

# Priprema površine za zaštitu od korozije prevlačenjem

---

Hohnjec, Maja

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:431148>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-21**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište  
Sjever**

**Završni rad br. 310/PS/2019**

## **Priprema površine za zaštitu od korozije prevlačenjem**

**Maja Hohnjec, 1506/336**

Varaždin, rujan 2019





# Sveučilište Sjever

**Odjel za proizvodno strojarstvo**

**Završni rad br. 310/PS/2019**

## **Priprema površine za zaštitu od korozije prevlačenjem**

**Student**

Maja Hohnjec, 1506/336

**Mentor**

Marko Horvat, dipl. ing. stroj.

Varaždin, rujan 2019. godine



# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za strojarstvo		
STUDIJ	prediplomski stručni studij Proizvodno strojarstvo		
PRISTUPNIK	Maja Hohnjec	MATIČNI BROJ	1506/336
DATUM	23.09.2019.	KOLEGIJ	Tehnologija III
NASLOV RADA	Priprema površine za zaštitu od korozije prevlačenjem		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Surface preparation for corrosion protection by coating		
MENTOR	Marko Horvat, dipl. ing.	ZVANJE	predavač
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. dr. sc. Zlatko Botak, viši predavač		
	2. Marko Horvat, dipl.ing., predavač		
	3. Katarina Pisačić, dipl.ing., viši predavač		
	4. Veljko Kondić, mag. ing. mech., predavač		
	5. _____		

## Zadatak završnog rada

BROJ	310/PS/2019
OPIS	U Završnom radu je potrebno obraditi slijedeća područja: <ul style="list-style-type: none"><li>• prikazati osnovnu podjelu korozijskih procesa</li><li>• opisati osnovne korozijske procese obzirom na mehanizam nastajanja i geometrijski oblik</li><li>• prikazati i objasniti osnovne metode zaštite od korozije prema načinu provođenja</li><li>• detaljno prikazati i opisati postupke pripreme i čišćenja površine prije zaštite prevlačenjem</li><li>• u zaključku dati osvrt na temu Završnog rada</li></ul>

ZADATAK URUČEN

24.09.2019



Handwritten signature in blue ink.

## **Sažetak**

Ideja ovog završnog rada je prikazati važnost pripreme površine materijala prije zaštinog prevlačenja što je najčešća metoda zaštite od korozije. Kao uvod u temu detaljnije je objašnjena korozija, njezine vrste i pojavnici oblici. Zatim su prikazane metode zaštite klasificirane prema načinu pro vođenja, od čega je najčešća metoda prevlačenjem. Na kraju kao glavna tema ovog završnog rada objašnjene su svrha pripreme površine i same metode čišćenja. Za svaku od ovih tema, dodani su i primjeri.

Zahvaljujem se obitelji i prijateljima na podršci tijekom studija te mentoru dipl.ing. Marku Horvatu na savjetima tijekom izrade završnog rada.

**KLJUČNE RIJEČI:** korozija, zaštita od korozije, priprema i čišćenje površine

## **Abstract**

The idea of this paper is to show the importance of preparing the surface of the material before protective coating, which is the most common method of corrosion protection. Corrosion, its types and forms are explained in more detail as an introduction to the topic. Then, the protection methods are classified according to the implementation method, the most common method being coating. Lastly, the purpose of surface preparation and cleaning methods are explained as the main topic of this paper. For each of these topics, examples are added.

**KEYWORDS:** corrosion, corrosion protection, surface preparation and cleaning



# Sadržaj

1.	Uvod.....	1
2.	Korozija.....	2
2.1.	Vrste korozija prema mehanizmu nastajanja procesa .....	3
2.1.1.	Kemijska (neelektrokemijska) korozija.....	3
2.1.2.	Elektrokemijska korozija materijala.....	5
2.2.	Podjela prema geometrijskom obliku .....	10
2.2.1.	Opća površinska korozija .....	10
2.2.2.	Lokalna korozija.....	11
2.2.3.	Selektivna korozija .....	13
2.2.4.	Interkristalna korozija .....	14
2.3.	Posebne vrste korozije .....	15
3.	ZAŠTITA OD KOROZIJE.....	18
3.1.	Racionalan izbor materijala .....	18
3.2.	Zaštita prevlačenjem .....	19
3.2.1.	Metalne prevlake .....	20
3.2.2.	Nemetalne prevlake anorganskog izvora.....	25
3.2.3.	Nemetalne prevlake organskog izvora .....	26
3.3.	Konstruktivsko – tehnološke mjere.....	28
3.4.	Smanjenje agresivnosti medija.....	30
3.5.	Električne metode zaštite .....	30
4.	Čišćenje površina.....	32
4.1.	Mehaničko čišćenje.....	32
4.1.1.	Brušenje i poliranje .....	32
4.1.2.	Četkanje .....	36
4.1.3.	Čišćenje mlazom čestica .....	37
4.2.	Kemijska priprema.....	39
4.2.1.	Kiselinsko dekapiranje .....	39
4.2.2.	Lužnato dekapiranje .....	41
4.2.3.	Talinsko dekapiranje .....	41
4.2.4.	Paste za dekapiranje .....	41
4.2.5.	Elektrolitičko dekapiranje .....	42
4.2.6.	Kemijsko poliranje .....	42
4.2.7.	Elektrokemijsko poliranje .....	43
4.2.8.	Jetkanje (najedanje).....	45
4.3.	Odmašćivanje.....	46
5.	Priprema površine prema normama.....	53
5.1.	Primarna priprema .....	53
5.2.	Sekundarna priprema .....	57
5.3.	Priprema zavara, rubova i ostalih površinskih nepravilnosti .....	57
6.	Zaključak.....	59
7.	Literatura.....	61

# 1. Uvod

Korozija u strojarstvu prouzrokuje brojne probleme te se mnogim istraživanjima i sredstvima zaštite pokušava smanjiti njezin loš utjecaj na materijal. Korozija može prouzrokovati i po život opasna oštećenja materijala ako se ne spriječi njeno nastajanje. Može se podijeliti prema mehanizmu nastajanja procesa, prema geometrijskom obliku, a postoje i neke posebne vrste korozije. Konstrukcijski materijali posebice čelik, jako su podložni njenom utjecaju, a za njeno sprječavanje koriste se brojne metode. Korozija se može spriječiti racionalnim odabirom materijala, raznim konstrukcijsko-tehnološkim mjerama, smanjenjem agresivnosti materijali ili električnim metodama. Međutim, najraširenija metoda je nanošenje metalnih i nemetalnih prevlaka, a za njihovu kvalitetu i postojanost izrazito je bitna priprema površine. Kvaliteta i hrapavost površine materijala jako utječe na prijanjanje i postojanost sloja prevlake kojim se materijal štiti. Ostaci od prijašnje obrade, masne tvari i bilo kakve druge nečistoće uzrokuju loše prijanjanje prevlaka. Stoga se površine moraju dobro očistiti jer mogu ugroziti estetski izgled prevlaka i uzrokovati nastajanje korozije.

## 2. Korozija

Prema normi HRN EN ISO 8044 korozija je fizikalno-kemijsko međudjelovanje metala i okoliša koji uzrokuje promjenu upotrebnih svojstava metala te dovodi do oštećenja funkcije metala, okoliša ili tehničkih okoliša koji čine. [1]

Koroziju razumijemo kao nagrizanje metalnih materijala koje prouzrokuju kemijski ili elektrokemijski utjecaji. [2] Oni utječu na pokretačku silu korozije te na otpore koji joj se suprotstavljaju. Korozija je spontan proces, čija je pokretačka sila kemijski afinitet između tvari u materijalu i mediju. Afinitet postoji ukoliko je reakcijski sustav sposoban vršiti rad. Mjera za afinitet je maksimalni koristan rad reakcije koji taj sustav može dati prilikom odvijanja procesa. Kod izobarno-izotermnih uvjeta, taj rad jednak je smanjenju Gibbsove energije – slobodne entalpije sustava:

$$W_r = -\Delta G = -(\Delta H - T\Delta S) = -\Delta H + T\Delta S \quad (1.1)$$

$\Delta H$  - reakcijska entalpija

$\Delta S$  - reakcijska entropija

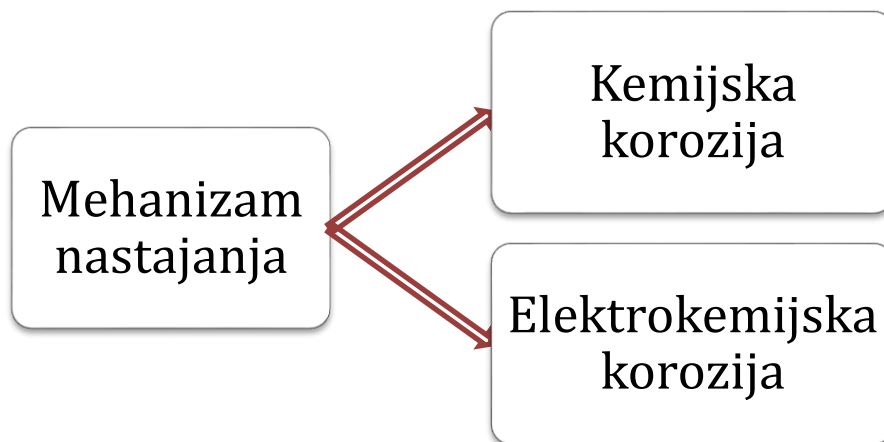
T - termodinamička temperatura

Kod spontane reakcije, reakcijski rad mora biti pozitivan. Afinitetu time pridonose negativna reakcijska entalpija (oslobađanje topline tj. egzotermnost) i pozitivna reakcijska entropija (povećanje „nereda“ tijekom reakcije). Samo u rijetkim slučajevima, korozija nije spontana i teče premda u sustavu nema afiniteta. U takvim slučajevima, koroziju pokreće izvana nametnuta sila u obliku električnog napona koji daje struju, pri čemu se troši električni rad iz vanjskog izvora energije. Kod takvih procesa, događa se nepoželjno otapanje anoda pri elektrolizi i korozija pod utjecajem lutajućih struja. [3]

Brzina korozije razmjerna je pokretačkoj sili (afinitet) i obrnuto razmjerna otporima. Te veličine ovise o lokalnim i trenutačnim unutarnjim i vanjskim čimbenicima. [3] Pod utjecajem korozije mogu nastati različite pogreške koje prouzrokuju lomove i kvarove. [2] Materijali najviše podložni koroziji su željezo i čelik, dok se kod bakra i aluminija na površini stvara oksidni sloj koji ih štiti od njenog razornog utjecaja. [4] Najčešća i najvažnija podjela korozije je prema mehanizmu procesa, no postoji i klasifikacija prema obliku te posebne vrste korozije. [3]

## 2.1. Vrste korozija prema mehanizmu nastajanja procesa

Najčešća podjela vrsta korozije je prema mehanizmu nastajanja procesa koja je prikazana u nastavku:



Slika 1.: Shematski prikaz podjele korozije prema mehanizmu procesa

### 2.1.1. Kemijska (neeletrokemijska) korozija

Kemijska korozija se događa u sredstvima koji nisu elektroliti (npr.: goriva, maziva). Među sastojcima materijala i sredstva, s kojim je materijal u dodiru, nastaju najčešće neželjene kemijske reakcije. Mnogi metali se počnu raspadati zbog spajanja s kisikom iz zraka ali i zbog utjecaja tekućina (najčešće kiselina). Na koroziju su vrlo otporni plemeniti metali primjerice platina, zlato i srebro. Oni su manje podložni kemijskom ili elektrokemijskom raspadu, ali su najskuplji te se ne koriste za izradu običnih strojnih dijelova. [4] Vrući oksidativni plinovi sadrže kisik, ugljikov dioksid i vodenu paru i s metalima stvaraju okside:



Me – atom metala

z – valencija atoma metala u oksidu

Neka goriva, maziva i vrući plinovi sadrže sumporne pare, sumporovodik ili organske spojeve dvovalentnog sumpora pa uzrokuju sulfidnu koroziju stvarajući sulfide.

Metali kemijski korodiraju pri vrućem oblikovanju i spajanju, u industrijskim pećima, motorima s unutarnjim izgaranjem, na plohama koje se podmazuju i slično. Pri koroziji ugljičnog čelika stvara se okujina. Okujina je smjesa u kojoj prevladavaju željezov (II) oksid FeO i magnetit

$\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Oksidacija metala je obično egzotermna tj. reakcijska entalpija je negativna što pridonosi afinitetu prema jednadžbi 1.1. Reakcijska entropija također je negativna za oksidaciju metala kisikom prema jednadžbi 1.2. zbog toga što je entropija veća za sustav reaktanata  $\frac{Me}{O}$  (sadrži nesređenu plinsku fazu) od entropije produkta – oksida koji ima sređenu kristalnu strukturu. Stoga je  $T\Delta S$  u jednadžbi 1.1 negativan i time smanjuje afinitet. S obzirom da se  $\Delta H$  i  $\Delta S$  vrlo polako mijenjaju s temperaturom, utjecaj člana  $T\Delta S$  raste grijanjem i time afinitet za oksidaciju metala kisikom opada i nestaje pri određenoj temperaturi. Daljnim grijanjem, javlja se afinitet za obratnu reakciju: raspad oksida u metal i kisik. Međutim, temperatura „obrata“ afiniteta za oksidaciju kisikom leži za većinu metala iznad tališta. [3]

Otpore koji se suprotstavljaju djelovanju afiniteta za kemijsku koroziju uzrokuju:

1. niska energetska razina reaktanata,
2. zaštitna svojstva čvrstih korozivskih produkata

Kao razina energetske razine obično se koristi temperatura, ali i radijacija odnosno izlaganje elektromagnetskim valovima ili brzim mlazovima sitnih čestica. To može lokalno podići energetska razinu bez porasta temperature. Energetska razina mora biti dovoljno velika da nadvlada aktivacijsku barijeru reakcije što je posljedica inercije reaktanata. Oksidacija prema jednadžbi 1.2. teče samo ako je kinetička energija molekule kisika i atoma metala pri sudaru veća od vrijednosti koja može pokidati postojeće međuatomske veze i pokrenuti niz uzastopnih reakcija. Prosječna kinetička energija mnogo je manja od one koja je potrebna za kidanje međuatomskih veza pri sudaru, ali je energija statistički podijeljena tako da neki rijetki sudari ipak potiču korozivsku reakciju. Grijanjem naglo raste udio „uspješnih“ sudara, jer se time povećava kinetička energija čestica. Stoga je na sobnoj temperaturi otpor djelovanju afiniteta izvanredno velik pa je kemijska korozija „zakočena“. Povećanjem temperature, otpori afinitetu se drastično smanjuju pa kemijska korozija grijanjem može postati vrlo opasna. [3]

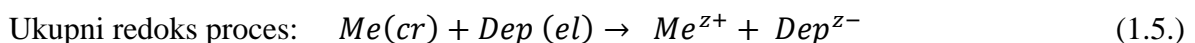
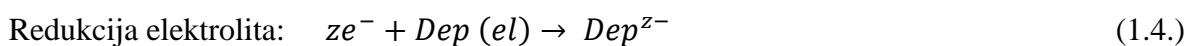
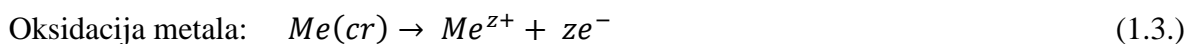
Produkti kemijske korozije metala najčešće su u čvrstom stanju i tvore kompaktni sloj na metalu koji ga odvaja od korozivnog fluida te time proces teče usporeno. Jedan od uvjeta za nastajanje zaštitnog učinka produkata korozije je da volumen produkta mora biti jednak ili veći od volumena korodiranog metala. Većina oksida i sulfida, osim  $\text{MgO}$ , imaju veći volumen od korodiranog metala. Međutim, omjeri nekih su toliko veliki da se javljaju tlačna naprezanja koja uzrokuju drobljenje odnosno gubitak zaštitne sposobnosti. Dva dodatna uvjeta za nastajanje kompaktnih zaštitnih slojeva su fizikalna i kemijska stabilnost, što znači da se oksidi i sulfidi ne smiju taliti, isparivati ni kemijski mijenjati. Taljenjem i isparivanjem nestaje zaštitni sloj, a

kemijskim reakcijama mijenja se kristalna struktura čime nastaju velike napetosti koje ga drobe. Također, kompatibilnost kristalnih rešetki korozijskog produkta i metala pridonosi zaštitnom učinku sloja. Tako sloj može čvrsto prijanjati i rasti bez pojave napetosti. Na svojstva zaštitnog sloja, povoljno djeluju i dobra mehanička svojstva, mala gustoća defekata njegove rešetke i mala razlika među koeficijentima toplinskog rastezanja sloja i metala. Najbolja zaštitna svojstva imaju oksidni slojevi na aluminiju, kromu i nekim legurama željeza, nikla i kobalta sa kromom, aluminijem i silicijem. [3]

Međutim, takvi zaštitni slojevi ne mogu u potpunosti spriječiti daljnju kemijsku koroziju metala jer kroz njih difundiraju atomi ili ioni metala i nemetala. Brzine difuzije, razmjerne su difuzijskim koeficijentima koji ovise o tvari kroz koju teče difuzija, o tvarima koje difundiraju te o temperaturi i gustoći defekata rešetke u sloju. [3]

### 2.1.2. Elektrokemijska korozija materijala

Elektrokemijska korozija je takozvani redoks proces tj. oksidacijsko redukcijski proces. Metal gubi elektrone, oksidira i time prelazi iz kristalne rešetke u stanje iona u kapljevitom elektrolitu. Istodobno, oslobođeni elektroni se vežu na oksidans koji se time reducira tako da vrijedi opća shema:



cr - kristalno stanje

z - broj elementarnih naboja

el - tvar otopljena u elektrolitu

$e^{-}$  - elektron

Dep - oksidans (depolarizator) [3]

Za nastajanje elektrokemijske korozije potrebno je da je određena tekućina elektrolit odnosno da dobro prenosi električni tok. [2] To su npr. prirodne i tehničke vode, vodene otopine soli, kiselina, lužina, vodene otopine biološkog podrijetla, vlažna tla i taline soli, oksida i hidroksida.

