

# Korozija u kotlogradnji

---

Županić, Ana

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Humanities and Social Sciences / Sveučilište u Rijeci, Filozofski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:231:811029>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-20**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka University Studies, Centers and Services - RICENT Repository](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI  
STUDIJ POLITEHNIKE

*DIPLOMSKI RAD*

Ana Županić

Rijeka, 2021.

SVEUČILIŠTE U RIJECI  
STUDIJ POLITEHNIKE

*Korozija u kotlogradnji*

Mentor:

prof. dr. sc. Marko Dunder

Student:

Ana Županić

Rijeka, 2021.

SVEUČILIŠTE U RIJECI  
Studij politehnike  
Rijeka, datum, 8.ožujka 2021.god.

## Zadatak za diplomski rad

Pristupnik: **Ana Županić**

Naziv diplomskog rada: **Korozija u kotlogradnji**

Naziv diplomskog rada na eng. jeziku: Corrosion in boiler construction

Sadržaj zadatka:


1. UVOD. OPĆENITO O KOROZIJI
2. KOROZIJA U KOTLOGRADNJI.
3. ANALIZA MATERIJALA KOJI SE ZAVARUJE U KOTLOGRADNJI
4. TEHNOLOGIJE ZAVARIVANJA U KOTLOGRADNJI
5. METODE I IZBOR ZAŠTITE MATERIJALA U UVIJETIMA EKSPLOATACIJE
6. EKSPERIMENTALNI DIO - KEMIJSKO ČIŠĆENJE KOTLA
7. ZAKLJUČAK

Mentor: (ime i prezime)  
Prof.dr.sc.Marko Dunder

  
(potpis mentora)

Komentor: (ime i prezime)

Voditelj za diplomske radove

  
\_\_\_\_\_

Zadatak preuzet: datum

\_\_\_\_\_  
(potpis pristupnika)

# IZJAVA

Izjavljujem da sam diplomski rad „Korozija u kotlogradnji“ izradila samostalno primjenom vlastitog znanja i navedenom literaturom.

Tijekom pisanja diplomskog rada svojim savjetima i uputama vodio me je mentor diplomskog rada, prof. dr. sc. Marko Dunđer, kome se prvenstveno zahvaljujem na pruženoj pomoći pri izradi ovog diplomskog rada.

Ovim putem iskrenu zahvalu iskazujem svojoj obitelji koja me je podržavala cijelim putem mojeg obrazovanja i usmjerila na pravi put.

---

Ana Županić

## SADRŽAJ

POPIS SLIKA.....	I
POPIS TABLICA.....	II
POPIS OZNAKA.....	III
1. UVOD.....	1
1.1. Klasifikacija korozijskih procesa.....	2
1.2. Mehanizmi korozijskih procesa.....	2
1.2.1. Kemijska korozija.....	2
1.2.2. Elektrokemijska korozija.....	2
1.2.3. Geometrijska klasifikacija korozije.....	3
1.2.4. Opća korozija.....	3
1.2.5. Lokalna korozija.....	3
1.2.6. Selektivna korozija.....	4
1.2.7. Interkristalna korozija.....	4
2. KOROZIJA U KOTLOGRADNJI.....	5
2.1. Oksidacija vrelom vodom.....	5
2.2. Korozija kisikom.....	6
2.3. Djelovanje ugljične kiseline.....	8
2.4. Djelovanje soli i alkalija.....	8
2.5. Djelovanje raspadnute pare.....	8
3. ANALIZA MATERIJALA KOJI SE ZAVARJUE U KOTLOGRADNJI.....	9
3.1. Materijali za rad na povišenim i visokim temperaturama.....	9
3.2. Puzanje materijala.....	11
3.3. Čelici za rad pri povišenim i visokim temperaturama.....	14
3.3.1. Ugljični čelici.....	14
3.3.2. Niskolegirani čelici.....	15
3.3.3. Napetosna korozija ugljičnih i niskolegiranih čelika.....	16
3.3.4. Visokolegirani martenzitni čelici.....	16
3.3.5. Viskolegirani austenitni čelici.....	17
3.4. Vatrootporni čelici.....	18
3.4.1. Feritni vatrootporni čelik.....	18
3.4.2. Austenitni vatrootporni čelik.....	19

