OBvjezbe_3korozija.ppt, dostupno 21.07.2015.
- [16] https://hr.wikipedia.org/wiki/Elektrokemijska_korozija, dostupno 21.07.2015.
- [17] http://eskola.chem.pmf.hr/udzbenik/web_Sikirica/index.htm , dostupno 21.07.2015.
- [18] Predavanje, Tehnologija III, prof. Horvat
- [19]www.pfst.unist.hr/uploads/OBvjezbe_2elektrokemijska%20korozija.ppt, dostupno 21.07.2015.
- [20] fanzo.org/forum/download/file.php?id=34023, dostupno 21.07.2015.
- [21] <http://metalcorrosion.blogspot.hr/2010/11/differential-aeration-corrosion.html>, dostupno 25.07.2015.
- [22] <http://xapps.xyleminc.com/Crest.Grindex/help/grindex/contents/Metals.htm>, dostupno 25.07.2015.
- [23][http://www.bladeforums.com/forums/showthread.php/1026109-SURVIVE!-GSO-10-initial-review-with-photos-\(warning-pic-heavy\)/page2](http://www.bladeforums.com/forums/showthread.php/1026109-SURVIVE!-GSO-10-initial-review-with-photos-(warning-pic-heavy)/page2), dostupno 25.07.2015.
- [24] <http://www.fiberneering.com/nl/composites.html>, dostupno 25.07.2015.

- [25] <http://www.materialsperformance.com/articles/corrosion-basics/2008/february/forms-of-corrosion>, dostupno 26.07.2015.
- [26] <http://documents.tips/download/link/zastita-materijala>, dostupno 26.07.2015.
- [27] V. Čabraja: Elektrokemijski korozijski postupci na nelegiranim konstrukcijskim čelicima, Diplomski rad, FSB, Zagreb, 2012., dostupno 04.08.2015.
- [28] <httpswww.scribd.comdoc88536712VRSTE-KOROZIJE>, dostupno 04.08.2015.
- [29] https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/TKM_02.predavanje_Mehanizam_korozije_metala.pdf, dostupno 04.08.2015.
- [30] <http://www.termarust.com/resources/tp1.php>, dostupno 04.08.2015.
- [31] <http://www.oceanmarinesurveys.co.uk/through-hull-fittings/>, dostupno 04.08.2015.
- [32] <http://archive.constantcontact.com/fs183/1102968923619/archive/1111673141894.html>, dostupno 11.09.2015.
- [33] <https://degradationeng.wordpress.com/2014/10/23/forms-of-corrosion/>, dostupno 11.09.2015.
- [34] Horvat M., Samardžić I., Kondić V. : Napetosna korozija, tehnički glasnik, 2011.
- [35] https://www.fsb.unizg.hr/usb_frontend/files/1333523750-0-im6_korozija_12.pdf, dostupno 23.09.2015.
- [36] http://www.safebraking.com/wp-content/uploads/2012/09/IMG_9382.jpg, dostupno 24.09.2015.
- [37] http://www.steelconstruction.info/File:Detailing_-_Buildings.png, dostupno 24.09.2015.
- [38] <http://faculty.kfupm.edu.sa/ME/hussaini/Corrosion%20Engineering/08.07.01.htm>, dostupno 28.09.2015.
- [39] <http://www.fgg.uni-lj.si/~pmoze/esdep/master/wg18/10300.htm>, dostupno 04.10.2015.
- [40] E. Stupnišek-Lisac: Korozija i zaštita konstrukcijskih materijala, Zagreb, 2007.
- [41] http://www.fkit.unizg.hr/_download/repository/kio-ei8.pdf, dostupno 04.10.2015.
- [42] <http://www.musclecardiy.com/bodywork/automotive-bodywork-how-to-clean-model-and-cut-sheetmetal/>, dostupno 05.10.2015.
- [43] <http://www.graco.com/us/en/products/application/abrasive-blasting.html>, dostupno 22.10.2015.
- [44] http://www.racio.co.rs/celicna_sacma.html, dostupno 25.10.2015.
- [45] <http://celplast.hr/index.php/hr/proizvodi>, dostupno 25.10.2015.
- [46] http://www.pfst.unist.hr/uploads/KZMpredavanje_9.ppt, dostupno 04.11.2015.
- [47] <http://www.cincaonahelena.hr/>, dostupno 04.11.2015.