Atmosferska korozija (u vlažnom zraku ili plinu) elektrokemijskog je karaktera ukoliko je relativna vlažnost veća od kritične vrijednosti (oko 60%) kad se stvara kapljevita faza na metalnoj površini u obliku kapljica (kondenzirani sloj). Elektrokemijska korozija metala događa se u svim područjima tehničke djelatnosti. Najviše su pogođene rudarske instalacije, energetska i metalurška postrojenja, mostovi, dizalice, kemijska i prehrambena postrojenja, građevine, oružje itd. [3]

Za svaku elektrokemijsku oksidaciju ili redukciju postoji neki ravnotežni (reverzibilni) elektroodni potencijal pri kojem bi brzine polaze i povratne reakcije bile jednake. Da bi redoks-proces mogao spontano teći, ravnotežni potencijal redukcije mora biti veći od potencijala oksidacije tj. da bi se elektrokemijska korozija pokrenula mora postojati elektromotorna sila. Ta sila povezana je s afinitetom i korisnim radom sljedećim izrazom:

$$W_r = -\Delta G = zF(E_{rd} - E_{ri}) = zF\Delta E_r \quad (1.6.)$$

F – Faradayeva konstanta

$E_{rd}$  – ravnotežni potencijal depolarizacije

$E_{ri}$  – ravnotežni potencijal ionizacije metala

$\Delta E_r$  – elektromotorna sila redoks procesa

Ravnotežni potencijali se kreću od -3V do +3V na ljestvici ravnotežnih potencijala gdje je polazište potencijal vodikove elektrode jednak nuli. [3]

Kod korozije ugljičnog čelika u elektrolitu, ionizacija se odvija prema jednadžbi:

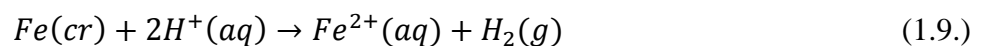


Ako je elektrolit vodena otopina, koristi se oznaka (aq) umjesto oznake (el). Međutim, redukcijske reakcije mogu biti različite jer su uvjetovane sastavom elektrolita. U kiselim otopinama, česta je vodikova depolarizacija zbog velike koncentracije vodikovih tj. hidronijevih iona  $H_3O^+$  u tim otopinama što uvjetuje nisku pH-vrijednost. U tom slučaju, oksidans je  $H_3O^+$  tj.  $H^+$  koji se reducira u atomski i molekulski vodik:



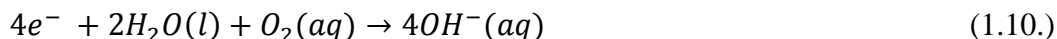
g – plinovito stanje prema lat. gasus.

Iz jednadžbi 1.6. i 1.7., jednadžba korozije čelika u kiseloj otopini je:



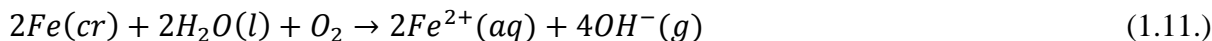
Na temelju jednadžbe 1.9. može se zaključiti da se željezo iz čelika otapa u kiselini. [3]

U neutralnim i lužnatim otopinama, kao oksidans djeluje kisik otopljen u vodi. On se reducira kisikovom depolarizacijom u sljedećem izrazu:

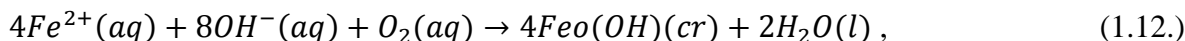


l – kapljevina, tekućina prema lat. liquidus, a nastaju hidroksid-anioni.

Ukupni redoks-proces korozije ugljičnog čelika u tim elektrolitima odgovara sljedećem izrazu:

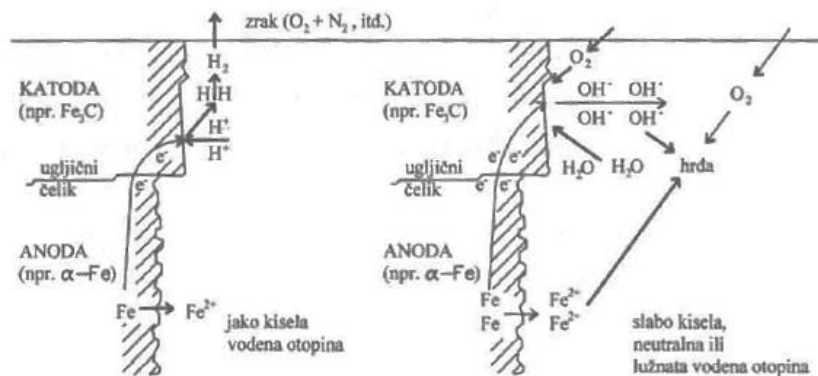


Oksidacija i redukcija su primarne reakcije elektrokemijske korozije te su često popraćene sekundarnim reakcijama. Primjerice, nakon redoks procesa u izrazu 1.11., nastaje hrđa odnosno smjesa hidratiranih oksida i hidroksida dvovalentnog i trovalentnog željeza, pri čemu kao reaktant sudjeluje kisik. Jedna od mogućih sekundarnih reakcija tog tipa prikazana je sljedećim izrazom:



pri kojoj nastaje „oksid-hidroksid“, sastojak hrđe koji daje crvenkastosmeđu boju. [3]

Metalna površina često je nehomogena što uzrokuje da su na nekim mjestima uvjeti povoljniji za ionizaciju metala, tj. za depolarizaciju na drugim mjestima. Zbog toga se te primarne pojave gotovo uvijek lokalno odvajaju te nastaju korozijski galvanski članci. Na negativnijim elektrodama tj. anodama odvija se ionizacija metala, dok se na katodama odvija depolarizacija. Takav proces korozije čelika prikazan je u nastavku:



Slika 2.: shematski prikaz lokalnih članaka pri koroziji ugljičnog čelika u jako kiselim vodenim otopinama pod (a) te u slabokiselim, neutralnim ili lužnatim otopinama pod (b) [3]



Izraz za afinitet za lokalne članke:

$$W_r = zF(E_k - E_a) = zF\Delta E_r$$

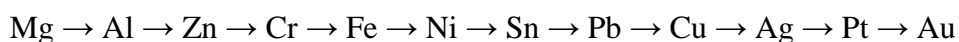
$E_k$  i  $E_a$  – ravnotežni potencijali katodne i anodne reakcije

$\Delta E_r$ - elektromotorna sila lokalnog članka; mjera afiniteta

F – opća konstanta

z – brojnost izmjenjenih elektrona (konstanta za proces)

$E_k$  i  $E_a$  ovise o vrsti reakcije, koncentraciji i parcijalnom tlaku sudionika reakcije te o temperaturi.  $E_a$  je niži ako je metal skloniji ionizaciji tj. neplemenitiji, a raste s koncentracijom iona koji nastaju korozijom.  $E_a$  može dosta varirati jer ovisi o puno čimbenika, ali se može približno odrediti ljestvica metala poredanih po rastućoj plemenitosti:



Magnezij je najmanje plemeniti materijal, dok je zlato najplemenitiji materijal tj. najmanje je sklon ionizaciji. Kod kisikove depolarizacije,  $E_k$  pozitivniji je za otprilike 1,2 V nego kod vodikove depolarizacije uz podjednaku temperaturu i sastav elektrolita.  $E_k$  kisikove depolarizacije je viši što je parcijalni tlak kisika viši, a ako je viši parcijalni tlak vodika,  $E_k$  vodikove depolarizacije je niži. Povišenje pH – vrijednosti, smanjuje  $E_k$  i vodikove i kisikove depolarizacije.

Elektromotorna sila pojedinog korozijskog galvanskog članka uzrokuje protok korozijske struje koji po Faradayevom zakonu izaziva gubitak mase ionizacijom metala na anodi. S obzirom da anode i katode s vremenom obično mijenjaju svoj položaj i veličinu, zbroj anodnih odnosno katodnih struja svih članaka na nekoj plohi u određenom razdoblju raspodjeljuje se na čitavu početnu geometrijsku ploštinu. Tako metalna površina djeluje kao višestruka ili miješana elektroda. [3]

Afinitetu lokalnog korozijskog članka se suprotstavljaju otpori. Postoje prenaponi koji snizuju napon članka (katodni i anodni) dok omski otpori koče gibanje nositelja električnog naboja.

Katodni prenapon sastoji se od aktivacijskog i koncentracijskog dijela. Aktivacijski je uzrokovan inercijom reaktanata redukcije, a ovisi o vrsti metala i depolarizacije. Povećava se s katodnom gustoćom struje i glatkoćom površine, a smanjuje temperaturom. Koncentracijski otpor uzrokovan promjenama koncentracije i parcijalnog tlaka sudionika uz katodu te je također ovisan o vrsti depolarizacije. On je posljedica sporosti difuzije reaktanata i produkata. Opada smanjenjem viskoznosti elektrolita, povećanjem temperature i brzine relativnog gibanja među metalom i

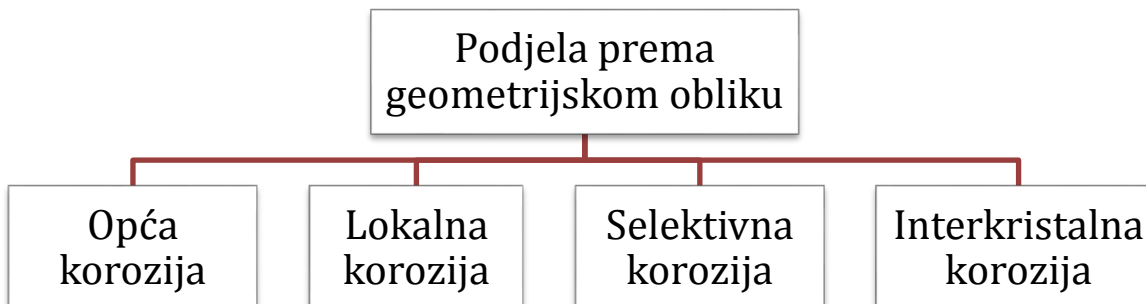
elektrolitom, a raste s katodnom gustoćom struje. Aktivacijski prenapon je najčešće veći od koncentracijskog. [3]

Anodni se prenapon također sastoji od aktivacijskog i koncentracijskog dijela. Aktivacijski dio može bit prenapon pasivnosti i prenapon ionizacije, a smanjuje se temperaturom. Uzrokuje ga inercija metalnih atoma na površini koja koči ionizaciju, a ovisan je o vrsti metala i povećava se anodnom gustoćom struje i glatkoćom površine. Prenapon pasivnosti javlja se samo na nekim metalima, ali unatoč tome vrlo je velik. Pasivnost je uzrokovana nastankom filma vrlo male debljine na površini što usporava ionizaciju metala. Obično su to filmovi oksida ili čvrsto adsorbiranog kisika. Takvoj pojavi osobito su skloni krom, aluminij, titanij i njihove legure poput nehrđajućih čelika. Pogoduje joj oksidativna moć elektrolita ako nije prekomjerna i ako u njima nema klorida i bromida. Jako oksidativni elektroliti mogu uzrokovati depasivaciju i pitting. Na anodi se koncentracijski prenapon javlja zbog sporosti difuzije nastalih metalnih iona u masu elektrolita. Kao i katodni, ovisan je o vrsti reakcije, pada s smanjenjem viskoznosti, povišenjem temperature i povećanjem relativne brzine gibanja. Raste s anodnom gustoćom struje. Prenapon pasivnosti mnogo je veći od koncentracijskog prenapona. [3]

Omski otpor ovisan je o geometrijskim obilježjima korozijskog članka te o električnoj otpornosti elektrolita i metala. S obzirom da su metali vodići, a elektrode su u neposrednom kontaktu, omski se otpor može zanemariti. Električna otpornost elektrolita može biti od 0,2 do  $10^7 \Omega \cdot cm$ . Rastaljene soli i otopine jakih kiselina imaju najmanju otpornost, dok najveću otpornost ima potpuno čista voda. Otpornost elektrolita pada s temperaturom a ovisi i o vrsti i koncentraciji otopljenih iona. Otpori članaka mogu se povećati kemijskim taloženjem čvrstog izolacijskog sloja sekundarnim reakcijama. Primjerice, izlaganjem olova razrijeđenoj sulfatnoj kiselini nastaje zaštitni sloj olovnog sulfata. Mehaničku pasivnost mogu uzrokovati i druge netopljive soli, hidroksidi, oksidi i njihove smjese. [3]

## 2.2. Podjela prema geometrijskom obliku

Osim prema mehanizmu nastajanja, korozija se može podijeliti i prema geometrijskom obliku:



Slika 3.: Shematski prikaz podjele prema geometrijskom obliku korozijskog razaranja

### 2.2.1. Opća površinska korozija

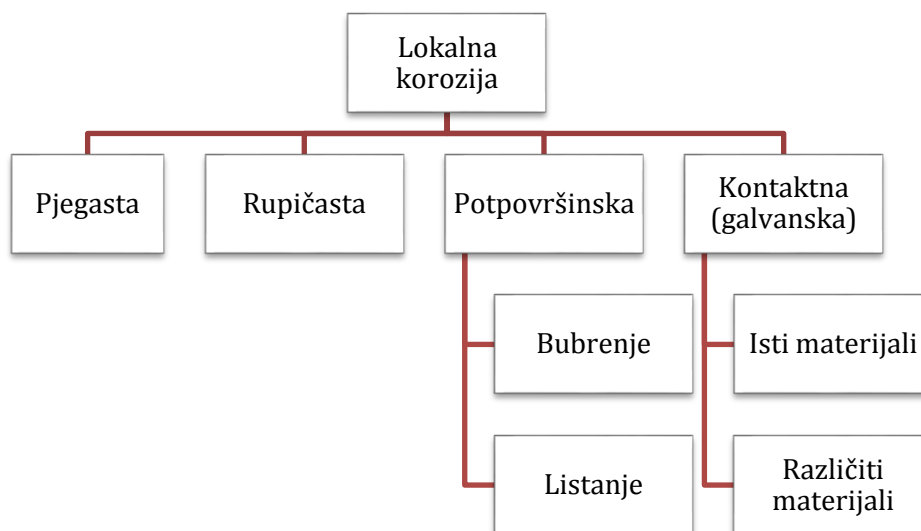
Opća površinska korozija nagriza materijal na površini predmeta. Pri željezu i čeliku, najprije se stvara tanki sloj hrđe koji se vrlo lako može odstraniti. Takva vrsta korozija je najmanje opasna iz razloga što ju je lako moguće primjetiti i primjeniti sredstva za odstranjivanje i zaštitu. Prepoznaje se po skoro ravnomjernom površinskom sloju, iako lokalno može biti različite debljine. Brzina korozije najviše ovisi o vrsti materijala ali i o brojnim drugim utjecajima. Kod običnog ugljičnog čelika, brzina korodiranja na zraku iznosi 0,03 mm na godinu, a u industrijskom području oko 0,15 mm na godinu. [2]



Slika 4.: Primjer opće površinske korozije [5]

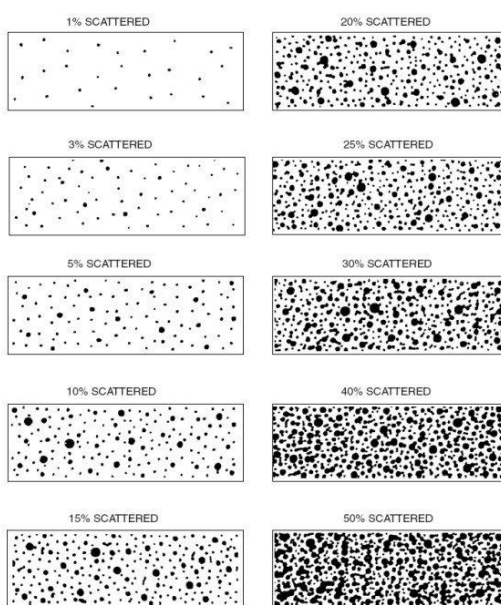
## 2.2.2. Lokalna korozija

Lokalna korozija ne zahvaća materijal jednakomjerno po površini, već samo izložene površine materijala. Na početak nastajanja lokalne korozije pri željezu utječe prisutnost oksidacijskog sredstva i tvari koji napadaju oksidne slojeve. Lokalna korozija je tipična kod olovnih cijevi, a prisutna je i kod bakra i njegovih litina, cinka i aluminija.



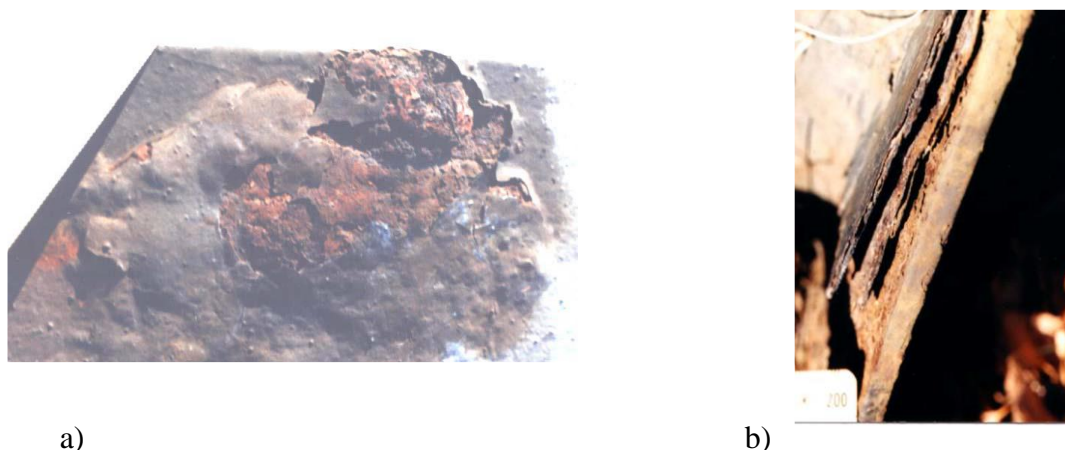
Slika 5.: Shematski prikaz vrsta lokalne korozije

Pjegasta korozija je ograničena na pojedina žarišta kod kojih je ploština relativno velika u odnosu na dubinu, dok je jamičasta uskolokalizirana sa žarištima otprilike kružnog presjeka, pri čemu se događaju relativno velike dubine oštećenja. [3] U nastavku je prikazan dijagram u kojem su vidljivi različiti intenziteti rupičaste korozije:



Slika 6.: Prikaz intenziteta rupičaste korozije [6]

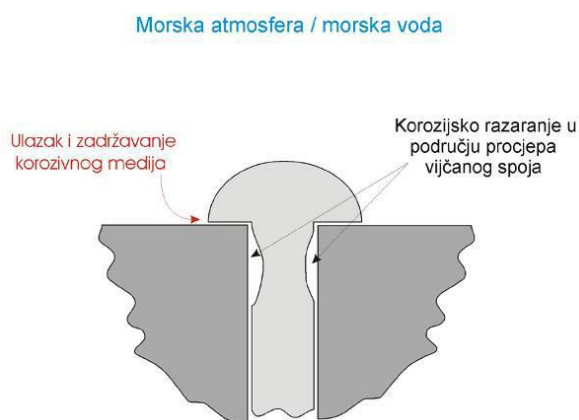
Vrste potpovršinske korozije vidljive su slikama u nastavku:



Slika 7.: Primjer bubrenja a); Primjer listanja b) [7]

Do bubrenja dolazi ako je volumen korozivskih produkata veći od volumena uništenog materijala. Listanje prikazano na slici nastaje kad se žarišta rupičaste korozije šire u dubinu materijala. [7]

Kontaktna korozija koja nastaje kad su u kontaktu materijali iste vrste, naziva se još i korozija u procijepu. Javlja se u blizini pukotina, procijepa ili razmaka, a koroziju može ubrzati i nakupljanje medija npr. vode.