3.5.	Nehrđajući čelici.....	20
3.5.1.	Feritni nehrđajući čelici.....	21
3.5.2.	Austenitni nehrđajući čelici.....	21
4.	TEHNOLOGIJE ZAVARIVANJA U KOTLOGRADNJI.....	23
4.1.	REL postupak zavarivanja.....	23
4.2.	TIG postupak zavarivanja.....	24
4.3.	EPP postupak zavarivanja.....	26
4.4.	Elektrolučno zavarivanje svornjaka.....	27
5.	METODE I IZBOR ZAŠTITE MATERIJALA U UVJETIMA EKSPLOATACIJE.....	28
5.1.	Elektrokemijske metode zaštite.....	28
5.1.1.	Katodna zaštita.....	28
5.1.2.	Anodna zaštita.....	29
5.2.	Zaštita od korozije obradom korozivne sredine.....	29
5.2.1.	Neutralizacija kiselina.....	30
5.2.2.	Uklanjanje kisika iz vode.....	30
5.2.3.	Uklanjanje soli iz vode.....	30
5.2.4.	Sniženje relativne vlažnosti zraka.....	30
5.2.5.	Uklanjanje čvrstih čestica.....	30
5.3.	Zaštita oblikovanjem i konstrukcijskim mjerama.....	31
5.3.1.	Korozija u procjepu.....	31
5.3.2.	Galvanska korozija.....	31
5.3.3.	Erozijska korozija.....	32
5.3.4.	Napetosna korozija.....	32
5.4.	Zaštita odabirom korozijski postojanih materijala.....	32
5.5.	Zaštita prevlakama.....	34
5.5.1.	Metalne anorganske prevlake.....	34
5.5.2.	Nematelne anorganske prevlake.....	35
6.	EKSPERIMENTALNI DIO - KEMIJSKO ČIŠĆENJE KOTLA.....	36
6.1.	Pripremni radovi.....	37
6.2.	Kemijsko čišćenje.....	40
7.	METODIČKI DIO.....	44
7.1.	Analiza nastavnog plana srednje strukovne škole u sadržaju teme diplomskog rada.....	44
7.1.1.	Ustroj srednjoškolskog strukovnog obrazovanja u Hrvatskoj.....	44

7.1.2. Obrazovanje za zanimanje strojarski računalni tehničar.....	45
7.2. Priprema za izvođenje nastave za pripadnu razinu kvalifikacije u skladu s HKO.....	49
8. ZAKLJUČAK.....	57
9. LITERATURA.....	58



## SAŽETAK

Tema ovog diplomskog rada je korozija u kotlogradnji te se dijeli na teorijski i eksperimentalni dio.

Prvo i drugo poglavlje obuhvaćaju općenite teorijske osnove o koroziji kao i o koroziji u kotlogradnji. U trećem poglavlju se analiziraju materijali koji se koriste u kotlogradnji, dok četvrto poglavlje obuhvaća tehnologije zavarivanja u kotlogradnji. Metode i izbor zaštite materijala su opisane u petom poglavlju, a eksperimentalni dio pod nazivom: „Kemijsko čišćenje kotla“ nalazi se u šestom poglavlju diplomskog rada.

Zadnje, odnosno sedmo poglavlje diplomskog rada zauzima metodički dio.

Ključne riječi: korozija, vrste korozije, kotlogradnja

## **SUMMARY**

The topic of this thesis is corrosion in boiler construction and is divided into theoretical and experimental part.

The first and second chapters cover the general theoretical foundations of corrosion as well as corrosion in boiler construction. The third chapter analyzes the materials used in boiler construction while the fourth chapter covers welding technologies in boiler construction. Methods and choice of material protection are described in the fifth chapter, and the experimental part entitled: "Dry cleaning of the boiler" is in the sixth chapter of the thesis.

The last or seventh chapter of the diploma thesis occupies the methodological part.

Key words: corrosion, types of corrosion, boiler construction

## **POPIS SLIKA**

Slika 1.1 Korozija vagona

Slika 2.1. Oštećenje uzrokovano oksidacijom vrele vode

Slika 2.2. Vodikova bolest ugljičnog čelika

Slika 2.3. Korozija kisikom

Slika 2.4. Utjecaj pH-vrijednosti na prosiječnu brzinu korozije

Slika 3.1. Orijentacijski dijagram za primjenu materijala za rad pri povišenim i visokim temperaturama [5]

Slika 3.2. Dijagrami  $\sigma$ - $\epsilon$  i "zakrenuti" dijagrami puzanja [6]

Slika 3.3. Dijagram puzanja [7]

Slika 4.1. REL zavarivanje [17, 18]

Slika 4.2. TIG zavarivanje [20]

Slika 4.3. EPP zavarivanje [21, 22]

Slika 4.4. Principa elektrodučnog zavarivanja svornjaka uz primjenu keramičkog prstena.