- [48] H. Belov: Primjena inhibitora korozije kod tehnologije obrade odvajanjem čestica, Diplomski rad, FSB, Zagreb, 2009.
- [49] <http://www.rollertehnik.si/pu-obnova-valjaka-i-kotaca.html>, dostupno 24.11.2015.
- [50] <http://viking.hr/plastifikacija>, dostupno 18.12.2015.
- [51] https://tkojetko.irb.hr/documents/8305_1659.pdf, dostupno 18.12.2015.
- [52] D. Babić: Organski premazi na nehrñajućim čelicima, Završni rad, FSB, Zagreb 2009.
- [53] I. Matasić: Zaštitni premazi s visokim udjelom cinka, Diplomski rad, FSB, Zagreb, 2015.
- [54] <http://www.boje-lakovi.com/index.php/alati-pribor>, dostupno 18.12.2015.
- [55] I. Juraga, V. Šimunović, I. Stojanović: Primjena inhibitora u zaštiti od korozije u brodogradnji, FSB, Zagreb, 2006.
- [56] T. Levanić: Zaštita konstrukcija od korozije primjenom premaza, Diplomski rad, FSB, Zagreb, 2009.

Popis slika

Slika 1.1 Korozijski ciklus [3].....	1
Slika 2.1 Troškovi korozije u SAD-u [6]	5
Slika 3.1 Odnos unutarnjih i vanjskih čimbenika [2]	7
Slika 4.1 Klasifikacija prema geometrijskom obliku korozijskog razaranja [10]	11
Slika 4.2 Utjecaj temperature na stvaranje okujine [1]	13
Slika 4.3 Primjer visokotemperaturne kemijske (plinske) korozije [12].....	14
Slika 4.4 Primjer kemijske korozije vanjske ograde [13].....	14
Slika 4.5 Primjer kemijske korozije starog automobila [14]	14
Slika 4.6 Elementi bez kojih nema elektrokemijske korozije [15].....	15
Slika 4.7 Primjer elektrokemijske korozije metala [16]	16
Slika 4.8 Izgled novih željeznih čavala nakon 7 dana stajanja.....	17
Slika 4.9 Stvaranje galvanskog članka [15].....	18
Slika 4.10 Primjer opće korozije pumpe od ljevanog željeza [22]	21
Slika 4.11 Vrste lokalne korozije: a) pjegasta, b) rupičasta, c) kontaktna, d) potpovršinska ;.....	21
Slika 4.12 Primjer pjegaste korozije na oštrici noža [23].....	22
Slika 4.13 Primjer rupičaste korozije- probušeni cjevovod[24]	23
Slika 4.14 Primjer potpovršinske korozije- listanje [25].....	23
Slika 4.15 Primjer galvanske korozije [22,26]	24
Slika 4.16 Korozija u procijepu između dva jednaka metala nastala na konstrukciji mosta [30] .	25
Slika 4.17 Uslijed decinkacije mjedi dolazi do puknuća ventila [31]	26
Slika 4.18 Tamne mrlje na vanjskoj strani cijevi predstavljaju oblik korozije specifične za lijevano željezo poznato kao grafitizacija sivog lijeva [32]	26
Slika 4.19 Primjer interkristalne korozije [33]	27
Slika 4.20 Primjer napetosne korozije ugljičnog čelika [34].....	28
Slika 4.21 Primjer napetosne korozije ugljičnog čelika u zoni zavarenog spoja [34].....	28
Slika 4.22 Primjer napetosne korozije čahure streljiva [34].....	29
Slika 4.23 Primjer principa termogalvanske korozije [9].....	30
Slika 4.24 Primjer erozijske korozije unutarnje stjenke bakrenog cjevovoda [35]	30
Slika 4.25 Primjer kavitacijske korozije krila brodskog vijka [35]	31
Slika 4.26 Primjer korozije uzrokovane trenjem kod automobilskih kočnica[36].....	31
Slika 5.1 Primjeri dobrog i lošeg pozicioniranja pogona [1].....	34
Slika 5.2 Primjeri lošeg i dobrog konstrukcijskog rješenja [1,37,38]	36
Slika 5.3 Primjeri lošeg i dobrog konstrukcijskog rješenja [39]	37