Slika 8.: Shema mehanizma oštećivanja vijčanog spoja pod utjecajem morske vode [7]

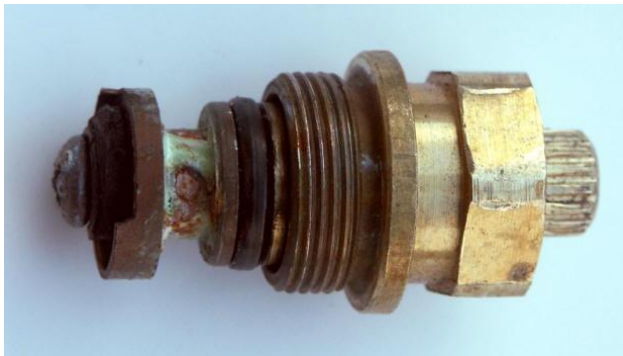
Kontaktna korozija nastaje i na mjestima gdje se koriste dva metala koji imaju različite električne potencijale pri prisutnosti elektrolita. Pojavljuje se kod konstrukcija koje su izrađene od različitih metala. Posebice kod veznih elemenata kao što su vijci, zakovice, čepovi, zavari itd. Zbog toga je potrebno posebno paziti koji metali se međusobno spajaju. Kontaktnoj koroziji posebno brzo podliježu legure aluminija i magnezija ili aluminija i bakra. Za smanjenje učinka kontaktne korozije, koriste se izolacijski umetci kontaktnih mjesta, premazi, kemijski ili anodno obrađene površine. [2]



*Slika 9.: Primjer kontaktne korozije [8]*

### **2.2.3. Selektivna korozija**

Do selektivne korozije dolazi kod višefaznih i višekompozitnih materijala, gdje korozija razara samo jednu fazu odnosno komponentu. Najčešći primjeri takve korozije su decinkacija mjedi i grafitizacija sivog lijeva. Cink je izrazito aktivniji tj. elektrokemijski negativniji od bakra, što uzrokuje njegovo lako izlučivanje iz mjedi. To dovodi do stvaranja poroznog spužvastog bakra s lošim mehaničkim svojstvima. Takav proces može biti općeg ili lokalnog karaktera. Lokalna selektivna korozija može biti izrazito opasna ako je ta konstrukcija izložena tlačnim naprezanjima jer nastaju kružna područja decinkirane mjedi okružene zdravom legurom. [7]



a)

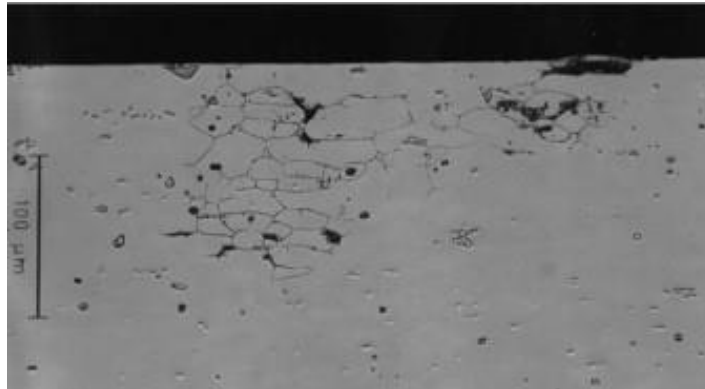


b)

*Slika 10.: Primjer decinkacije a) [9]; Primjer degrafitizacije b) [10]*

#### 2.2.4. Interkristalna korozija

Interkristalna (međugranularna) korozija se događa na granicama kristalnih zrna unutar materijala te je iz tog razloga nevidljiva na površini i samim time najopasnija. Uzrok pojave interkristalne korozije smatra se razlika elektrokemijskog potencijala između granica i unutrašnjosti kristalnih zrna. Takva korozija se često događa na kemijski otpornim čelicima zbog zavarivanja ili zbog vanjskih toplinskih utjecaja. [4]



*Slika 11.: Prikaz interkristalne korozije ispod površine [11]*

## 2.3. Posebne vrste korozije

Postoje još i posebne „nesvrstane“ vrste korozije koje se odvijaju uz istodobno ili uzastopno djelovanje nekemijskih utjecaja [3].

### 2.3.1. Napetosna korozija

Napetosna korozija nastaje u obliku pukotina koje su posljedica mehaničkih napetosti. Značajka ove vrste korozije je nastanak nesigurne površine zbog mehaničkih napetosti. Napetosti prouzrokuju vanjska opterećenja (vlak, tlak, smicanje, savijanje i sl.). Također i zaostale unutarnje napetosti koje mogu biti posljedica toplinske obrade, plastičnog preoblikovanja itd. Pod utjecajem mehaničkih napetosti prvo mogu nastati interkristalne pukotine koje prelaze u transkristalne (napetosne) pukotine. [2]



*Slika 12.: Primjer napetosne korozije [12]*

### 2.3.2. Korozijski umor

Materijal se može lokalno „umoriti“ zbog ponavljajuće cikličke napetosti. Posljedica toga je pojava mikro pukotina na njegovoj površini te daljnje napredovanje do konačnog loma materijala. Napredovanje je usko povezano s napetostima u korijenu pukotine i djelovanjem elektrokemične pukotine na tom mjestu, zbog prisustva troosnog napreznja, lokalnog klizanja materijala po kliznim ravninama i nakupina dislokacija. Korozijski umor brzo napreduje, a pukotine su krhke i obično transkristalne. Pri olovu i kositru nastaju interkristalne pukotine. Korozijski umor se javlja u mnogim vodenim otopinama, gdje prisutnost specifičnih iona nije potrebna. Čelične konstrukcije su osjetljive na korozijski umor u različitim medijima npr. sladka i morska voda, kondenzati plinova i sl. Što je medij agresivniji, veće je njegovo djelovanje i potrebno je manje vremena za nastanak loma. [13]

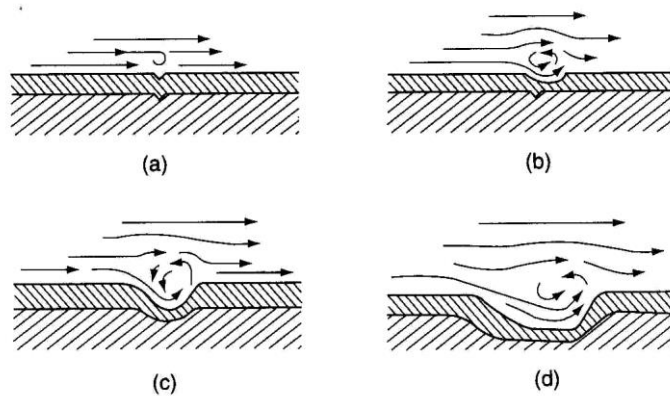




Slika 13.: Primjer korozijskog umora u cijevi bojlera [14]

### 2.3.3. Erozijska korozija

Zajedničko djelovanje korozije i korozivnog medija, koji zbog veće brzine gibanja djeluje na površinu erozijski, prouzrokuje oštećenja najčešće na mjestima gdje su cijevi savijene i na drugim sistemima kroz koje se giba tekućina (lopatice, pumpe, izmjenjivači topline i sl.). Korozivni medij, koji može biti tekući ili plinovit, s površine metala odnosi korozivne proizvode koji često imaju zaštitnu ulogu. Na tim mjestima je metal konstantno nezaštićen što dovodi do stalnog napredovanja korozije u dubinu materijala. Erozijska korozija se može prepoznati u obliku udubljenja, žlijebova ili okruglih jamica. Takva oštećenja se kod erozijske korozije najčešće razvijaju u smjeru udarnog djelovanja tekućine. [13]



Slika 14.: Shematski prikaz procesa erozijske korozije [15]

### 2.3.4. Kavitacijska korozije

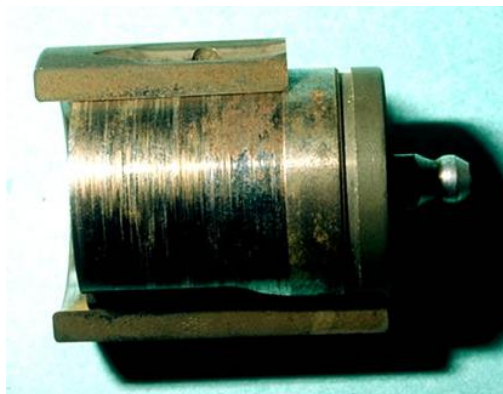
Kavitacija nastaje na površinama metala koji su u dodiru s tekućinom. Nastaju mjehurići uzrokovani velikom brzinom gibanja tekućine i konstantne promjene njenog tlaka. Ti mjehurići kondenziraju i eksplodiraju u blizini metala. Smanjenje tlaka uzrokuje veće ishlapljivanje tekućine, a naglo povećanje tlaka kondenzaciju ili pucanje mjehurića. Eksplozija tih mjehurića uzrokuje napetosti od 1380 MPa i stvara oštećenje zaštitnih slojeva ili cijelu skupinu lokalnih oštećenja u obliku jamica. Na takvoj nezaštićenoj površini korozija puno brže djeluje. [13]



*Slika 15.: Primjer kavitacijske korozije [16]*

### 2.3.5. Tarna korozija

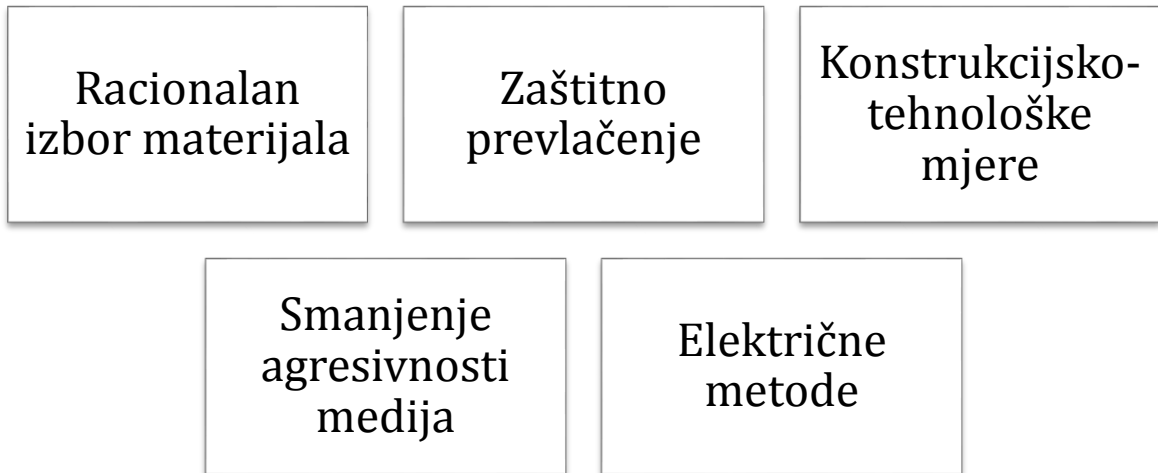
Do tarne korozije dolazi kod površina koje su u dosjedu i opterećene su vibracijski ili klizno. Oštećenja dosjednih površina kod tarne korozije su veća u atmosferi nego u tekućinama. Osnovni uzroci za nastajanje tarne korozije su: opterećenost dodirnih površina među materijalima, prisutnost vibracija ili ponavljajućeg gibanja i velika opterećenost koja uzrokuje deformaciju površine ili mehanička površinska oštećenja. [13]



*Slika 16.: Primjer tarne korozije na strojnom dijelu [17]*

### 3. ZAŠTITA OD KOROZIJE

Korozija može prouzročiti veliku materijalnu štetu, ali i ugroziti ljudske živote. Stoga je vrlo bitno metale, posebice čelik koji je važan konstruktivni materijal današnjice, zaštititi od korozije na odgovarajuć način. Metode zaštite klasificiraju se prema načinu provođenja:



*Slika 17.: Prikaz metoda zaštite prema načinu provođenja*

#### 3.1. Racionalan izbor materijala

Racionalan izbor materijala temelji se na njegovoj korozijskoj postojanosti. Materijali su različito korozijski postojani, što ovisi i o vanjskim uvjetima kojima su izloženi. Primjerice voda, vodene otopine, vlažna atmosfera mogu znatno ubrzati proces korozije. [7]



*Slika 18.: Primjer utjecaja morske vode na koroziju [18]*

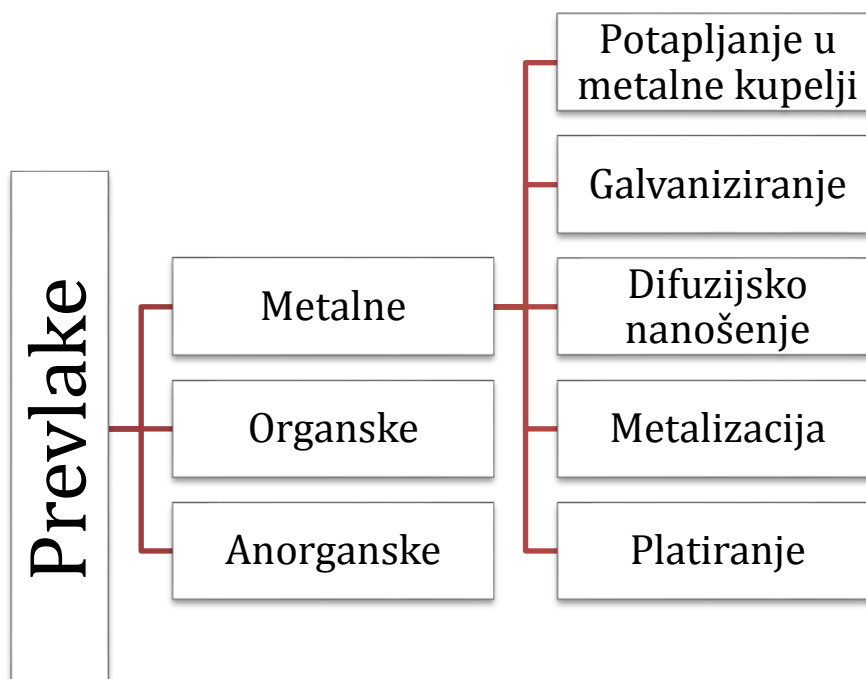
Otpornost pojedinih materijala na koroziju prikazana je u sljedećoj tablici:

<b>Ugljični čelik</b>	Nije otporan na na koroziju, jer je sastavljen od više različitih vrsta kristala
<b>Legirani čelik</b>	Otporniji je od ugljičnog čelika jer je električni potencijal među različitim kristalima u elektrolitu manji
<b>Nehrdajući čelik</b>	Otporan na koroziju, zbog ujednačenih kristala ili zbog manjih razlika u elektrokemijskom potencijalu među različitim kristalima od kojih se sastoji
<b>Sivi lijev</b>	Osim od različitih kristala, sastoji se još i od grafita koji je posebno osjetljiv na koroziju
<b>Elektrolitski bakar</b>	Bakar posebno zaštićen oksidnim slojem koji nastaje kada je izpostavljen utjecaju zraka, iz tog razloga je posebno otporan na koroziju
<b>Čisti aluminij</b>	Kao i kod bakra, kod aluminija nastaje oksidni sloj zbog kojeg je otporan na koroziju
<b>Platina, srebro i zlato</b>	Plemeniti metali otporni na koroziju

Tablica 1.: Otpornost često korištenih materijala u strojarstvu

### 3.2. Zaštita prevlačenjem

Prevlačenje je najčešća metoda zaštite od korozije. Postoje brojni postupci ove vrste, a podjela je prikazana u sljedećem dijagramu:



Slika 19.: Shematski prikaz podjele pravlake

### 3.2.1. Metalne prevlake

Metali se kao zaštitne prevlake mogu nanositi na više načina:

1. Uranjanje u metalne kupelji
2. Galvaniziranje
3. Difuzijsko nanošenje
4. Metalizacija
5. Platiranje

#### 3.2.1.1. Uranjanje u metalne kupelji

U postupke uranjanja u metalne kupelji ubrajaju se metalne prevlake koje štite površinu elemenata od željeza. Najčešće se upotrebljavaju kupelji cinka, kositra, olova i drugih metala koji imaju nisko talište.

Pocinčavanje u vrućoj kupelji se upotrebljava za zaštitu čeličnih konstrukcija i elemenata čije površine moraju biti očišćene elektrokemijskim luženjem, isprane vodom i osušene. U završnoj fazi se potapljaju u kupelj taline cinka. Kvaliteta pocinčane površine je izuzetno velika, površina je otporna na atmosferske utjecaje i čelik ne hrđa. [3]



Slika 20.: Postupak pocinčavanja (lijevo); primjer pocinčane ograde (desno) [19]

Kositrenje se upotrebljava za čelične pločevine koje se čiste jednako kao i za pocinčavanje, ali se u završnoj fazi potaplja u kositrenu kupelj. Kositar nije otrovan i otporan je na organske kiseline. [4] Njegova otpornost na koroziju temelji se na stvaranju kositrovog oksida tj. pasivnog filma. Kositar se najčešće koristi za zaštitu čelika i bakra, a zbog dobre električne vodljivosti kositrovog oksida koristi se u elektroindustriji. [13]

### 3.2.1.2. Galvaniziranje

Galvanske prevlake se dobiju viješanjem elemenata, koji imaju ulogu katode, u galvansku kupelj. Kupelj sadrži određenu sol zaštitne kovine, a kao anoda se koriste ploče od istog metala koji je u kupelji ili netopljiva tvar. Kroz kupelj se provodi električni tok koji uzrokuje raspadanje metalnih čestica vezanih u kupelji. Prednosti galvaniziranja je manja potrošnja metala, slojevi jednake debljine, mogućnost upotrebe i kod metala s visokim talištem, tvrdoća prevlake i ekonomičnost. Nedostaci su poroznost prevlaka i potreban precizan rad s prevlakama. U praksi se upotrebljavaju galvanske prevlake s niklom, kromom, kadmijem, cinkom, bakrom, kositrom, srebrom, zlatom, platinom i legurama poput bakar-cink i bakar-kositar. Obično se upotrebljava više slojeva galvanskih prevlaka odjednom. Donji sloj ima ulogu dobrog spajanja s predmetom, a gornji sloj antikorozijsku ili estetsku ulogu. [3]



*Slika 21.: Primjer elektrogalvanizirane mreže [20]*

Niklanje je jedan od najstarijih postupaka galvaniziranja. Najprije je potrebno element temeljito očistiti, nakon čega se potopi u kupelj koja se sastoji od niklovog sulfata, limunske kiseline i drugih dodataka. Puštanjem električnog toka kroz kupelj, niklov sulfat se raspada na nikal i sumpornu kiselinu pri čemu se nikal nataloži na katodu u obliku tankog sloja. Debljina niklove prevlake je od 0,1 do 0,25 mm, ovisno od toga koliko se dugo element drži u kupelji.