Slika 6.1. Sustav za kemijsko čišćenje

Slika 6.2. Pomoćni cjevovodi kotlovskeg sustava

Slika 6.3. Pomoćni uređaji na kotlu

Slika 6.4. Stražnja strana bubnja

Slika 6.5. Kako doći do bubnja s bočne strane

Slika 6.6. Ventil

Slika 6.7. Cijevi prije kemijskog čišćenja

Slika 6.8. Cijevi nakon kemijskog čišćenja

Slika 6.9. Naslage kamenca u cijevima

## **POPIS TABLICA**

Tablica 3.1 Niske, povišene i visoke temperature za tehnički važne legirne osnove [4]

Tablica 3.2. Mehanička svojstva najčešće korištenih nelegiranih čelika za rad pri povišenim temperaturama [5]

Tablica 3.3. Najčešće korišteni niskolegirani čelici za rad pri povišenim temperaturama [5]

Tablica 3.4. Visokolegirani martenzitni čelici za rad pri visokim temperaturama [5]

Tablica 3.5. Visokolegirani austenitni čelici za rad pri visokim temperaturama od 600 do 800 °C [5]

Tablica 3.6. Svojstva feritnih čelika [14]

Tablica 3.7. Svojstva austenitnog čelika

Tablica 3.8. Najčešće korištene legure autenitnih čelika

Tablica 5.1. Ocjene otpornosti na koroziju nekih nezaštićenih materijala [27]

Tablica 6.1. Tehnički podaci kotla

Tablica 7.1. Sadržaj gradiva nastavnog predmeta „Tehnologija obrade i sastavljanja“

## POPIS OZNAKA

<i>Oznaka</i>	<i>Naziv</i>	<i>Mjerna jedinica</i>
$T$	temperatura	°C
$T_{tališta}$	temperatura tališta	°C
$\sigma_1$	naprezanje	MPa
$R_e$	granica razvlačenja	MPa
$\vartheta_1$	temperatura jedan	°C
$\vartheta_2$	temperatura dva	°C
$E$	modul elastičnosti ili Young-ov modul	MPa
$R_m$	vlačna čvrstoća ili naprezanje pri maksimalnoj sili	MPa
$R_{p0,2}$	konvencionalna granica razvlačenja za trajnu deformaciju 0,2%	MPa
$R_{p1/10000}$	konvencionalna granica razvlačenja za trajnu deformaciju 0,0001%	MPa
$\rho$	gustoća	kg m <sup>-3</sup>

## 1. UVOD

Materijalni proizvodi ljudskog društva izloženi su brojnim kemijskim, fizikalnim i biološkim utjecajima koji mogu štetno djelovati na te proizvode smanjujući njihovu upotrebnu vrijednost. Neupotrebljivost proizvoda nakon određenog vijeka trajanja je konačna posljedica tog djelovanja. Čest je slučaj pojave neupotrebljivosti prije tehničkog zastarijevanja. [1]

Kemijsko oštećivanje materijala mogu izazvati vlažna atmosfera, oborine (kiša, magla, rosa itd.), vlažno tlo, slatka i morska voda, vodene otopine kiselina, lužina, soli i drugih tvari, taline spojeva, vrući plinovi, neprikladna maziva, druge organske tekućine itd. Pritom se materijal kemijski mijenja, odnosno korodira počevši od površine prema unutrašnjosti. [1]

Korozija je nepoželjno, odnosno štetno trošenje materijala kemijskim djelovanjem okoline. Izraz korozija potječe od latinskog glagola „corrodere“ koji znači nagrizati. Osim u spomenutom tehničkom smislu taj se izraz primjenjuje općenito za kemijsko razaranje bilo kojeg čvrstog materijala. [1] Na slici 1.1 prikazana je korozija vagona.