Slika 5.4 Odmašćivanje visokotlačnim prskanjem.....	39
Slika 5.5 Ručno brušenje pomoću kutne brusilice [42].....	41
Slika 5.6 Postupak pjeskarenja [43]	42
Slika 5.7 Uređaj za ručno sačmarenje (lijevo) i neke vrste sačme (desno) [43].....	42
Slika 5.8 Ručne i strojne četke [45].....	43
Slika 5.9 Galvanizacijski postupak [46]	45
Slika 5.10 Shema postupka vrućeg uranjanja [46]	46
Slika 5.11 Primjer vrućeg pocinčavanja [47]	47
Slika 5.12 Pojednostavljeni prikaz metalizacijskog prskanja [46]	48
Slika 5.13 Gumirani proizvodi (valjak i kotač)[49]	50
Slika 5.14 Postupak plastificiranja metala [50]	51
Slika 5.15 Izgled tkanine za bitumenizaciju i postupak bitumeniziranja lijepljenjem [51]	52
Slika 5.16 Sustav premaza [1]	53
Slika 5.17 Četka za bojanje [54].....	55
Slika 5.18 Lopatice za nanošenje kitova [54].....	55
Slika 5.19 Valjci za bojanje [54]	56
Slika 5.20 Nanošenje boje prelijevanjem	57
Slika 5.21 Špricanje [53]	57
Slika 5.22 Zaštita metala slabo propusnim omotom i skidanje zaštitne folije s automobila [55]	58
Slika 5.23 Mehanizam djelovanja hlapivog inhibitora korozije [55]	60
Slika 5.24 Primjena inhibitora korozije u vojnoj industriji [55].....	60
Slika 5.25 Privremena zaštita unutrašnjosti cijevi praškastim inhibitorima [55]	61
Slika 5.26 Primjena inhibitora za zaštitu električnih kontakata [55].....	61
Slika 5.27 Zaštita dijelova motora u omotu sa hlapivim inhibitorima [48].....	62
Slika 5.28 Podjela elektrokemijskih postupaka zaštite.....	63
Slika 5.29 Shema katodne zaštite s vanjskim izvorom struje [56]	64
Slika 5.30 Shema katodne zaštite s žrtvovanom anodom [56]	65
Slika 6.1 Izgled površine prije sačmarenja	67
Slika 6.2 Propisano obučeni radnik (lijevo) i izgled sačme (desno).....	68
Slika 6.3 Kotao u postupku sačmarenja.....	68
Slika 6.4 Izgled površine nakon sačmarenja, stupnj Sa 2,5.....	69
Slika 6.5 Pločica za kontrolu sačmarenja	69
Slika 6.6 Zaštita dijelova	70
Slika 6.7 Ispuhivanje zrakom	71

Slika 6.8Preljevanje boje preko sita	72
Slika 6.9 Mješanje boje, flekanje, špricanje	73
Slika 6.10 Mjerenje debljine suhog filma.....	74
Slika 6.11 Izgled površine nakon nanesenog temeljnog sloja	75
Slika 6.12 Nanošenje međusloja.....	77
Slika 6.13 Postavljanje temperature za sušenje	77
Slika 6.14 Kotao u peći za sušenje	78
Slika 6.15 Međusloj nakon sušenja	79
Slika 6.16 Priprema za lakiranje- brušenje	79
Slika 6.17 Uočene greške na površini kotla	80
Slika 6.18 Popravljanje grešaka kitom	81
Slika 6.19 Kontrola debljine prethodno nanesenih sloja prije lakiranja.....	83
Slika 6.20 Izgled površine gotovog kotla	83
Slika 6.21 Kalibriranje prije završnog ispitivanja	84
Slika 6.22 Nacrt kotla koji prikazuje zone potrebnih ispitivanja	85
Slika 6.23 Izgled gotovog kotla.....	86

Popis Tablica

Tabela 3.1 Unutarnji i vanjski čimbenici korozije [4].....	6
Tabela 3.2 Primjenjivost metala s obzirom na prosječnu brzinu prodiranja opće korozije [2]	8
Tabela 4.1 Elektrokemijski naponski niz [18].....	19
Tabela 5.1 Ocjene otpornosti na koroziju [1]	33
Tabela 6.1 Stupnjevi pripreme površine mlazom abraziva [1].....	66
Tabela 6.2 Podaci o uljootpornom premazu	74
Tabela 6.3 Podaci o temeljnom sloju.....	76
Tabela 6.4 Podaci o međusloju.....	82
Tabela 6.5 Debljine nanesenih premaza po zonama.....	85
Tabela 6.6 Analiza potrošnje boje u mjesecu listopadu	87
Tabela 6.7 Analiza potrošnje boje u mjesecu kolovozu	87