Postoje dvije vrste kromiranja: dekorativno i tvrdo kromiranje. Dekorativno kromiranje se koristi za poljepšavanje elemenata, ali i za istovremenu zaštitu od korozije. Zbog pomanjkanja kroma, zamijenjuje se kadmijem ili cinkom. Tako se dobiva galvansko kadmiziranje i galvansko ili glatko pocinčavanje. Tvrdo kromiranje upotrebljava se kod raznih mjernih instrumenata, alata,

naprava i sl. Predmete je potrebno najprije dobro očistiti (npr. nečistoće, ulja) umakanjem u trikloretilen i ispiranjem u vodi. Površine se pripremaju anodnim postupkom umakanjem predmeta u posebnoj kupelji čime dobije grubu površinu. Zbog grube površine, zaštitni sloj se bolje primi za predmet. Nakon takvog pripremanja površine, predmet se može pokromati. Kupelj za kromiranje se sastoji od kromove kiseline i dodataka sumporne kiseline i temperature 32 - 42 °C. Koristi se električni tok gustoće 1000 - 1500 A/m<sup>2</sup> pri naponu 2 - 3 V. Pod utjecajem električnog toka, kromova kiselina se raspada, a krom se taloži na katodu u obliku tankog sloja debljine 0,005-0,03 mm ovisno o trajanju. Predmeti se zatim ispiru u vodi, suše i bruse na konačnu mjeru. Kromov zaštitni sloj je 2 - 3 tvrdi od sloja od nikla i ima blago zamućenu srebrnkaastu boju.

Kadmiziranje se koristi umjesto dekorativnog kromiranja. Dobije se i jeftiniji zaštitni sloj, ali i jako dobra površinska zaštita. Kadmijev sloj debljine 0,002 - 0,005 nanešen galvanskim postupkom ima vrlo dobru postojanost na višim temperaturama, vlažnom zraku i soli. Koristi se kupelj cijannatrija i kadmijevog oksida i električni tok gustoće 150 – 250 A/m<sup>2</sup> pri naponu 2 - 5 V. Kadmiziranje se koristi kod raznih elemenata u automobilskoj i zrakoplovnoj industriji te u industriji gospodarskih strojeva i vozila.



*Slika 22.: Primjer kadmiziranja [21]*

Galvansko pocinčavanje naziva se još i glatko pocinčavanje. Predmeti se umaću u kupelj koja se sastoji od cinkovog sulfata, aluminijevog sulfata i sumporne kiseline (kisele kupelji) ili cijancinka, cijannatrija i dodataka (alkalne kupelji). Koristi se električni tok gustoće 200 – 300 A/m<sup>2</sup>. Držanjem predmeta u kupelji 10 – 20 minuta, dobije se zaštitni sloj cinka koji ima veliku postojanost od korozije i tvrdi je od kadmijevog zaštitnog sloja. Uz to, cinkov galvaniziranje

cinkom jeftinije je nego kadmiziranje. Koristi se u zrakoplovnoj i u automobilskoj industriji kao i kadmiziranje.



Slika 23.: Primjer galvanski pocinčanih zakovica [22]



Slika 24.: Razlika između proizvoda koji su pocinčani uranjanjem a) i elektrogalvaniziranjem b) [23]

### 3.2.1.3. Difuzijsko nanošenje

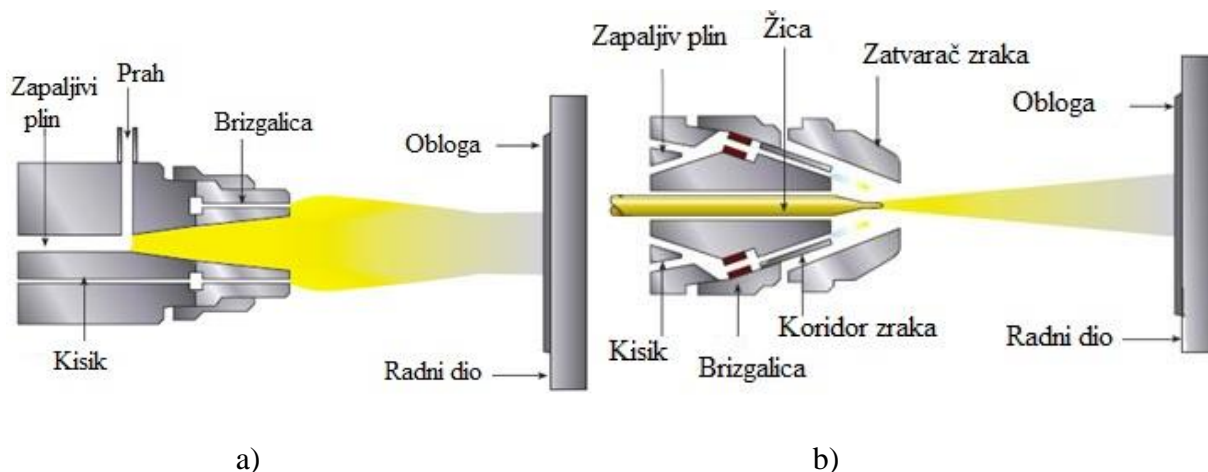
Osnova difuzijskog načina zaštite je difuzija drugog metala ili legure u površinski sloj predmeta pri visokoj temperaturi. Postoje razni načini difuzijske zaštite, a razlikuju se prema metalu ili leguri koja se koristi za difuziju.

Difuzija kroma ili termokromiranje je postupak kod kojeg se čelični elementi štite djelovanjem kromovog klorida. Odvija se na cca. 1000 °C u trajanju od 5 sati. U tim uvjetima kromov klorid raspada se na klor i krom. Atomi kroma prelaze u površinu čeličnog elementa i nastaje sloj željeza i kroma debljine 0,015 mm otporna na jake kemijske utjecaje. Kromov klorid može biti u praškastom, tekućem ili plinovitom stanju. Postoje još i postupci s aluminijem takozvano alitiranje i postupci s cinkom. [4]



### 3.2.1.4. Metalizacija

Metalizacija je postupak nanošenja metalnih prevlaka na predmete raspršivanjem rastaljenog metala s posebnim pištolje za raspršivanjem. Metal koji raspršujemo, obično ima nisko talište te je u obliku praha ili žice. Posebnim mehanizmom se dodaje materijal, a rastali se plamenom acetilena i kisika. Talina se zatim rasprši stlačenim zrakom na površinu gdje odma kristalizira. [4]



Slika 25.: Metalizacija prahom a); Metalizacija žicom b) [25]

### 3.2.1.5. Platiranje

Platiranje je mehanički postupak prekrivanja metala s drugim metalom. Platirani lim, posebice većih debljina, ima veliki značaj u industriji. Metali se platiraju zbog zaštite od korozije, ali i zbog posebnih svojstava koja se dobiju spajanjem dvaju metala. Zaštitni sloj se utisne na osnovni materijal jakim pritiskom, tako da su metali zavareni i tvore cjelinu. Platiranjem se štite legirani i nelegirani čelici koje je moguće zavariti postupcima zavarivanja taljenjem. Za platiranje se koriste razni metali i legure, npr.: bakar, nikal, nehrđajući čelici, legure Ni-Mo, NiCr-Mo i sl. [2]



Slika 26.: Primjer platiranih podložaka [26]

### 3.2.2. Nemetalne prevlake anorganskog izvora

Najvažnija prevlaka te vrste su emajli. Imaju razmjerno visoku temperaturu taljenja, stoga su primjenjivi samo kod metala koji isto tako imaju visoku temperaturu tališta. Najpoznatiji emajli su za legure na bazi željeza i za čelične limove. Mogu biti prozirni, neprozirni ili u boji. Emajli se sastoje od minerala, koji tvore staklo, i pomoćnih materijala. Staklo tvore:  $SiO_2$ ,  $B_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Na_2O$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $PbO$  i boraks. Pomoćni materijali se koriste kao sredstva za taljenje ( $CaF_2$  i kriolit), bojila ( $MnO_2$ ,  $Cr_2O_3$ ) i sredstva za bolje spajanje emajla s čeličnim limom ili lijevanim željezom. Za što bolju kvalitetu emajla, potrebno ga je nanositi na dobro očišćenu površinu i u više slojeva. Emajlirati se može vlažnim ili suhim postupkom. [3]



Slika 27.: Primjer emajliranih kada [27]

### 3.2.3. Nemetalne prevlake organskog izvora

Uljni premazi i masti štite metal samo privremeno te se koriste za zaštitu kod skladištenja ili u transportu. Upotrebljavaju se ulja i masti mineralnog izvora, dok masti i ulja biljnog ili životinjskog izvora postanu kisela. Dobra zaštitna svojstva imaju sljedeća ulja: cilindarsko ulje s dodatkom 10% cerezina i 5% kolofonije, vazelin s dodatkom 1% kolofonije i tehnički vazelin s dodatkom tekućeg olovnog sušila.

Prevlake bojama i lakovima imaju ulogu zaštite od korozije, ali i dekorativnu namjenu. Temeljni sloj je namjenjen spajanju s površinom metala, dok drugi sloj daje antikorozivnu zaštitu i lijep izgled.

Premazi bojama sastoje se od same boje i od veziva. Za boje se mogu koristiti npr.: cinkov oksid, cinkov kromat ili željezov oksid koji se rastope u vezivu. Obično se kao vezivo koristi laneno ulje i lak. Takve boje najčešće se koriste za zaštitu čeličnih konstrukcija. Prije bojanja, površine se moraju očistiti, a boja se može nanositi kistom, potapljanjem elemenata u boju ili raspršivanjem posebnim pištoljem.



*Slika 28.: Primjer obojanih čeličnih nosača [28]*

Postoje brojne vrste lakova koji se koriste za zaštitu metala. Uljni lakovi sastoje se od ulja, smole i topitelja, a koriste se za zaštitu drva, limenka i drugih limenih posuda. Nitrocelulozni lakovi sastoje se od nitroceluloze i topitelja (npr.: acetati, alkohol) te smole i omekšavala koji stvaraju fleksibilan sloj i otporan na pucanje. Prednost takvih lakova je brzo sušenje, a koriste se

u automobilske industriji. Kod lakova na osnovi umjetnih smola poznato je više vrsta. Neke vrste se suše vrlo brzo, dok se primjerice lakovi na osnovi fenolnih smola suše tek pri povišenim temperaturama. Općenito su lakovi na osnovi smole vrlo otporni i potpuno netopljivi. Postoje i lakovi na osnovi vinilnih smola koji su vrlo otporni na kemikalije. Lakovi se također mogu nanositi kistovima, potapljanjem u lak ili raspršivanjem. Potrebno ih je nanositi u jednakomjernim i ne pretjerano debelim slojevima.



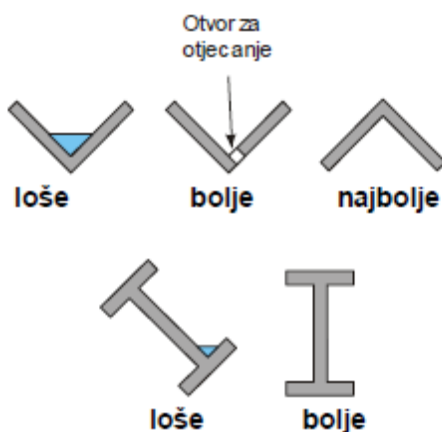
*Slika 29.: Primjer lakiranog čeličnog stola bez boje [29]*

### 3.3. Konstrukcijsko – tehnološke mjere

Proces korozije može se ukloniti ili bar usporiti pravilnim oblikovanjem čeličnih konstrukcija, različitim projektnim rješenjima i tehnologijom izrade. Tim mjerama utječe se najviše na usporavanje korozije u procjepu, erozijske i napetosne korozije te galvanske korozije.

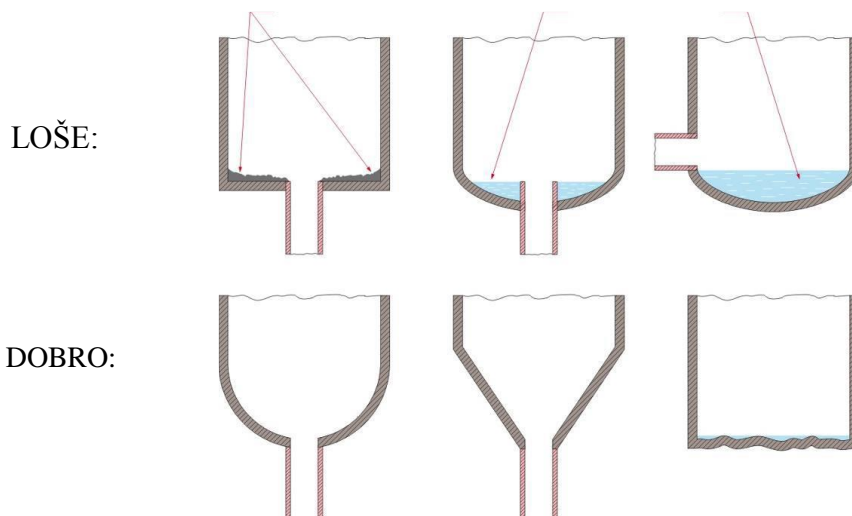
U nastavku se nalaze neke konstrukcijsko- tehnološke mjere i primjeri:

1. Zavareni spojevi, ako u dobro izvedeni, imaju prvenstvo pred vijčanim spojevima ili zakovičnim kod kojih je česta pojava korozije u procjepu,
2. Konstrukciju treba oblikovati tako da se na njoj ne zadržava voda, odnosno treba osigurati otjecanje vode,



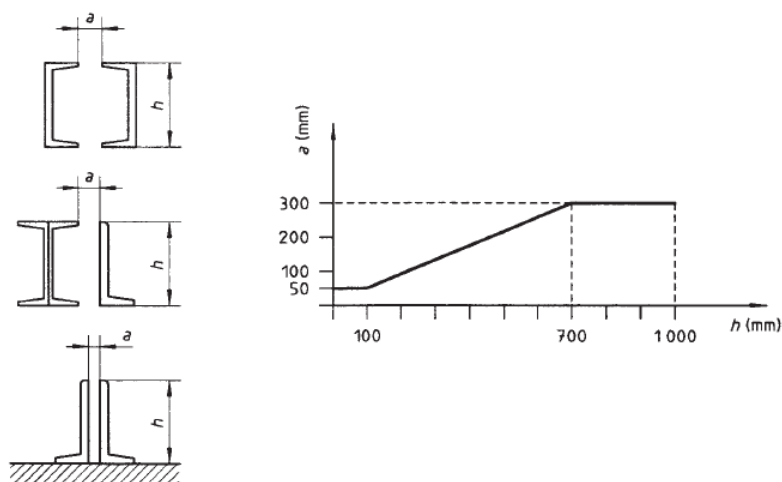
Slika 30.: Primjeri oblikovanja konstrukcije za što bolje otjecanje vode

3. Materijali za brtvila, pakiranje, toplinsku, električnu i zvučnu izolaciju ne smiju sadržavati agresivne sastojke i ne smiju apsorbirati vodu,
4. Rezervoari, spremnici i sl. trebaju se tako konstruirati da se lako prazne i čiste.,



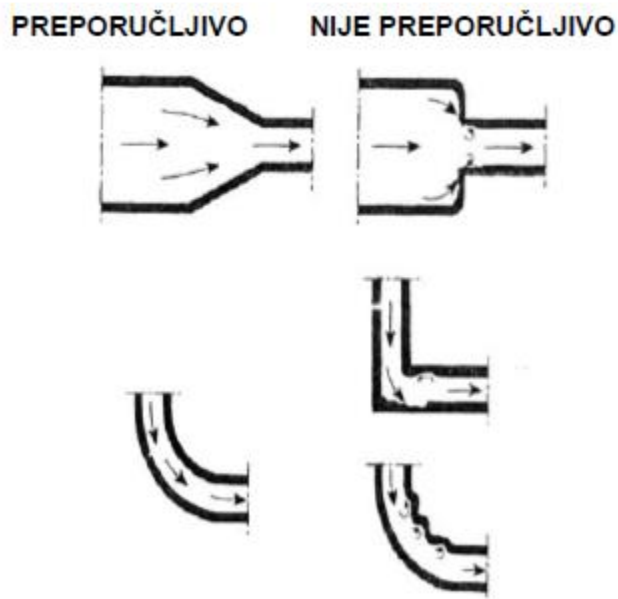
Slika 31.: Primjeri lošeg i dobrog konstruiranja spremnika

- Osigurati jednostavan pristup tj razmak između elemenata da bi se mogli provoditi postupci čišćenja i zaštite od korozije..