Slika 1.1 Korozija vagona

## 1.1. Klasifikacija korozijskih procesa

Korozijski procesi dijele se prema: [2]

- mehanizmu procesa korozije (može biti kemijska ili elektrokemijska) i
- s obzirom na pojavni oblik korozije (može biti opća, lokalna, selektivna i interkristalna).

Korozija su podložni i metalni i nemetalni konstrukcijski materijali. Iz tog razloga postoji podjela na koroziju metala i koroziju nemetala. Metali su osnovni materijali u današnjoj industriji strojarskih konstrukcija, zato je potrebno posebnu pažnju posvetiti njihovom korozijskom ponašanju. [2]

## 1.2. Mehanizmi korozijskih procesa

### 1.2.1. Kemijska korozija

Kemijska korozija metala sastoji se u reakciji atoma metala iz kristalne rešetke s molekulama nekog elementa ili spoja iz okoline, pri tome izravno nastaju molekule spoja koji je korozijski produkt. [2]

### 1.2.2. Elektrokemijska korozija

Elektrokemijska korozija metala zbiva se u elektrolitima, odnosno u medijima s ionskom vodljivošću. [2]

Elektrokemijska korozija odvija se u: [2]

- prirodnoj i tehničkoj vodi,
- vodenim otopinama kiselina, lužina, soli i drugih tvari,
- vlažnom tlu,
- sokovima biološkog porijekla,
- talinama soli, oksida i hidroksida,
- atmosferi

Elektrokemijska korozija je vrlo raširena iz razloga što je velik broj metalnih konstrukcija i postrojenja izložen vodi ili otopinama, vlažnom tlu ili vlažnoj atmosferi. [2]

### 1.2.3. Geometrijska klasifikacija korozije

Na temelju geometrijskog oblika korozijskog razaranja, korozija se dijeli na

- opću,
- lokalnu,
- selektivnu i
- interkristalnu.

### 1.2.4. Opća korozija

Kada je čitava površina materijala izložena agresivnoj sredini pod približno jednakim uvjetima s obzirom na unutrašnje i vanjske faktore korozije dolazi do opće korozije. [2]

Opća korozija može biti ravnomjerna ili neravnomjerna. Ravnomjerna opća korozija tehnički je najmanje opasna jer se njezin proces može lako pratiti i predvidjeti kada treba određeni dio popraviti ili ga zamijeniti s novim. Neravnomjerna opća korozija za razliku od ravnomjerne opće korozije je puno opasnija. [2]

Prilikom odabira materijala otpornih na opću koroziju u obzir treba uzeti okolinu u kojoj će se pojedini metal nalaziti, te njegovu podložnost općoj koroziji u predviđenim uvjetima. Korištenjem organskih ili metalnih prevlaka kontrolira se ovaj oblik korozije. [2]

### 1.2.5. Lokalna korozija

Lokalna korozija je najrašireniji pojavni oblik korozije. Ona napada samo neke dijelove izložene površine. Može podijeliti na: [2]

- pjegastu,
- rupičastu,



- potpovršinsku i
- kontaktnu.

#### 1.2.6. Selektivna korozija

Rijedak oblik korozije pri kojoj je napadnut jedan element metalne legure, te nastaje promijenjena struktura naziva se selektivna korozija. Selektivna korozija pretvara čvrst i duktilan metal u slab i krhak podložan lomu. Iz tog razloga selektivna korozija je opasan oblik korozije. Zbog malih promjena u dimenzijama, selektivna korozija može proći neopaženo te izazvati iznenadnu havariju. [2]

#### 1.2.7. Interkristalna korozija

Interkristalna korozija se smatra najopasnijim oblikom korozije jer može dugo ostati neprimjećena a naglo smanjuje čvrstoću i žilavost materijala. Ona razara materijal na granicama zrna šireći se na taj način u dubinu. Uglavnom se pojavljuje na legurama. Interkristalna korozija za konačnu posljedicu ima lom ili čak raspad materijala u zrna. Najčešće su njome zahvaćeni nehrđajući čelici, legure na bazi nikla te aluminija. [2]

## 2. KOROZIJA U KOTLOGRADNJI

Kotao je prema definiciji velika posuda koja služi za zagrijavanje vode, proizvodnju vodene pare i destilaciju. Uobičajeni naziv za sve uređaje i postrojenja za proizvodnju vodene pare je parni kotao, ali se danas takvi uređaji zbog složenije konstrukcije nazivaju generatorima pare. Para dobivena u generatorima pare određene je temperature i tlaka te se primjenjuje za pogon parnih turbina i strojeva u termoelektranama, brodovima, za centralno grijanje, tehnološke procese u industriji i sl. [3]

Parni kotlovi se dijele prema mediju koji prolazi njihovim cijevima.

Prema tome se razlikuju:

- vatrocjevni (s ogrjevnim vatrenim ili dimnim cijevima) i
- vodocjevni (s vodenim cijevima) parni kotlovi. [3]

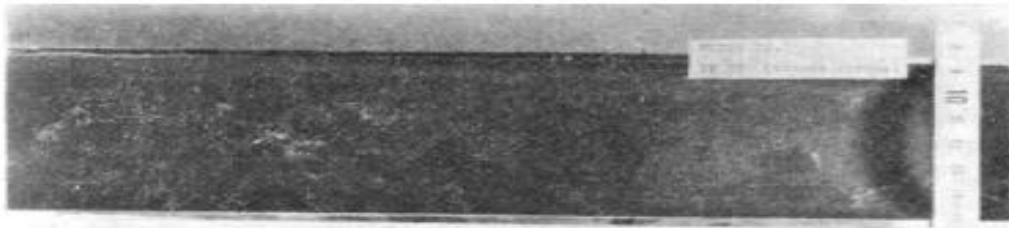
Korozija u kotlogradnji može biti izazvana različitim vanjskim uzrocima, što naročito često dolazi do izražaja u tehnologiji vode, jer sirovu ili omekšanu vodu moramo smatrati ne razrijeđenom otopinom jedne tvari, već smjesom više tvari, od kojih neke pojedinačno ili zajednički djeluju korozivno. Voda, kisik, ugljična kiselina, soli i alkalije, raspad  $H_2O$  pare su tvari koje najčešće izazivaju koroziju u parnom pogonu.

### 2.1. Oksidacija vreloom vodom

Oksidacija vreloom vodom dovodi do stvaranja udubljenja kružnih ili elipsasto poredanih u korozijski žljeb. Spomenuta udubljenja najčešće su ispunjena poroznim magnetitnim slojem, koji nema zaštitnu funkciju. Ponekad je čelik razugljičen vodikom ispod oksidne naslage i u toj zoni interkristalno razlabavljen. Metal s razugljičenjem gubi svoja mehanička svojstva, a to uzrokuje njegovo ireverzibilno razaranje.

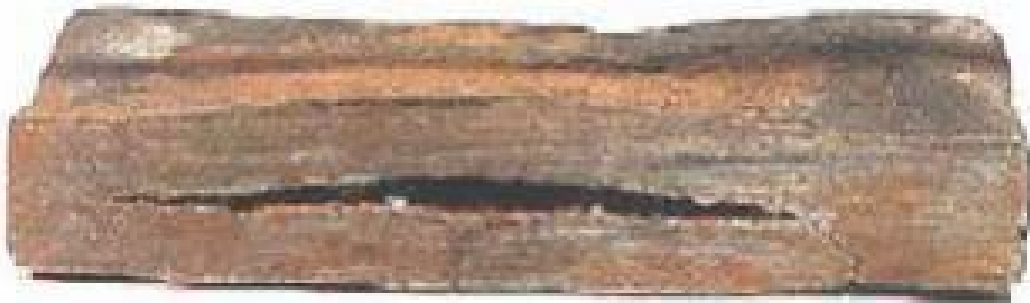
Nikada nije ustanovljeno razugljičenje kod cijevi koje su pokriven pravim zaštitnim slojem magnetita, a koji također nastaje uz izdvajanje vodika i stalno raste, ali vrlo polagano. U energetici su primjenjivi feritni materijali samo onda kada se reakcijom između čelika i vrele vode ili vodene pare izradi magnetitni zaštitni sloj. Ako prilikom eksploatacije dođe do

oštećenja magnetitnog sloja, oksidacija teče ubrzano dalje i može kroz nekoliko sati dovesti do razaranja cijevi. Na slici 2.1. prikazano je oštećenje uzrokovano oksidacijom vrele vode.



Slika 2.1. Oštećenje uzrokovano oksidacijom vrele vode

Razvijanje relativno visoke koncentracije vodika prilikom ubrzane oksidacije koji može uzrokovati mjestimično razugličenje metala i dovesti do njegovog razaranja, uslijed nastajanja vodikove bolesti. Na slici 2.2. prikazan je primjer vodikove bolesti ugljičnog čelika.