Slika 32.: Preporučene udaljenosti među elementima

- Izbjegavati mehanička naprezanja zbog smanjenja opasnosti od napetostne korozije
- Izbjegavati oštre zavoje u cjevovodnim sustavima radi smanjenja opasnosti od erozijske korozije

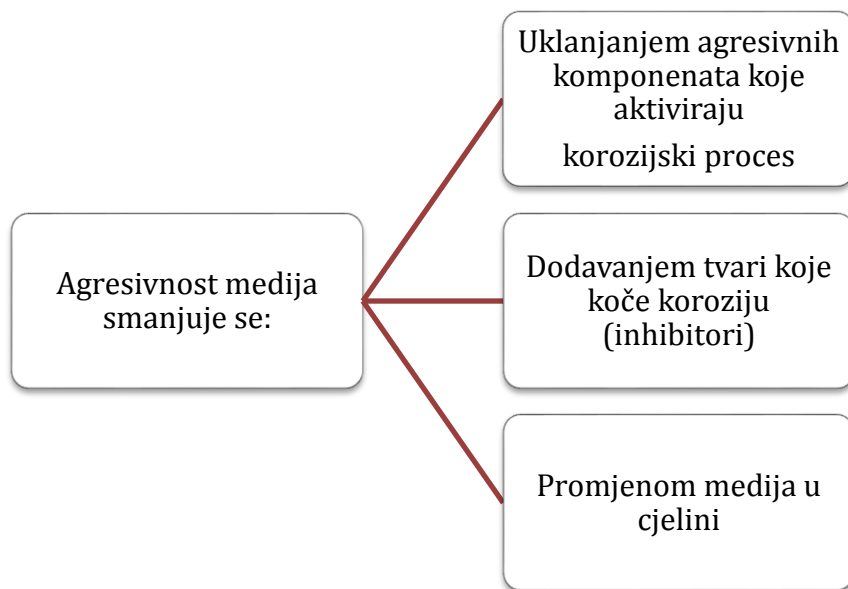


Slika 33.: Primjeri sprječavanja erozijske korozije

- Izbjegavati dodir različitih metala udaljenih u galvanskom nizu radi sprječavanja galvanske korozije
- Izbjegavati lokalna intenzivna zagrijavanja jer se korozija jako ubrzava porastom temperature

### 3.4. Smanjenje agresivnosti medija

Brzina i intenzitet korozije ovisi i o agresivnosti medija u kojem se neki element nalazi. Primjerice, prisutnost vode, vodenih otopina i sličnih tvari ubrzava nastajanje i širenje korozije. Zbog toga postoje načini za smanjenje agresivnosti medija koji su prikazani u sljedećem dijagramu:



Slika 34.: Načini smanjenja agresivnosti medija [1]

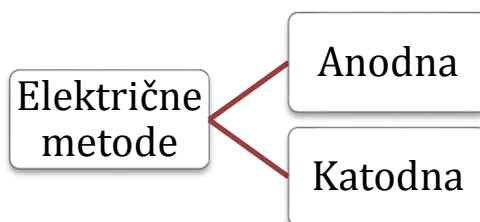
### 3.5. Električne metode zaštite

Električne metode temelje se na dvije mogućnosti:

1. Metal se održava u pasivnom stanju (područje potencijala pasivacije) ili
2. Metal se održava u imunom stanju (potencijali niži od stacionarnih).

Elektrokemijske se metode koriste kao zaštita posebice onih čeličnih konstrukcija koje su ukopane i uronjene primjerice cjevovodi, brodovi, izmjenjivači topline i sl.

Podjela električnih metoda zaštita u nastavku:



Slika 35.: Podjela električnih metoda ovisno o načinu polarizacije

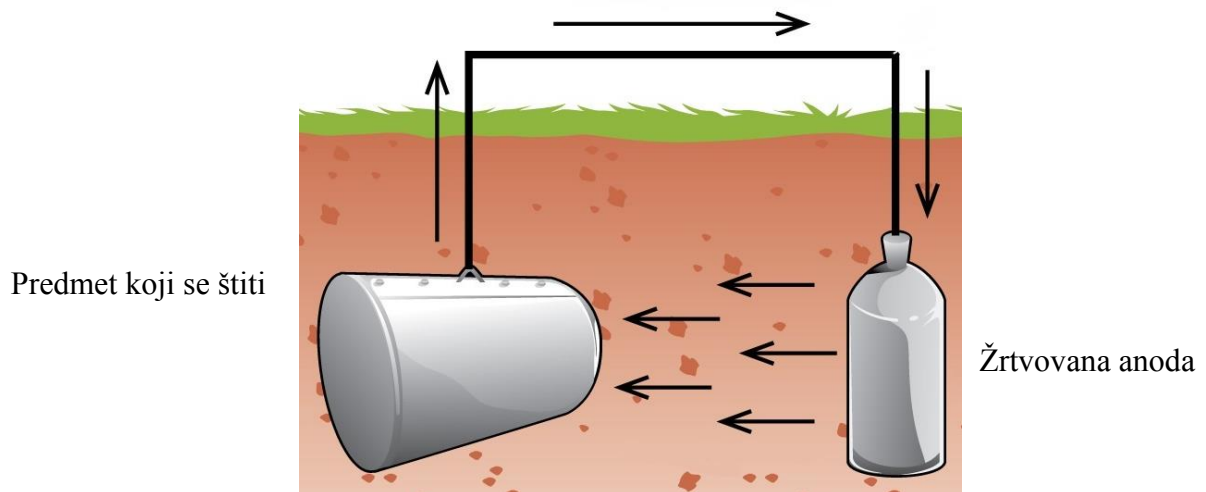
Anodna se zaštita temelji na usporavanju korozije anodnom polarizacijom metala odnosno pomakom potencijala metala u pozitivnom smjeru.

Može se primjenjivati:

- a) Izvorom istosmjerne struje (spajanjem s pozitivnim polom istosmjerne struje)
- b) Spajanjem s elektropozitivnijim metalom. [1]

Katodna se zaštita temelji na usporavanju korozije katodnom polarizacijom metala tj. pomakom elektrokemijskog potencijala u negativnom smjeru. Postoje 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 tj. žrtvovanom anodom.



Slika 36.: Prikaz katodne zaštite



## 4. Čišćenje površina

Zaštita materijala od korozije biti će efektivna samo u slučaju ako su površine materijala kvalitetno pripremljene i očišćene. Površine moraju biti kvalitetno očišćene da bi zaštitni slojevi mogli prijanjati na površinu osnovnog materijala. U suprotnom zaštita neće biti pouzdana. Čišćenjem površina potrebno je ukloniti prah, masti, okside i slične nečistoće koje mogu prouzrokovati loše prijanjanje zaštitnih prevlaka. [3]

Metode čišćenja površine:

- Mehanički
- Kemijski
- Odmašćivanjem

### 4.1. Mehaničko čišćenje

Mehanička priprema površine podrazumijeva skidanje korozijskih produkata i drugih nemasnih onečišćenja, a postiže se i određeni stupanj i oblik hrapavosti površine (kondicioniranje). To se postiže odvajanjem čestica s obrađivanih ploha trenjem s više ili manje oštrobriđbun zrnacima abraziva – tvrdi materijali. [3]

Mehanički se površine mogu čistiti na više načina:

- a) Brušenjem i poliranjem,
- b) Četkanjem
- c) Mlazom čestica ili vode. [2]

#### 4.1.1. Brušenje i poliranje

Brušenje i poliranje srednjih i velikih predmeta izvodi se abrazivnim zrnacima koja su ugrađena u alate ili raznovrsna sredstva koja se nanose na alate. Rotacijski alati imaju najrašireniju upotrebu i to obično kolotovi koji se montiraju na produljenu osovinu elektromotora. Predmeti koji se obrađuju pritišću se na obod koluta, ručno ili oprugama. Stupnjevitim upotrebljavanjem sve finijih zrnaca abraziva, postiže se sve glađa površina do zahtjevane kvalitete. Abrazivi koji se koriste za brušenje i poliranje su: elektrokorund, karborund (SiC), dijamant, smirak, kremen, troska visoke peće, staklo, kremenca zemlja, bečko vapno itd. Razlikuju se po tvrdoći i veličini zrnaca. Primjerice,

prema *Mohsovoj* ljestvici, najveću tvrdoću imaju dijamant i borazon, dok je bečko vapno tvrdoće 4-5 a kремена zemlja oko 6. Veličina abrazivnih čestica na alatu može biti u rasponu od jednog mikrometra do 3 milimetra. Označuje se brojevima 8 – 3000 koji rastu s finoćom zrnaca na alatu. [3]



*Slika 37.: Brušenje kutnom brusilicom [30]*



*Slika 38.: Poliranje [31]*

Brušenjem se čisti površina i postiže se određena kvaliteta površine. Ali ukoliko je potrebna viša kvaliteta površine, predmeti se dalje obrađuju poliranjem kod kojega se koriste finija zrnca s većim polumjerom zakrivljenosti na bridovima. Kod poliranja, glatkoća površine raste zbog skidanja čestica ali i zbog utiskivanja mikroizbočina te se dobiva visok sjaj površine. [3]

Alati koji služe za brušenje, osim abraziva, sadrže i keramičko ili neko drugo vezivo, primjerice bakelit, guma, šelak, vodeno staklo itd. Keramički alati dobivaju se prešanjem, sušenjem i pečenjem glinene kaše s abrazivnim zncima, a mogu biti ručni ili strojni alati različitih oblika, tvrdoće i veličina abrazivnih zrnaca. Alati se također razlikuju i po vlastitoj tvrdoći odnosno po otporu

veziva runjenju abrazivnih zrnaca pri radu. Za to se koriste oznake slovima abecednim redom od E do Z gdje je E najmekši alat a Z najtvrđi. Tvrdoća alata ovisi o vrsti veziva, a raste s njegovim udjelom. Mekšim alatima bruse se tvrđi materijali, jer se njihovim trošenjem uklanjaju otupljena i otkrivaju ošta zrnca abraziva. [3]

Alati za fino brušenje i poliranje često se izrađuju lijepljenjem abraziva na kolutove od filca, drva s kožnom oblogom ili od prošivenih listova pamučnog platna koje može biti gumirano. Primjenjuje se stolarsko tj. želatinsko ljepilo, ljepila na osnovi poliplasta, gume, šelaka, vodenog stakla, Sorelova cementa itd. Lijepljeni alati se najčešće koriste kao rotacijski kolutovi i imaju nekoliko slojeva abraziva. Postoje i kolutovi za trodimenzijsko brušenje i poliranje koji su izrađeni prešanjem isprepletenih vlakana s nalijepljenim grudicama plastične mase u kojima se nalaze raspršena abrazivna zrnca.

Svi alati za brušenje i poliranje, često se moraju podmazivati i/ili hladiti. Obično se za to primjenjuju masti i ulja, uljne emulzije u vodi, vodene otopine sapuna, petrolej i voda. Podmazivanjem se usporava trošenje alata, postiže se finija površina i ubrzava se obrada. Posebice se preporučuje korištenje sredstava za podmazivanje i hlađenje kod obrade mekih i termički osjetljivih materijala (npr. aluminij, plastomeri). [3]

Za finu mehaničku obradu često se koriste rotacijski kolutovi s pastama za poliranje. Paste su polučvrste smjese abraziva s mastima, parafinom, stearinom, voskovima i sl. Oblikuju se prešanjem ili lijevanjem u valjkaste kartonske kalupe, a nanose se na kolutove od pusta, papira ili tkanine. [3]

Postoje i papiri ili platna za brušenje i poliranje koja se koriste kao abrazivna sredstva. Na njih su nalijepljena abrazivna zrnca, najčešće smirka ili lomljenog stakla. Mogu se koristiti ručno, na rotacijskim kolutovima ili su u obliku beskonačnog traka napeti preko remenica (jedna pogonska i jedna ili dvije pomoćne). Takvim načinom rada se postiže konstantna brzina obrade, odnosno relativna brzina između tvrdih zrnaca i ploha koje se obrađuju te ga je posebice prikladno koristiti u automatiziranim sustavima. [3]

Optimalno područje brzine rezanja kod operacija strojnog brušenja i poliranja je između  $5$  i  $60 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  i ovisi o materijalu obratka te finoći obrade. Kolutovi imaju promjer između  $200$  i  $500 \text{ mm}$ , a za njihov pogon koriste se asinkroni elektromotori snage do  $5 \text{ kW}$  i s brojem okretaja  $2800 \text{ min}^{-1}$ . [3]

Alati za brušenje i poliranje mogu se montirati i na pneumatičke ili električne prenosive uređaje. Takvi alati su osobito prikladni za obradu velikih predmeta pri čemu se najčešće koristi čeona strana kolutova. [3]

Sitni predmeti u masovnoj se proizvodnji bruse i poliraju u rotacijskim ili vibracijskim uređajima uz pomoć abrazivnih zrnaca ili tijela. Kao rotacijski uređaji najčešće se koriste bubnjevi. To su vodoravno položene šesterokutne ili osmerokutne piramide kojima je moguće otvoriti jednu stranu u svrhu punjenja i pražnjenja. Postoje i zvana tj. krnje šesterokutne ili osmerokutne piramide, otvorene na gornjem kraju i postavljene pod kutom od  $45^\circ$  do  $75^\circ$  prema horizontali. Izrađeni su najčešće od ugljičnog ili nehrđajućeg čelika, bronce ili tvrdog drva, a iznutra se oblažu gumom ili poliplastom. Za grublju obradu se koriste bubnjevi, a zvana za finiju obradu. U bubnjeve i zvana, stavljaju se obratci i abrazivna tijela ili obratci, abrazivna zrnca i nosiva tijela u slučaju suhog postupka. Eventualno se dodaje još i voda, vodena otopina ili maziva ulja u slučaju mokrog postupka. Mokri postupak, pri kojem se dodaju vodene otopine za odmaščivanje, povoljniji je za finiju obradu. Frekvencija vrtnje bubnjeva i zvana u rasponu je od 10 do  $70 \text{ min}^{-1}$ , dok je obodna brzina između  $0,25$  do  $1,25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Bridovi i izbočine predmeta brže se obrađuju od sredina ploha i udubina, stoga je rotacijski postupak posebno pogodan za skidanje srha i zaobljivanje bridova. Roba se nakon pražnjenja odvaja od radnog medija s pomoću rešeta. Željezni predmeti mogu se odvojiti pomoću magnetske separacije. U slučaju mokrog postupka, robu je potrebno isprati pomoću organskih otapala ili vode da bi se uklonila radna kapljevina, sitna strugotina i abrazivna prašina. Nakon toga, roba se suši uz povišenje temperature. Kod suhog postupka, roba se nakon obrade čisti na rešetu strujom zraka. [3]



*Slika 39.: Bubanj za poliranje [32]*

Vibracijski uređaji za brušenje i poliranje sitne robe oblika su prstenaste zdjele ili korita i oslanjaju se na spiralne opruge. Elektromotor s ekscentričnim mehanizmom i pokretnim protuutegom prouzrokuje vibracije frekvencije  $1200$  do  $2400 \text{ min}^{-1}$ . Takav postupak je  $2$  do  $5$

puta brži od rotacijskog i prikladniji za obradu predmeta sa šupljinama ili predmeta koji se lako spleću. [3]



Slika 40.: Vibracijski bubanj za poliranje [33]

Poliranje sitne robe može se provesti i bez korištenja abraziva, odnosno utiskivanjem neravnina. Takva obrada se obavlja u rotacijskim bubnjevima uz dodana „tlačna“ tijela primjerice polirane kugle ili druga obla tijela od kaljenog ugljičnog ili kromnog čelika te porculanske, staklene ili ahatne kuglice. Ta tijela moraju biti tvrđa od obradaka. Mokri postupak se obično primjenjuje kod metala s dodatkom slabo lužnatih otopina. Kod poliplasta i vrlo osjetljivih predmeta metalnih predmeta, koristi se suhi postupak. Posvajivanje utiskivanjem provodi se mekšim materijalima (koža, kukuruzni klipovi, orahove ljuske) na suhi način. [3]

#### 4.1.2. Četkanje

Obrada površina četkanjem može biti strojno ili ručno, a obavlja se četkama od žica ili vlakana debljine 0,05 – 1 mm. Kod strojne obrade, četke se montiraju na produljenu osovinu elektromotora, a pri radu se rotiraju analogno kolotovima za brušenje i poliranje. Žice i vlakna koja se koriste na četkama, izrađene su od nehrđajućeg čelika, mjedi, novog srebra, najlona te biljnih i životinjskih vlakana. Odrađivati četkanjem može se na suho ili mokro, uz upotrebu abrazivnih sredstava ako je potrebno. Nakon četkanja dobije se posebni izgled površine obratka, a najfinijom obradom dobiva se polusjaj (*satiniranje*). Postupku četkanjem srodno je čišćenje površina ručnim trljanjem vune za čišćenje koja je izrađena od nehrđajućeg čelika, aluminijske ili najlona. [3]



Slika 41.: Primjer žičane četke [34]

### 4.1.3. Čišćenje mlazom čestica

Površine čelika moguće je očistiti pomoću mokrog ili suhog mlaza čestica ili vode. Takvim postupkom postiže se određena hrapavosti površine. Čestice u mlazu mogu biti tvrđe ili mekše od obradaka. O tome, o brzini radnog medija, o upadnom kutu mlaza te o obliku i veličini čestica ovisi učinak mlaza. Tvrđim česticama s oštrim bridovima i malim upadnim kutom ( $< 30^\circ$ ) skida se strugotina, dok se povećanjem kuta i oblijim kutovima čestica postiže i utiskivanje mikroizbočina, lomljenje okujina i površinsko otvrdnjavanje. Otvrdnjavanje površine najjače je pri kutu od  $90^\circ$ . Za obradu se najčešće upotrebljava kremenij pijesak, zrnca elekrokorunda, silicijeva, borova i volframova karbida, sačma od ugljičnog ili nehrđajućeg čelika, bijelog ili kovkastog lijeva, aluminijska, bakra itd. Obrada mlazom pijeska ili sačme, naziva se pjeskarenjem ili sačmarenjem. [3]

Suhi mlaz dobiva se pneumatičkim ili centrifugalnim raspršivanjem čestica koje su veličine 0,2 do 3 mm. Kod pneumatičkog postupka koristi se zrak pod tlakom 0,3 do 0,7 MPa koji prolazi kroz pištolje. U njih se dovode radne čestice na tri moguća načina. Mogu se dovoditi gravitacijski iz spremnika iznad pištolja, nasisno iz spremnika ispod pištolja ili tlačno iz spremnik pod tlakom zraka. Kod centrifugalnih uređaja se radne čestice privode u središte kotača s lopaticama. Mlaz se stvar na njegovu, a brzina mlaza je iznad  $50 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Pri suhom postupku nastaju krhke mineralne čestice i stvaraju prašinu koje nije primjenjiva za daljnji rad. Također, ta prašina štetno djeluje na zdravlje, a posebice kremena prašina izaziva plućnu bolest silikozu. Iz tog razloga, pri korištenju pneumatičkog pištolja, potrebno je koristiti se zaštitnim sredstvima poput skafandera u koji se dovodi čisti zrak. Pištolji se mogu smjestiti i u kabine s ventilatorima koji stvaraju podtlak. Na taj način se pištoljima rukuje izvana pomoću gumenih rukavica uz vizualnu kontrolu kroz hermetički zatvoren prozor. Koriste se i tzv. „vacu-blast“ pištolji koji imaju ugrađeni odsisni sustav za uklanjanje prašine. Takva štetna prašina ne nastaje ako se koriste metalne ili staklene kuglice. Centrifugalni raspršivači za suhi postupak najčešće se smještaju u komore čime se omogućuje

potpuna mehanizacija i automatizacija, a sprječava se i zagađivanje okoline. Sitna roba se obrađuje suhim centrifugalnim mlazom u otvorenim valjkatim posudama u uspravnom položaju. Za suhu obradu moguće je primjenjivati i robote. Ostaci radnih čestica i strugotine uklanjaju se ispuhivanjem zraka a medij se po potrebi može ponovno upotrijebiti. [3]

Pri mokroj obradi mogu se primjenjivati jako sitne čestice (do 3  $\mu\text{m}$ ) te se ne stvara štetna prašina. Radni medij se priprema u obliku suspenzije koja se sastoji od staklenih kugljica ili abraziva i vode, kojoj se mogu dodati sredstva za kvašenje i inhibitori korozije. Može se pripremati propuhivanjem zraka, rotacijskim miješanjem ili cirkulacijom pomoću crpke. Kod propuhivanja ili rotacije, suspenzija se u pištolj usisava pneumatički, dok se kod cirkulacijske pripreme suspenzija u pištolj dobavlja pomoću crpke ili pneumatički pomoću tlačne posude. Osim pneumatičkih pištolja, koriste se i centrifugalni i hidraulički raspršivači. Pneumatički se mogu koristiti ručno, međutim više se koriste u zatvorenim, mehaniziranim uređajima. Sitna roba se obrađuje u bubnjevima u koje su uvučeni pištolji, a suspenzija iz uređaja istječe kroz rupice.