Slika 2.2. Vodikova bolest ugljičnog čelika

## **2.2. Korozija kisikom**

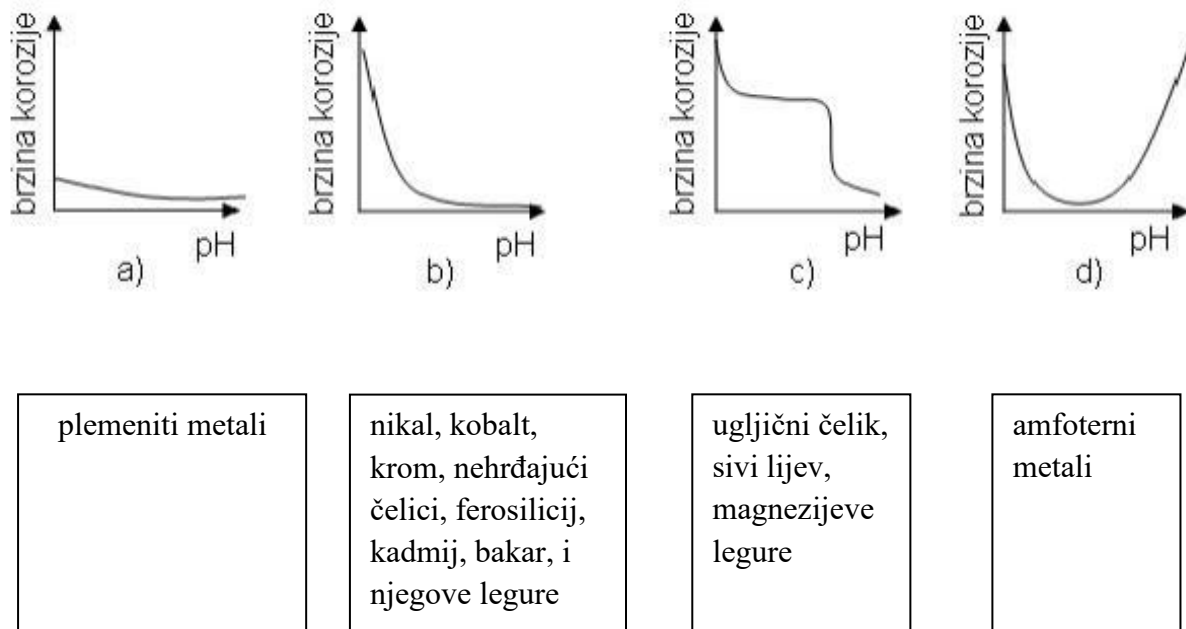
Oštećenja nastala korozijom kisika spadaju među brojna oštećenja kotlovskih postrojenja. Slika 2.1. prikazuje slučaj korozije kisikom na napojnom rezervoaru.



Slika 2.3. Korozija kisikom

Za odvijanje procesa korozije kisikom potreban elektrolit i kisik otopljen u elektrolitu. Iz razloga što je korozija kisikom elektrokemijske prirode. Ukoliko temperatura poraste do  $115^{\circ}\text{C}$ , prvo opada topivost kisika, a zatim ponovno raste. Topivost kisika jednaka je nuli kod temperature ključanja tekućine.

Na slici 2.4. shematski je prikazan utjecaj pH-vrijednosti na prosiječnu brzinu korozije.



Slika 2.4. Utjecaj pH-vrijednosti na prosiječnu brzinu korozije

Upravo pH elektrolita ima važan utjecaj na oblik pojavljivanja korozije. Ravnomjerno izjedanje nastaje kod nižih pH vrijednosti. Međutim, kod alkalnih i neutralnih otopina nastaje jamičasto oštećenje poznato pod nazivom „pitting”. Karakteristično za ovakvu vrstu oštećenja je to da je pretežni dio površine neoštećen dok je na lokaliziranim položajima nastalo intenzivno otapanje metala koje može, u relativno kratkom vremenu, potpuno uništiti taj dio cijevi.

Potrebno je posvetiti posebnu pažnju konzerviranju postrojenja za vrijeme stajanja te termičkoj pripremi napojne vode kako bi se spriječila ova vrsta korozije.

### **2.3. Djelovanje ugljične kiseline**

Do stvaranja ugljične kiseline u kotlovskoj vodi dolazi uslijed:

- nedovoljne dekarbonizacije sirove vode ili
- raspada alkalijevih bikarbonata u vodi.

Potom oslobođeni CO<sub>2</sub> odlazi s parom i otapa se u kondenzatu, kojemu se uslijed toga snižava pH-vrijednost.

### **2.4. Djelovanje soli i alkalija**

Soli poput MgCl<sub>2</sub> direktno izazivaju koroziju. Čvrste alkalije kao što je npr. NaOH, uslijed povišenja pH-vrijednosti smanjuju korozivno djelovanje vode na željezo. Međutim, kod viših temperatura čvrste alkalije mogu biti opasne ako se nakupljaju u količinama iznad dozvoljene granice.

### **2.5. Djelovanje raspadnute pare**

Vodena para također djeluje agresivno na željezo stvarajući zaštitni sloj oksida. Glavni uzrok korozije uslijed djelovanja vodene pare je otapanje prvobitno stvorenog zaštitnog sloja. To može biti potaknuto kemijskim, termičkim ili mehaničkim putem.

### 3. ANALIZA MATERIJALA KOJI SE ZAVARJUE U KOTLOGRADNJI

Čelici za rad pri povišenim i visokim temperaturama, vatrootporni čelici i nehrđajući čelici pripadaju grupi materijala koji se zavaruju u kotlogradnji. U nastavku rada će svaki od navedenih materijala biti objašnjen. Ali prije toga važno se je upoznati općenito s materijalima za rad na povišenim i visokim temperaturama.

#### 3.1. Materijali za rad na povišenim i visokim temperaturama

U današnje vrijeme povišene i visoke radne temperature prisutne su kod: [4]

- toplinskih uređaja i strojeva,
- procesne i kemijske industrije,
- nuklearnih električnih centrala i
- raketa i svemirskih brodova

Materijali predviđeni za rad na povišenim i visokim temperaturama najčešće se koriste prilikom izrade dijelova parnih kotlova, uređaja za preradbu nafte i motora s unutarnjim izgaranjem, kolektora pare kotlova i turbina, cijevi i oplata pregrijača pare, parnih i plinskih turbina i sl.

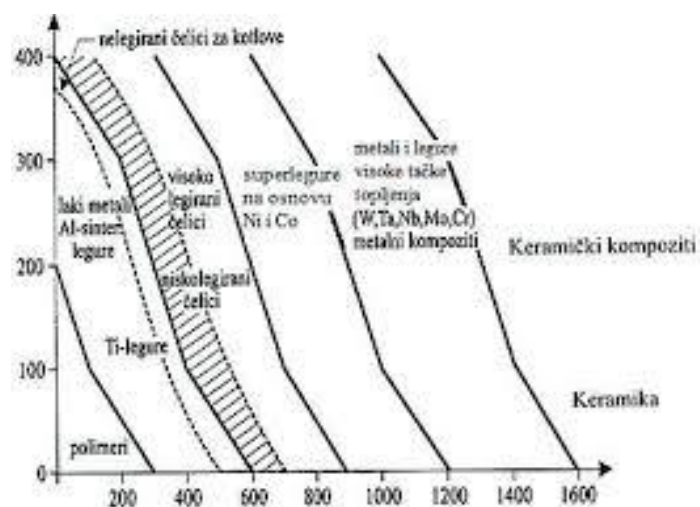
Za čelik i željezne materijale temperature koje su manje od 180 °C smatraju se niskima iz razloga što na tim temperaturama ne dolazi do bitnijih promjena mehaničkih svojstava materijala. Temperature u rasponu od 180 do 450 °C smatraju se povišenim temperaturama. Ukoliko temperature iznose više od 450 °C smatraju se visokim temperaturama. Upravo na tim temperaturama dolazi do početka puzanja čelika. [4] U tablici 3.1. prikazane su niske, povišene i visoke temperature za tehnički važne legirne osnove.