Nakon mokre obrade, predmeti se moraju isprati vodom i sušiti po potrebi. Suspenzija se ponovno iskorištava, ali ju je potrebno regenerirati. [3]

Mokru obradu moguće je provesti i pomoću mlaza samo vode pod visokim pritiskom (do čak 300 MPa) . Takvim postupkom uklanjaju se ljevačke kore i okujine, posebice s velikih ploha. Po potrebi predmet se, nakon ovakvog postupka, suši. [3]



*Slika 42.: Primjer kabine za pjeskarenje (lijevo); primjer zaštitne opreme kod pjeskarenja (desno)*

[35]

## 4.2. Kemijska priprema

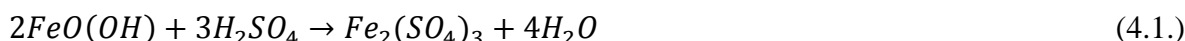
Kemijska priprema površina obavlja se spontanim ili elektrolitičkim reakcijama. Postupci se dijele na:

- a) obične kemijske,
- b) elektrokemijske.

Rezultati tih postupaka su skidanje korozivskih produkata ili kondicioniranje površine. Korozivski produkti skidaju se dekapiranjem tj. „nagrizanjem“, dok se nemehaničkim poliranjem, posjajivanjem i najedanjem kondicionira površina podloge. [3]

### 4.2.1. Kiselinsko dekapiranje

Kiselinsko dekapiranje najvažniji je kemijski postupak odstranjivanja korozivskih produkata, otapanja hrđe i okujine s ugljičnog, niskolegiranog čelika i lijevanog željezaoksidi i hidroksidi otapaju se kao soli uz nastajanje vode. Najčešće se izvodi pomoću 3-20%-tne sulfatne ili kloridne kiseline. Otopine se pripremaju dodavanjem koncentriranih kiselina u vodu. Kloridna kiselina koristi se na sobnoj temperaturi, ali maksimalno do 35°C zbog razvijanja otrovnih para pri višim temperaturama. Sulfatna (sumporna) kiselina presporo djeluje na sobnoj temperaturi pa se koristi pri temperaturama od 40 do 80°C. Reakcije otapanja glavnog sastojka hrđe  $FeO(OH)$  i okujine  $Fe_3O_4$  u sulfatnoj ili kloridnoj kiselini su:



Jednadžbe 4.1. i 4.2. prikazuju korisni učinak dekapiranja. Međutim, čim kiselina dođe u dodir sa željezom prodiranjem kroz porozni sloj korozivskih produkata ili lokalnim otapanjem tog sloja, počinju nepoželjne reakcije:



Reakcije prikazane u jednadžbama 4.3. i 4.4. nepotrebno troše kiselinu, uzrokuju vodikovu bolest i oštećuju obratke smanjujući im dimenzije i ohrapljivajući im površinu. Kod vodikove bolesti povećava se krhkost površine zbog apsorpcije atomskog vodika u metal. Kiselinama se dodaju inhibitori korozije u svrhu usporavanja tih reakcija. Inhibitori već i u malim količinama



usporavaju korozija od 5 do 25 puta. Na taj način, smanjuje se i onečišćenost zraka u radionicama jer se koči razvijanje mjehurića molekula vodika  $H_2$  koji povlače kapljice kiseline za sobom. Pretežito se koriste organski inhibitori primjerice tiokarbamid, butindiol, urotropin, želatina, škrob itd. Koriste se i anorganski inhibitori kao što su  $As_2O_3$  za sumpornu kiselinu, a  $SbCl_3$  i  $SnCl_2$  za klorovodičnu kiselinu. Kod tehničkog se željeza, kiselinsko dekapiranje može ubrzati dodavanjem površinski aktivnih tvari i spojeva. Oni daju anione koji stvaraju topljive komplekse  $Fe^{2+}$  i  $Fe^{3+}$  kao što su soli limunske, vinske ili oksalne kiseline. [3]

Kiselinsko dekapiranje može se izvoditi i u otopinama fluoridne, fosfatne, amidosulfonske ili neke organske kiseline. Fluoridna kiselina uklanja slojeve u kojima se nalazi  $SiO_2$  primjerice s odljevaka koji se izrađuju od kremenog pijeska i ferosilicija. Dekapiranje fosfatnom kao posljedicu ima nastajanje vrlo tankog filma željeznog fosfata koji onemogućava kvalitetno nanošenje metalnih i nekim nemetalnih prevlaka. Međutim, čini dobru podlogu za fosfatiranje i bojanje organskim premazima. Visokolegirani, nehrđajući i vatrootporni čelici dekapiraju se poslije vrućeg oblikovanja, toplinske obrade ili zavarivanja kako bi se uklonili oksidni slojevi i to najčešće u smjesama kiselina. Kiselinskim dekapiranjem mogu se čistiti i neželjeni metali. Bakar i njegove legure dekapiraju se najčešće u 65%-tnoj dušičnoj kiselini. Aluminijske legure s više od 2% silicija potrebno je dekapirati u otopini dušične kiseline, ali s dodatkom fluorovodika i natrijevog fluorida jer je potrebno ukloniti korozijske produkte sa silicijevim dioksidom. [3]

Obratci se kiselinski dekapiraju uranjanjem uz pokretanje obradaka ili miješanje otopine. Nakon toga, obratci se moraju isprati vodom uranjanjem ili mlazom. Na površinama ponekad može zaostati mulj koji se sastoji od slabije topljivih faza korozijskih produkata ili metala. Uklanja se četkanjem, izlaganjem ultrazvuku ili ispiranjem snažnim mlazom vode.



*Slika 43.: Postrojenje za dekapiranje [36]*

#### **4.2.2. Lužnato dekapiranje**

Za lužnato dekapiranje koriste se vruće 10-20%-tne otopine natrijevog hidroksida (NaOH) u koje se dodaju oksidansi, reducensi ili ligandi koji daju topljive komplekse. Oksidans koji se najčešće koristi je kalijev permanganat, a reducensi su najčešće suspendirana zrnca. Oksidiranjem i reduciranjem produkata korozije željeza nastaju čestice koje mogu zaostati kao mulj na površini te je stoga potrebno naknadno čišćenje. Ligandi koji se koriste pri lužnatom dekapiranju su citrati, tartarati, fluoridi, cijanidi i sl. u obliku natrijevih ili kalijevih soli. Lužnatim dekapiranjem postiže se i odmaščivanje površine.

Lužnato dekapiranje koristi se i kod aluminijskih legura kod koji se izvodi u 10%-tnoj otopini natrijevog hidroksida pri temperaturi od 20 do 60°C. Otopina skida korozijske produkte, ali otapa i aluminij. Stoga se obrada mora na vrijeme prekinuti jer ju nije moguće djelotvorno inhibirati kako se nebi oštetio materijal. Ako se lužnato dekapira tehnički aluminij koji sadrži od 0,2 do 0,8% željeza ili legure aluminijske s magnezijem, manganom, silicijem itd., na površinama zaostaje veća količina mulja. Stoga je osim ispiranja vodom, potrebno izvršiti i kiselinsko dekapiranje u dušičnoj kiselini. [3]

#### **4.2.3. Talinsko dekapiranje**

Taline za dekapiranje sadrže NaOH te 1-4% reducensa (NaH) ili oksidansa (npr. natrijev nitrat). Koriste se na temperaturama od 350 do 550 °C za skidanje debljih slojeva oksida s visokolegiranih željeznih metala. Produkti dekapiranja otapaju se u talini ili tonu na dno. Mogu i djelomično zaostati na površini obratka u obliku kore ili mulja. Kora se očisti naglim hlađenjem pod mlazom vode, a mulj se otklanja četkanjem, ultrazvukom i sl. [3]

#### **4.2.4. Paste za dekapiranje**

Pastama za dekapiranje se premazuju predmeti pomoću kistova ili krpa. Ostavljaju se neko vrijeme i ispiru se vodenim mlazom uz četkanje ukoliko je potrebno. Paste se sastoje od netopljivog praška ili želatinoznih tvari, od tvari koje otapaju korozijske produkte i vode. Kisele paste se najčešće primjenjuju u svrhu otklanjanja hrđe i okujina. Dekapiranje pastama može se koristiti na velikim predmetima te za lokalnu primjenu. [3]

#### 4.2.5. Elektrolitičko dekapiranje

Elektrolitičkim dekapiranjem nastoji se ubrzati uklanjanje korozivskih produkata. Primjenjuje se istosmjerna struja iz izvora niskoga napona 4-10 V. Katodnim postupkom se obratci spajaju na negativni pol izvora te se razvijaju mjehurići vodika koji rahle i reduciraju korozivske produkte. Međutim, katodni postupak može prouzročiti vodikovu bolest metala. Kod anodnog postupka se obratci spajaju na pozitivni pol izvora, a oslobađaju se mjehurići kisika koji rahle i oksidiraju korozivske produkte. Pri takvom postupku, često se otapa i metal što prouzrokuje smanjenje dimenzija obratka, ali ubrzava ljuštenje produkata. Obično se elektrodekapiranje izvodi kombiniranim, cikličkim promjenama smjera struje automatskim preklopnikom. Na taj način moguće je djelomično izbjeći nedostaci katodnog i anodnog postupka. Nakon dovoljnog broja ciklusa, postupak obično završava anodno zbog izbjegavanja vodikove bolesti. Najčešće se elektrodekapiraju željezni metali za što se koriste kiseli ili lužnati elektroliti. Izvodi se pri temperaturama od 20 do 80 °C u posudama pravokutnog oblika s trodijelnom električnom armaturom. [3]

#### 4.2.6. Kemijsko poliranje

Kemijskim poliranjem, smanjuje se hrapavost metala kemijskim postupkom. Ukoliko se dobiva i sjajna površina, postupak se naziva kemijsko posjajivanje. Učinak se temelji na geometrijski uvjetovanom otapanju metala u elektrolitu, tj. na bržem otapanju izbočina nego udubina mikroprofila. Geometrijski uvjetovano otapanje tj. poliranje prouzrokuju otopine koje stvaraju viskozni sloj uz metal ili čine površinu polupasivnom. S obzirom da se na mikroizbočana nalazi tanji sloj ili uopće ne postoji, one se brže otapaju. Obično se koriste smjese dviju kiselina primjerice fosforne i dušične ili dušične i sumporne. Za amfoterne metale (npr. aluminij) mogu se koristiti i lužnate kupelji. Poliranjem se najčešće povećava i sjaj, međutim, neki postupci prouzrokuju nastajanje „mikrovalovite“ površine koja ima polusjajan izgled (satiniranje) kod kojeg se svjetlo odbija difuzno. Posjajivanjem je potrebno dobiti površine koje imaju usmjereno odbijanje svjetla, što se ostvaruje ako otapanjem metala nastaju velike, vrlo glatke i usporedne zone. Kemijsko poliranje se najčešće koristi kod bakra i njegovih legura, aluminijskih i njegovih legura te kod jednofaznih nehrđajućih čelika.

Nakon postupaka kemijskog poliranja ili posjajivanja u kupeljima na obratcima ostaju ostaci pasivnog filma koji ometaju nanošenje prevlaka a posebice metalnih. Ponekad se ti ostaci trebaju ukloniti kratkotrajnim dekapiranjem tzv. bistrenjem.

Kod kemijskog poliranja otopine se onečišćuju ionima metala obradaka pa se stoga moraju često mijenjati. Proces se regulira održavanjem sastava otopine, promjenom temperature i vremena obrade. Kvaliteta poliranja i posjajivanja može se poboljšati dodavanjem površinski aktivnih tvari i aniona organskih kiselina. Problemi se javljaju kod obrade krupnozrnatih, šupljikavih metala i nekih višefaznih legura. Kemijsko poliranje ugljičnih čelika vrlo je problematično i zahtjevno, a posebice ako imaju visok udjel ugljika. [3]



Slika 44.: Primjer kemijski poliranih predmeta [37]

### **Razlike između kemijskog i mehaničkog poliranja**

Glavna je razlika u obrnutom redoslijedu uklanjanja neravnina. Kod mehaničkog se poliranja prvo gube grublje neravnine, a zatim fine neravnine primjenom sve sitnijih zrnaca radnog sredstva. Kemijskim se postupkom najprije gube finije neravnine, a grube neravnine se gube nakon otapanja debelog sloja metala. Iz tog je razloga, mehanički postupak bolji za grubu obradu, a kemijski za fino poliranje i posjajivanje. Površinski sloj se nakon mehaničkog poliranja bitno razlikuje od unutrašnjosti metalnog obratka jer se zbog pritiska i trenja alata deformiraju i usitnjuju kristaliti te se onečišćenje utiskuju u metal. Sve to uzrokuje veću tvrdoću, smanjenu žilavost, tlačne napetosti, promjene strukture i heterogenost površine, nakon čega dolazi do problema kod prijanjanja prevlaka i posljedičnog smanjenja njihove moći. Mehaničkom obradom može se povoljno djelovati na estetski dojam zbog plastične deformacije površinskog sloja koje prikrivaju eventualne pogreške (pukotine, uključine). Kemijskom obradom, površinski sloj se ne mijenja ali se otkrivaju pogreške. Zbog toga je kemijsko poliranje vrlo korisno kod dijelova koji su izloženi velikim naprezanjima i koji ne smiju imati pogrešaka. [3]

#### **4.2.7. Elektrokemijsko poliranje**

Elektrokemijsko ili elektrolitičko poliranje služi za smanjenje hrapavosti metala te se njime može postići i visok sjaj – elektroposjajivanje ili polusjaj - elektrosatiniranje. Dijelovi se spajaju anodno tj. spajaju se na pozitivni pol izvora istosmjerne struje napona od 8 do 24 V. Glavni anodni proces je ionizacija metala koja teče brže na mikroizbočinama nego na mikroudubinama, što znači

da je postupak vrlo srodan kemijskom poliranju. Na površinama koje se elektropoliraju odvijaju se samo anodni procesi te je zato moguće dobiti glađe ili sjajnije površine nego kod kemijskog poliranja. Kod elektropoliranja je moguće i kontrolirati brzinu i kvalitetu obradu promjenom gustoće struje, dok je kod kemijskog poliranja regulacija procesa vrlo teška. Elektropoliranje je financijski nepovoljnije jer su potrebni katode, izvor istosmjerne struje i električne armature. Također, svaki se obradak prije elektropoliranja mora spojiti s pozitivnim izvorom montažom na vodljivi nosač od žice. Tijekom elektropoliranja na obratku teku i sporedni anodni procesi poput oslobađanje kisika i/ili nastajanje metalnog oksida. Kao katode koriste se nehrđajući čelici, grafit, olovo, bakar itd. Glavni katodni procesi oslobađanje vodika i redukcija oksidansa. Temperatura kod elektropoliranja je od 20 do 80°C, a gustoće struje koja se koristi je između 1 i 60 A · dm<sup>-2</sup>.

Kupelji za elektropoliranje slične su kupeljima za kemijsko poliranje, ali se metal otapa narinutom anodnom strujom. Elektroliti koji se koriste mogu biti univerzalni i specifični. Univerzalni se koriste za poliranje mnogih vrsta metala, dok specifični samo za pojedine. Najuniverzalniji su Jaquetovi elektroliti, koji se pripremaju iz 70-72%-tne perkloratne kiseline, HClO<sub>4</sub> i organskih tvari, te kupelji na osnovi fosfatne i kromatne kiseline. Kod kupelji za elektropoliranje postoji opasnost od eksplozija i požara pa se ne smiju grijati na temperature veće od 40°C.

Materijali koji se najčešće elektropoliraju su nehrđajući čelici, bakar, aluminij i njihove legure. Kod tih materijala, obično se koriste kisele kupelje, no kod elektroposjajivanja rafiniranog aluminijsa vrlo je povoljno koristiti lužnate kupelji na osnovi natrijeva karbonata i natrijeva fosfata.

Elektropoliranje se može izvesti i tamponskim postupkom. Kod tog postupka, katoda je obložena spužvastim materijalom, natopljenim elektrolitom. Obradak je spojen kao anoda, a a spušva se pomiće po njemu. Tamponsko elektropoliranje najprikladnije je za velike predmete i lokalnu obradu. [3]



Slika 45.: Primjer elektrokemijski poliranih predmeta [38]

#### **4.2.8. Jetkanje (najedanje)**

S obzirom da je nekad površine za postupke prevlačenja potrebno ohrapaviti, koriste se mehanički postupci ili jetkanje. To je kemijsko otapanje, a rijetko može biti i elektrolitičko. Svrha tih postupaka je postizanje posebnog izgleda površine nakon prevlačenja, ali se i povećava čvrstoća prijanjanja nekih prevlaka (npr. organskih). Jetkanje se obavlja u otopinama za dekapiranje ali bez inhibitora. U nekim slučajevima mogu se jetkati i nemetali prije prevlačenja, primjerice poliplasti prije metalizacije. Elektrojetkanje se koristi samo kod metala anodnim otapanjem u otopinama male korozivnosti. [3]

### 4.3. Odmašćivanje

Odmašćivanje se koristi za odstranjivanje mineralnih i bioloških masnih tvari (npr. trigliceridi masnih kiselina iz biljki i životinja). Te tvari potječu od sredstava za hlađenje i podmazivanje pri mehaničkom oblikovanju obradaka odvajanjem čestica ili plastičnom deformacijom, od masnih prevlaka za privremenu zaštitu i od rukovanja golim rukama.

Metali i anorganski nemetali mogu se odmastiti fizikalnim otapanjem u hlapivim organskim otapalima, koja otpare s odmašćenih površina naknadno. Organski materijali nisu postojani u takvim otapalima, stoga o tome ovisi odabir sredstva za odmašćivanje. Obično se koriste alifatski (lančani) ugljikovodici i halogenirani alifatski ugljikovodici. Međutim, ugljikovodici su zapaljivi te se stoga ne smiju grijati. Rabljena, zapaljiva otapala ne smiju se regenerirati ni baciti u kanalizaciju zbog opasnosti od požara i eksplozije. Halogenirani ugljikovodici nisu zapaljivi pa se mogu koristiti pri višim temperaturama i regenerirati običnom destilacijom. No, unatoč tome grijanjem postaju nepostojani, posebice ako je prisutna voda i katalitičko djelovanje aluminija. Hidrolizom halogeniranih ugljikovodika nastaju vrlo agresivne kiseline primjerice klorovodična, fluoridna. Fotokemijskim učinkom ultraljubičastih zraka na pare kloriranih ugljikovodika nastaje zagušljivi plin fozgen, dok pare fluorirano-kloriranih ugljikovodika razaraju ozonski sloj. Zbog svih tih štetnih pojava, halogeniranim se ugljikovodicima dodaju stabilizatori, ali se i preporučuje korištenje ekološki povoljnijih sredstava za odmašćivanje.

S obzirom da se spomenuta otapala gotovo nikako ne miješaju s vodom, stvara se problem pri čišćenju ploha koje su vlažne i masne. Za to su primjenjivi primjerice etanol i aceton koji se miješaju s vodom, ali su zapaljivi i skupi. Za odmašćivanje se mogu koristiti i razrjeđivači organskih premaznih sredstava. To su smjese hlapivih organskih kapljevine (ugljikovodika, estera, ketona), međutim razrjeđivači su zapaljivi i ne miješaju se s vodom. [3]

Svojstva nekih otapala prikazana su u sljedećoj tablici:

Naziv	Formula/sastav	Vrelište [°C]	Gustoća [ $g \cdot cm^{-3}$ ]	
Aceton	$(CH_3)_2CO$	56	0,79	Lako zapaljiv, miješa se s vodom
Alkohol	$C_2H_5OH$	79	0,79	Lako zapaljiv, miješa se s vodom
Benzin	Smjesa alifatskih ugljikovodika	80 - 130	0,68 - 0,71	Lako zapaljiv
Perkloretilen	$CCl_2 = CCl_2$	121	1,59	Nezapaljiv, slab narkotik, prikladan za Al, ekološki štetan
Petrolej	Smjesa alifatskih ugljikovodika	150 - 250	0,80 - 0,82	Zapaljiv, sporo hlapi
Trifluortrikloretilan	$CClF_2 \cdot CClF_2$	48	1,57	Nezapaljiv, neotrovan, ekološki štetan, ugrožava ozon
Trikloretilan	$CH_3 \cdot CCl_3$	74	1,34	Nezapaljiv, slab narkotik, ekološki štetan
Trikloretilen	$CHCl = CCl_2$	87	1,47	Nezapaljiv, slab narkotik, ekološki štetan

Tablica 2.: svojstva nekih otapala masnih tvari

Odmašćivanje organskim otapalima može se izvesti trljanjem natopljene tkanine, no takav se način koristi pretežito u manjim radionicama. Često se obratci odmašćuju uranjanjem u otapalo, što se može ubrzati miješanjem otapala. Može se uranjati jednokratno ili višekratno. U slučaju višekratnog uranjanja, postupak se naziva i baterijskim jer se uređaj u kojem se izvodi odmašćivanje, sastoji od „baterije“ s nekoliko posuda u koje se obratci uzastopno uranjaju. Koristi se i odmašćivanje prskanjem, parno te ultrazvučno odmašćivanje. [3]

Parno odmašćivanje često se kombinira s uranjanjem ili prskanjem. Kod parnog odmašćivanja, hladni obratci se izlažu pari otapala koje vrije u donjem dijelu uređaja. Na obratcima se stvara kondenzat koji otapa masne tvari i otkapljuje u vrelo otapalo. Takav se uređaj obično koristi i za uranjanje u vruće otapalo, za regeneraciju otapala destilacijom, a može se koristiti i za završno odmašćivanje u destilatu. [3]





*Slika 46.: Oprema za parno odmašćivanje [39]*

Korištenjem ultrazvuka za vrijeme odmašćivanja uranjanjem, ono se znatno ubrzava. Ultrazvuk proizvode vibratori uronjeni u otapalo, a vibracije izaziva električno ili magnetsko polje visokofrekventne struje iz generatora. Valovi ultrazvuka uzrokuju izmjeničnu ekspanziju uz pojavu kavitacije i kompresiju kojom nestaju mjehurići nastali kavitacijom. Tom pojavom masne tvari odvajaju se od površine obratka, pa otapalo može vrlo lako odmastiti i predmete kompliciranih profila. [3]

Za odmašćivanje se koriste i emulzije organskih otapala u vodi. Pripremaju se miješanjem nakon dodavanja emulgatora iz otapala koja se slabo miješaju s vodom. Emulgatori su organske, površinski aktivne tvari, što znači da smanjuju međupovršinsku napetost između otapala i vode te se time dobiju stabilne emulzije. Emulzije se mogu koristiti i na vlažnim predmetima, a razrijeđene emulzije zapaljivih otapala se mogu koristiti i pri višim temperaturama. Odmašćivanje emulzijama se izvodi prskanjem ili uranjanjem. Nakon obrade, predmeti se moraju isprati u vodi uz snažno miješanje ili jakim mlazom vode. [3]

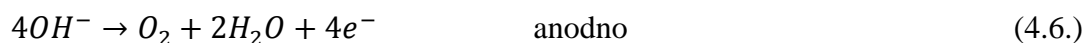
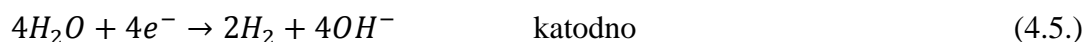
Dispergiranjem se također mogu ukloniti masne tvari s obradaka. To je zapravo emulgiranje ili suspendiranje u vodenim sredinama, tj u lužnatim otopinama, u otopinama sredstava za kvašenje te u kiselim otopinama jakih oksidansa. Lužnate otopine koje sadrže sredstva za kvašenje su djelotvornije pa se stoga i često koriste. [3]

Lužnate otopine pripremaju se iz hidroksida, karbonata, silikata, borata i fosfata natrija i kalija, a primjenjuju se pri temperaturama od 50 do 100 °C uranjanjem uz miješanje ili prskanjem. Vrlo su agresivne prema amfoternim metalima (Al, Pb, Sn, Zn i njihove legure) zbog pH-vrijednosti koja je veća od 11 pa se moraju odmašćivati u lužnatim otopinama vrlo oprezno. Zato se koriste

otopine manjih koncentracija, niže temperature i kraća vremena obrade. Jako lužnate otopine pri povišenim temperaturama, brže uklanjaju masne tvari biološkog podrijetla. Tijekom uranjanja u lužnate otopine, na površini se stvara masna pjena zbog nestabilnosti nastale disperzije i niske gustoće masnoća. Pjena se mora ukloniti jer bi se inače predmeti vađenjem kroz tu pjenu ponovno zamastili. Uklanja se otpuhivanjem zrakom i vađanjem lopaticom. Najefikasnije je prelijevanje otopine s površine u poseban pretinac posude. [3]

Iako fosfati imaju vrlo dobru moć odmašćivanja, ali uzrokuju eutrofikaciju prirodnih voda, odnosno povećano bujanje nekih algi. Što povećava onečišćenje plaža i štetno djeluje na ribe. Zbog tih štetnih utjecaja sve se više koriste silikati.

Uranjanje u lužnate otopine također se može ubrzati korištenjem ultrazvuka i elektroodmašćivanjem. Elektroodmašćivanje je efikasno samo za vodljive materijale, pretežito metale. Može se provoditi katodno, anodno ili kombinirano. Za kombiniran anodno – katodni proces potreban je izvor struje napona od 3 do 12 V, a izvodi se pri temperaturama od 20 do 50 °C. U tom procesu događa se elektroliza vode kojom se katodno izlučuje vodik, a anodno kisik:



Volumen vodika koji se razvija u elektrolizi dvaput je veći od volumena kisika. Uz katodu je otopina lužnatija jer se razvija  $OH^-$ , što povoljno utječe, a uz anodu je manje lužnata jer se troši  $OH^-$ , što nepovoljno utječe na odmašćivanje. Strujanje vodika tijekom izlaska iz otopine, 4 je puta brže od strujanja kisika, što uzrokuje intenzivno gibanje kupelji uz elektrode i ubrzanje odmašćivanja.

Može se zaključiti da je katodno odmašćivanje brže, ali može uzrokovati vodikovu bolest što je posebno opasno u uvjetima velikog naprežanja. Prednost anodnog postupka je ta što se ne javlja vodikova bolest, ali može doći do pasivacije ili potamnjenja metala zbog djelovanja atomskog kisika. Time se smanjuje čvrstoća prijanjanja nekih prevlaka i loše utječe na njihov estetski dojam. Upravo zbog svih nedostataka anodnog odnosno katodnog postupka, koriste se kombinirani postupci pri čemu se posljednji provode anodni postupci kako bi se izbjegla opasnost od vodikove bolesti. [3]

Za elektroodmašćivanje mogu se koristiti protuelektrode od čelika, ali su preporučljivije od nikla ili debelo niklanog čelika jer je nikal otporan na utjeaj lužnatih otopina. Protuelektrode potrebno je smjestiti s obiju strana obradaka, zbog odmašćivanja svih ploha. Za to se koriste posude pravokutnog presjeka s uzdužnom nosivom armaturom sa 3 šipke. Srednja služi za vješanje obratka dok ostale dvije za montažu protuelektroda. U slučajevima kad su obratci jako zamašćeni, potrebno ih je prije grublje odmastiti pa samo elektroodmašćivanje traje kraće.

Sredstva za kvašenje su površinski aktivne tvari koje smanjuju napetost na površini kapljevina olakšavajući time dispergiranje drugih tvari. Za odmašćivanje se koriste razrijeđene tople otopine sredstava za kvašenje u vodi. U njima se lako dispergiraju masne tvari s površine obradaka, a odmašćivanje se provodi uranjanje uz miješanje, prskanjem ili pomoću ultrazvuka tako da nastaju emulzije i suspenzije različite stabilnosti. Tvari za kvašenje daju u vodi velike molekule ili ione organskog karaktera koji su hidrofilni tj. skloni miješanju s vodom. Ostatak molekula su molekule ili ioni koji nisu skloni miješanju s vodom tj. hidrofobni. Takve hidrofobne molekule nastoje izaći iz vodene faze u nevodenu, dok hidrofilne ostaju u vodenoj fazi. Tim procesom se obratci odmašćuju dispergiranjem. [3]

Sredstva za kvašenje mogu se podijeliti na dva načina.

Prva podjela temelji se na karakteru površinski aktivnog sastojka u otopini, a to su:

- a) Anionski aktivni,
- b) Kationski aktivni,
- c) Neionski aktivni (neionogeni).

Druga podjela temelji se na načinu dobivanja:

- a) Sapuni
- b) Deterdženti

Sapuni se proizvode iz prirodnih masti i jakih lužina, pri čemu nastaju natrijeve ili kalijeve soli karboksilnih kiselina i glicerol kao nusprodukt. Oni daju površinski aktivne tvari poput palmitata. Deterdženti proizvode se sintetički. Anionski aktivni deterdženti su organski sulfati i sulfonati, a takvi deterdženti i sapuni odmašćuju samo u lužnatim otopinama jer se u suprotnom izlučuju netopljive organske kiseline. Sapuni loše odmašćuju i u tvrdoj vodi zbog izlučivanja netopljivih kalcijevih i magnezijevih sapuna. Otopine na osnovi anionski aktivnih tvari sadrže lužnate tvari, dok su kationski aktivni deterdženti soli organskih lužina poput amina i amonijevih baza. Takvi deterdženti djelotvorni su samo u kiselim otopinama, a s obzirom da nemaju veliku snagu odmašćivanja rijetko se koriste. Neionski aktivni deterdženti djeluju u lužnatim, kiselim i neutralnim otopinama, a primjenjuju se najčešće esteri i eteri poliglikola. [3]

Za odmašćivanje se koriste otopine s  $1-20 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  sredstva za kvašenje uz eventualni dodatak lužnate tvari. Pripremaju se iz industrijskih deterdženata koji mogu biti u obliku praška, paste ili kapljevito koncentrata pri temperaturama većim od  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ . U zamašćenim otopinama može se razdvojiti disperzija uz pojavu pjene koja se mora uklanjati.

Sredstva za kvašenje mogu poslužiti i kao emulgatori za otapala masnih tvari te kao dodaci lužnatim otopinama za odmašćivanje.

Kisele otopine mogu poslužiti za odmašćivanje samo ukoliko sadrže vrlo snažne oksidanse. Prema većini metala su korozivne, pa se većinom koriste za čišćenje stakla, keramike i nekih plastičnih masa. Krom – sumporna otopina najbitnija je kiselina otopina za odmašćivanje, a primjenjuje se na sobnoj temperaturi uranjanjem ili prelijevanjem. U ovom postupku, masnoće se skidaju oksidativnim razaranjem. [3]

Lužnate kaše također mogu poslužiti za odmašćivanje koje čine slabo topljivi oksidi i hidroksidi kalcija i magnezija s vodom. Najčešće se dobivaju iz „bečkog vapna“ tj praška koji se dobiva mjevenjem i prženjem dolomita. Čišćenje se obavlja ručnim trljanjem četkama ili krpama uz naknadno ispiranje vodom. Primjenjuje se kod čišćenja glomaznih i jako profiliranih predmeta.

Za grubo odmašćivanje često se koristi mlaz vodene pare odnosno smjese pare s vrelom vodom. Smjesa se proizvodi u tlačnim posudama grijanjem vode iznad  $150 \text{ }^\circ\text{C}$ . Samo čišćenje temelji se na mehaničkom učinku kapljica iz mlaza pri sudaru s površinom te na grijanju masnih tvari u dodiru s vrelom vodom i parom. U svrhu ubrzavanja odmašćivanja, smjesi se mogu dodati

lužnate tvari ili sredstva za kvašenje. Ovaj postupak moguće je koristiti za čišćenje vrlo prljavih površina pa je vrlo prikladan za čišćenje vozila i strojeva pri remontu.

Pri ispiranju površina, ispituje se potpunost odmaščivanja tzv. vodenim testom. Ako voda koja kvasi površinu, povlačenjem s površine tvori suhe „otoke“ ili se skuplja u kapljive, površina je još uvijek masna i potrebno je dodatno odmaščivanje. [3]

## 5. Priprema površine prema normama

Čišćenje površine, primjerice mehaničko pomoću abrazivnih čestica, samo za sebe ne znači ništa. Površina mora biti pripremljena u skladu s normama i imati određenu hrapavost kako bi zaštitni slojevi mogli biti efikasni i postojani.

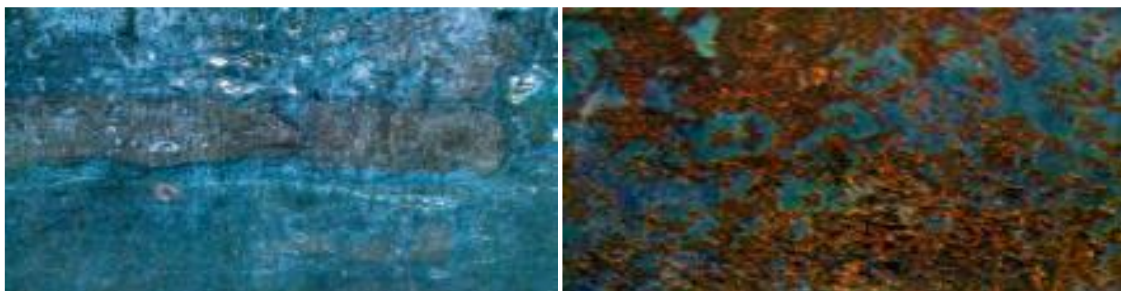
Postoje dvije vrste pripreme površine:

- a) PRIMARNA (POTPUNA) PRIPREMA:
- b) SEKUNDARNA (DJELOMIČNA) PRIPREMA [40]

### 5.1. Primarna priprema

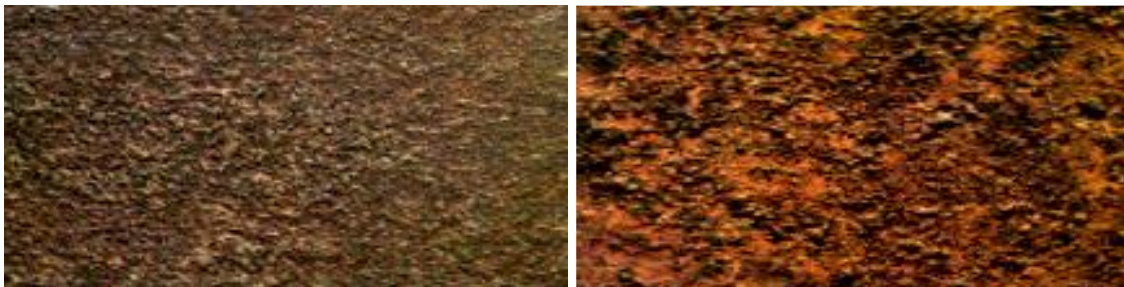
Norma ISO 8501-1 odnosi se na primarnu pripremu te sadrži slikovni standard povezan sa čistoćom površine s naglaskom na čišćenje mlazom abrazivnih čestica. U toj normi prikazani su stupnjevi kvalitete površine prije i nakon obrade. [41]

U nastavku se nalaze primjeri stanja površine prije čišćenja klasificirani prema razredima A, B, C i D:



a)

b)



c)

d)

*Slika 46.: Stanje površine prije obrade*

Objašnjenje:

- a) Razred A: Čelična površina prekrivena je okujinama, ali hrđa gotovo ne postoji,
- b) Razred B: Čelična površina počela je hrđati, a okujine su se počele ljuskati,
- c) Razred C: Čelična površina na kojoj su okujine pohrđale i otpale ili ih je moguće ostrugati, vidljiva blaga rupičasta korozija golim okom,
- d) Razred D: Površina čelika na kojoj su okujine potpuno zahrđale i otpale, vidljiva rupičasta korozija po cijeloj površini. [41]

Norma ISO 8501-1 također klasificira stupnjeve pripreme površine nakon čišćenja kod ugljičnih i niskolegiranih čelika koji nisu prethodno bili zaštićeni prevlakama. U normi se preporučuje više načina priprema površine (mlazom abraziva, mehaničko, kemijski, plamenom-rijetko se koristi), a prikazani su u nastavku:

<b>Priprema mlazom abraziva</b>	
<b>Sa 1</b>	<p>Lagano čišćenje</p> <hr/> <p>Prilikom pregleda površine bez upotrebe povećala ne smije biti vidljivo prisustvo ulja, masnoća, onečišćenja, slabo prijanjajuće okujine, hrđe i premaza i stranih tijela</p>
<b>Sa 2</b>	<p>Temeljito čišćenje</p> <hr/> <p>Prilikom pregleda bez upotrebe povećala, na površini ne smije biti vidljiva prisutnost ulja, masnoća, onečišćenja, okujine, hrđe, premaza, stranog tijela. Ostali ostaci onečišćenja moraju dobro prijanjati.</p>
<b>Sa 2 ½</b>	<p>Vrlo temeljito čišćenje</p> <hr/> <p>Prilikom pregleda bez upotrebe povećala, na površini ne smije biti vidljiva prisutnost ulja, masnoća, onečišćenja, okujine, hrđe, premaza, stranog tijela. Bilo koji ostaci onečišćenja smiju biti prisutni samo u vidu laganih mrlja (točkice, pruge).</p>
<b>Sa 3</b>	<p>Čišćenje mlazom do skidanja svih nečistoća</p> <hr/> <p>Prilikom pregleda bez upotrebe povećala, na površini ne smije biti vidljiva prisutnost ulja, masnoća, onečišćenja, okujine, hrđe, premaza, stranog tijela. Površina mora imati ujednačenu metalnu boju.</p>
<b>Ručno i strojno čišćenje</b>	
<b>St 2</b>	<p>Temeljito čišćenje ručnim ili strojnim alatima</p> <hr/> <p>Prilikom pregleda bez upotrebe povećala, na površini ne smije biti vidljivog prisustva ulja, masnoća, onečišćenja, slabo prijanjajuće okujine hrđe, premaza i stranih tijela.</p>
<b>St 3</b>	<p>Vrlo temeljito čišćenje ručnim i strojnim alatima</p> <hr/> <p>Kao kod St2, ali površinu treba obraditi daleko temeljitije kako bi se postigao metalni sjaj koji dolazi od metalne podloge.</p>

Tablica.3.: Pripremni razredi [41]



U skladu s tablicom, primjeri u nastavku prikazuju izgled površine nakon obrade propisanim čišćenjem:



A Sa 3



A Sa 2 1/2



B Sa 2



B St 2



C Sa 2 1/2



C St 3



D Sa 2 1/2



D St 2

*Slika 47.: Izgledi površine nakon propisanih obrada [41]*

Iz prethodnih primjera, može se zaključiti da postupci čišćenja daju različitu hrapavost površine. Hrapavost je vrlo važan parametar u provođenju zaštite od korozije a definirana je kao amplituda poprečnog profila (udaljenost „brijeg“-„dol“). Ovisi o stanju površine, o intenzitetu i trajanju čišćenja, alatu i sredstvima koje se koriste. [41]

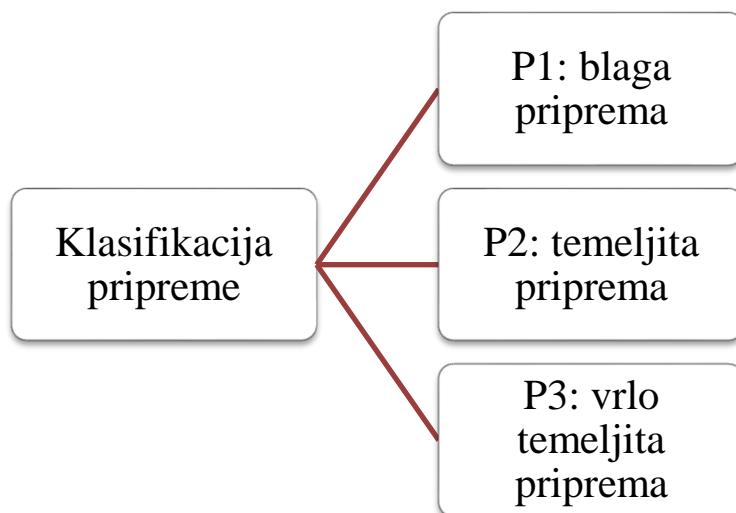
## 5.2. Sekundarna priprema

Ako je konstrukcija koja se priprema za zaštitu od korozije prethodno već bila zaštićena od korozije na neki način i ako prema procjeni nije potrebno uklanjanje postojećeg sloja, koristi se lokalno mehaničko abrazijsko čišćenje. Klase čišćenja su: P Sa 2, P Sa 2 ½, P Sa 3, P St 2, P St 3, P Ma prema ISO 8501-2.

Kod elemenata konstrukcije koji su zaštićeni temeljnim premazom u svrhu uskladištenja, takav se premaz ne skida u potpunosti nego prema potrebi. Potrebno ga je i temeljito oprati pod pritiskom od 15 do 20 MPa, nakon čega se nanosi kompatibilni premaz. [42]

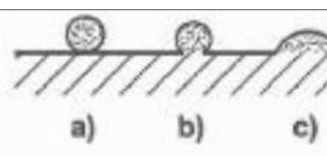
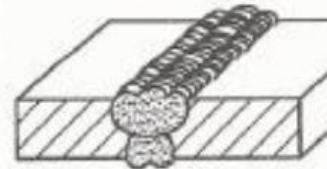
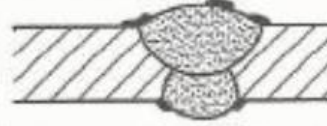
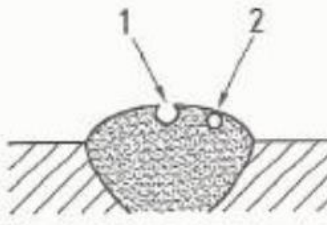

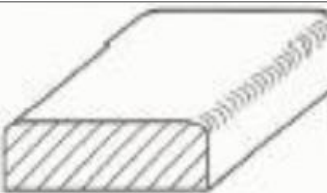
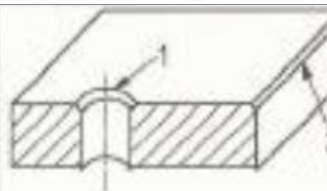

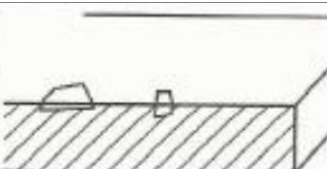
## 5.3. Priprema zavara, rubova i ostalih površinskih nepravilnosti

Pripremu zavara, rubova i ostalih površinskih nepravilnosti potrebno je izvoditi prema normi ISO 8501-3, a klasificira se u 3 razreda: [42]



Slika 48. : Klasifikacija pripreme zavara, rubova i ostalih nepravilnosti

U nastavku su izdvojeni neki primjeri i minimalni zahtjevi čišćenja:

	SKICA	STUPANJ PRIPREME		
		P1	P2	P3
<b>ZAVARI</b>				
Zavarivačko prskanje		kako je realno stanje (pogledati a))	površina očišćena od prskanja (pogledati a) i b), c) (dozvoljeno)	površina je očišćena od svakog zavarivačkog prskanja (osim zajeda)
Zavar – profil		kako je zavareno	očišćeno na način da se ukloni nepravilni profil i oštri rubovi	potpuno očišćena i glatka površina
Zavarivačka troska (šljake)		površina očišćena od troske (šljake)	površina očišćena od troske (šljake)	površina očišćena od troske (šljake)
Poroznost	 1 – otvorena poroznost 2 – zatvorena poroznost	postignuta površina	otvorene površinske pore ili očišćene	površina mora biti bez vidljivih pora
Završni krater		kako je realno stanje	završni krateri bez oštih rubova	bez vidljivih kratera i rubova
<b>RUBOVI</b>				
Valjani rubovi		površina valjanog poluproizvoda	površina valjanog poluproizvoda	rubovi se zaobljavaju polumjerom $r > 2\text{mm}$ (preporuka: brušenje u tri koraka)
Rubovi dobiveni bušenjem (štancanjem), smikom ili piljenjem		nijedan rub nesmije biti oštar, rubovi bez srha	umjereno glatki rubovi	rubovi se zaobljavaju polumjerom $r > 2\text{mm}$ (preporuka: brušenje u tri koraka)
<b>POVRŠINE</b>				
Jame i krateri		nastali krateri i jame trebaju biti otvoreni da dopuste prodiranje boje	nastali krateri i jame trebaju biti otvoreni da dopuste prodiranje boje	površina mora biti bez kratera i jama
Uvaljani vanjski element		površina treba biti očišćena od uvaljanih vanjskih elemenata	površina treba biti očišćena od uvaljanih vanjskih elemenata	površina treba biti očišćena od uvaljanih vanjskih elemenata

Tablica 4.: Primjeri i minimalni zahtjevi čišćenja

## 6. Zaključak

Korozija ima vrlo štetan utjecaj na materijale te vrlo lako može prouzročiti velike materijalne štete te ugroziti živote ljudi, ako se ne spriječi njeno nastajanje. S obzirom da je konstrukcijski čelik, koji je vrlo podložan koroziji, čest strojarski materijal bitno ga je zaštititi.

Najčešći postupci za zaštitu od korozije koji se koriste su postupci prevlačenjem. Prevlake daju lijep estetski izgled i postojanu zaštitu od korozije. Međutim, za njihovu efikasnost potrebna je kvalitetna priprema površine. Sve nečistoće onemogućuju njihovo prijanjanje i mogu uzrokovati ljuštenje zaštitnog sloja, što uzrokuje nastajanje korozije. Može se zaključiti da efikasna zaštita od korozije zapravo ovisi o kvalitetnoj pripremi površine prema normama. Loša priprema i čišćenje površine materijala u konačnici može uzrokovati velike materijalne štete i ugrožavanje života ljudi jer ne omogućava pouzdanu zaštitu od korozije.

IZJAVA O AUTORSTVU  
I  
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, MAJA HOHNJEC (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom PRIPREMA POUČAVINE ZA ZAŠTITU OD KOROZIJE PREVLAKENJEM (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Hohnjec  
(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, MAJA HOHNJEC (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom PRIPREMA POUČAVINE ZA ZAŠTITU OD KOROZIJE PREVLAKENJEM (upisati naslov) čiji sam autor/ica.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Hohnjec  
(vlastoručni potpis)

## 7. Literatura

- [1] M. Horvat: Korozija i površinska zaštita, materijali sa predavanja, Sveučilište Sjever
- [2] P. Leskovar: Preizkušanje kovin, litje, važnejša nekovinska gradiva, korozija in površinska zaštita, Fakulteta za strojništvo univerze v Ljubljani, Ljubljana, 1978.
- [3] I. Esih: Osnove površinske zaštite, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2010.
- [4] J. Grum: Tehnologija in obdelava materialov, Ljubljana, 2017.
- [5] <https://www.european-coatings.com/Raw-materials-technologies/Applications/Protective-Marine-coatings/Corrosion-protection-of-mild-steel-surfaces#>
- [6] [https://www.researchgate.net/figure/Pitting-intensity-diagrams-Figure-taken-from-2\\_fig4\\_320716318](https://www.researchgate.net/figure/Pitting-intensity-diagrams-Figure-taken-from-2_fig4_320716318)
- [7] I. Juraga, V. Alar, V. Šimunović, I. Stojanović: Korozija i metode zaštite od korozije, Fakultet strojarstva i brodogradnje
- [8] <https://faculty.kfupm.edu.sa/ME/hussaini/Corrosion%20Engineering/04.03.01.htm>
- [9] <https://corrosion-doctors.org/Forms-selective/dezinc-valve.htm>
- [10] <https://www.ksb.com/centrifugal-pump-lexicon/corrosion/191432/>
- [11] <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/intergranular-corrosion>
- [12] M. Horvat, I. Samardžić, V. Kondić: Napetosna korozija, Veleučilište u Varaždinu, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu
- [13] L. Vehovar: Korozija kovin in korozijsko preskušanje, Ljubljana, 1991.
- [14] <https://thielsch4syte.com/2018/10/28/corrosion-fatigue-in-boiler-tubes/>
- [15] <http://www.corrosionlab.com/papers/erosion-corrosion/erosion-corrosion.htm>
- [16] <https://www.ksb.com/image/190058/17x11/425/275/8afac324dc9a41594bc40bd45f6105d/cM/korrosion-9.jpg>
- [17] [https://cdcorrosion.com/mode\\_corrosion/corrosion\\_fretting.htm](https://cdcorrosion.com/mode_corrosion/corrosion_fretting.htm)
- [18] <https://www.kenyaengineer.co.ke/challenges-of-corrosion-on-marine-structures/>
- [19] <http://www.pocinkovalnica.si/hr/pocincavanje/galerija/>
- [20] <https://www.steel-wiremesh.com/uploads/201921363/electro-galvanized-welded-wire-mesh08584260726.jpg>
- [21] <http://imf-co.com/portfolio/cadmium-plating-houston-texas/>
- [22] <https://www.chemplateindustries.com/electro-zinc.html>
- [23] <http://www.galvanizers.co.in/blog/wp-content/uploads/2017/02/Galvanized-02-03-2017-1.jpg>

- [24] <http://surface-heat.com/td-coating>
- [25] <http://top-equipment.hr/index.php/oerlikon-metco/>, dostupno 31.05.2019.
- [26] <https://www.chemplateindustries.com/mechanical-plating.html>
- [27] <http://www.ajwells.com/range/portfolio/baths-and-sinks.aspx#>
- [28] <http://www.simedconstruction.pl/web/china-q235-q345-painted-h-steel-h-004-.html>
- [29] [https://www.1stdibs.com/furniture/tables/desks-writing-tables/raw-steel-desk-handcrafted-colorless-varnished-steel/id-f\\_14981612/](https://www.1stdibs.com/furniture/tables/desks-writing-tables/raw-steel-desk-handcrafted-colorless-varnished-steel/id-f_14981612/)
- [30] <https://www.sgs-engineering.com/help-advice/successfully-use-angle-grinder/#>
- [31] <https://www.csunitec.com/metal-surface-finishing/pipe-grinding-blending-and-polishing/pipe-max-electric-pipe-belt-grinder>
- [32] [http://www.interkont.hr/proizvodi.asp?id=bubnjevi\\_za\\_poliranje](http://www.interkont.hr/proizvodi.asp?id=bubnjevi_za_poliranje)
- [33] [https://pjeskarenje.hr/proizvodi/alat/polirni\\_program/1304/vibracijski\\_polirni\\_bubanj/](https://pjeskarenje.hr/proizvodi/alat/polirni_program/1304/vibracijski_polirni_bubanj/)
- [34] <https://eshop.wuerth.com.hr/A/hr-HR/Artikal/Sifra/7146901/zicana-cetka-valjkasta-za-brusil-cel-m14-d70m>
- [35] [https://pjeskarenje.hr/proizvodi/pjeskarenje\\_ciscenje/](https://pjeskarenje.hr/proizvodi/pjeskarenje_ciscenje/)
- [36] <http://www.arcon-metals.com.hr/primjene/zica/dekapiranje>
- [37] [http://www.zeniya-ind.co.jp/en/product\\_9.html](http://www.zeniya-ind.co.jp/en/product_9.html)
- [38] <https://www.shuobaocn.com/electropolishing-and-chemical-polishing/>
- [39] <https://bhcinc.com/our-markets/industrial/vapor-degreasing/>
- [40] Norma ISO 12944-4
- [41] Norma ISO 8501-1
- [42] Norma ISO 8501-2
- [43] Norma ISO 8501-3

## Popis slika

Slika 1.: Shematski prikaz podjele korozije prema mehanizmu procesa

Slika 2.: shematski prikaz lokalnih članaka pri koroziji ugljičnog čelika u jako kiselim vodenim otopinama pod (a) te u slabo kiselim, neutralnim ili lužnatim otopinama pod (b)

Slika 3.: Shematski prikaz podjele prema geometrijskom obliku korozijskog razaranja

Slika 4.: Primjer opće površinske korozije

Slika 5.: Shematski prikaz vrsta lokalne korozije

Slika 6.: Prikaz intenziteta rupičaste korozije

Slika 7.: Primjer bubrenja a); Primjer listanja b)

Slika 8.: Shema mehanizma oštećivanja vijčanog spoja pod utjecajem morske vode

Slika 9.: Primjer kontaktne korozije

Slika 10.: Primjer decinkacije a) [9]; Primjer degrafitizacije b)

Slika 11.: Prikaz interkristalne korozije ispod površine

Slika 12.: Primjer napetosne korozije

Slika 13.: Primjer korozijskog umora u cijevi bojlera

Slika 14.: Shematski prikaz procesa erozijske korozije

Slika 15.: Primjer kavitacijske korozije

Slika 16.: Primjer tarne korozije na strojnom dijelu

Slika 17.: Prikaz metoda zaštite prema načinu provođenja

Slika 18.: Primjer utjecaja morske vode na koroziju

Slika 19.: Shematski prikaz podjele pravlaka

Slika 20.: Postupak pocinčavanja (lijevo); primjer pocinčane ograde (desno)

Slika 21.: Primjer elektrogalvanizirane mreže

Slika 22.: Primjer kadmiziranja

Slika 23.: Primjer galvanski pocinčanih zakovica



Slika 24.: Razlika između proizvoda pocinčanih uranjanjem a) i elektrogalvaniziranjem b)

Slika 25.: Metalizacija prahom a); Metalizacija žicom b)

Slika 26.: Primjer platiranih podložaka

Slika 27.: Primjer emajliranih kada

Slika 28.: Primjer obojanih čeličnih nosača

Slika 29.: Primjer lakiranog čeličnog stola bez boje

Slika 30.: Primjeri oblikovanja konstrukcije za što bolje otjecanje vode

Slika 31.: Primjeri lošeg i dobrog konstruiranja spremnika

Slika 32.: Preporučene udaljenosti među elementima

Slika 33.: Primjeri sprječavanja erozijske korozije

Slika 34.: Načini smanjenja agresivnosti medija

Slika 35.: Podjela električnih metoda ovisno o načinu polarizacije

Slika 36.: Prikaz katodne zaštite

Slika 37.: Brušenje kutnom brusilicom

Slika 38.: Poliranje

Slika 39.: Bubanji za poliranje

Slika 40.: Vibracijski bubanj za poliranje

Slika 41.: Primjer žičane četke

Slika 42.: Primjer kabine za pjeskarenje (lijevo); primjer zaštitne opreme kod pjeskarenja

Slika 43.: Postrojenje za dekapiranje

Slika 44.: Primjer kemijski poliranih predmeta

Slika 45.: Primjer elektrokemijski poliranih predmeta

Slika 46.: Stanje površine prije obrade

Slika 47.: Izgledi površine nakon propisanih obrada

Slika 48.: Klasifikacija pripreme zavara, rubova i ostalih nepravilnosti

## **Popis tablica**

Tablica 1.: Otpornost često korištenih materijala u strojarstvu

Tablica 1.: Otpornost često korištenih materijala u strojarstvu

Tablica 2.: svojstva nekih otapala masnih tvari

Tablica.3.: Pripremni razredi

Tablica 4.: Primjeri i minimalni zahtjevi čišćenja