Tablica 3.1 Niske, povišene i visoke temperature za tehnički važne legirne osnove [4]

<i>LEGIRANA OSNOVA</i>	<i>TALIŠTE ČISTOG METALA</i>	<i>NISKE TEMPERATURE</i>	<i>POVIŠENE TEMPERATURE</i>	<i>VISOKE TEMPERATURE</i>
	$\vartheta_t, ^\circ C$	$< ^\circ C$	<i>od °C ... do °C</i>	$> ^\circ C$
Al	660,37	-40	-40 ... +100	+100

Cu	1084,5	66	66 ... 270	270
Ti	1672	215	215 ... 505	505
Ni	1455	160	160 ... 420	420

Orijentacijski dijagram za primjenu materijala za rad pri povišenim i visokim temperaturama prikazan je na slici 3.1. Polimerni materijali nisu pogodni za rad na povišenim i visokim temperaturama, što je vidljivo na dijagramu. Također je vidljivo da se čelici upotrebljavaju do temperatura koje iznose oko 700 °C. Keramika i keramički kompoziti su najbolji materijali za rad na najvišim temperaturama.



Slika 3.1. Orijentacijski dijagram za primjenu materijala za rad pri povišenim i visokim temperaturama [5]

Ranije u radu je spomenuto da u termoenergetskim postrojenjima te plinskim i parnim turbinama vladaju povišene i/ili visoke temperature. Osim što su pojedini uređaji izloženi povišenim i visokim temperaturama, neki od tih uređaja su i pod dodatnim utjecajem naprežanja.

Zbog visokih temperatura te dugotrajnog djelovanja statičkog naprežanja dolazi do nepovratne deformacije materijala, odnosno pojave procesa puzanja. Osim same pojave

puzanja, na visokim temperaturama djeluje i okoliš, te uz temperature niže od 600 °C dolazi do kemijske korozije, odnosno oksidacije. Bilo bi poželjno da se čelici odupiru tom djelovanju, međutim nažalost još uvijek nije moguće osigurati istodobnu otpornost na puzanje i visokotemperaturnu koroziju. Zbog navedena dva djelovanja čelike za rad pri povišenim i visokim temperaturama možemo podijeliti u dvije glavne skupine, a to su: [5]

- toplinski postojani čelici (oni imaju visoku otpornost na puzanje i mehaničku nosivost, ali su slabije vatrootpornosti),
- vatrootporni čelici (oni su visokopostojani na izgaranje, ali im je nosivost vrlo slaba).

### 3.2.Puzanje materijala

Prema definiciji puzanje materijala je vrlo spora deformacija materijala koja nastaje prilikom djelovanja dugotrajnog i konstantnog opterećenja pri povišenoj ili visokoj temperaturi. [6]

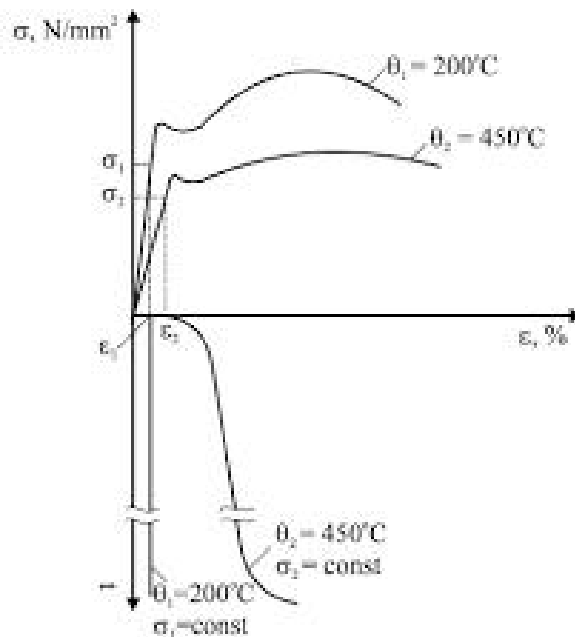
To je toplinski aktivirani proces koji nastupa u navedenom temperaturnom području: [6]

$$T > 0,3 \times T_{\text{tališta}}$$

Na temelju orijentacijskog dijagrama za primjenu materijala za rad pri povišenim i visokim temperaturama došli smo do zaključka kako polimerni materijali nisu pogodni za rad na povišenim i visokim temperaturama. Zbog toga puzanje kod polimernih materijala se javlja već na sobnim temperaturama, dok se kod čelika puzanje javlja na temperaturama iznad 400 °C.

Slika 3.2. prikazuje kvalitativni dijagram  $\sigma$ - $\epsilon$  i „zakrenuti“ dijagram puzanja za dvije povišene temperature ispitivanja za isti kotlovski čelik.



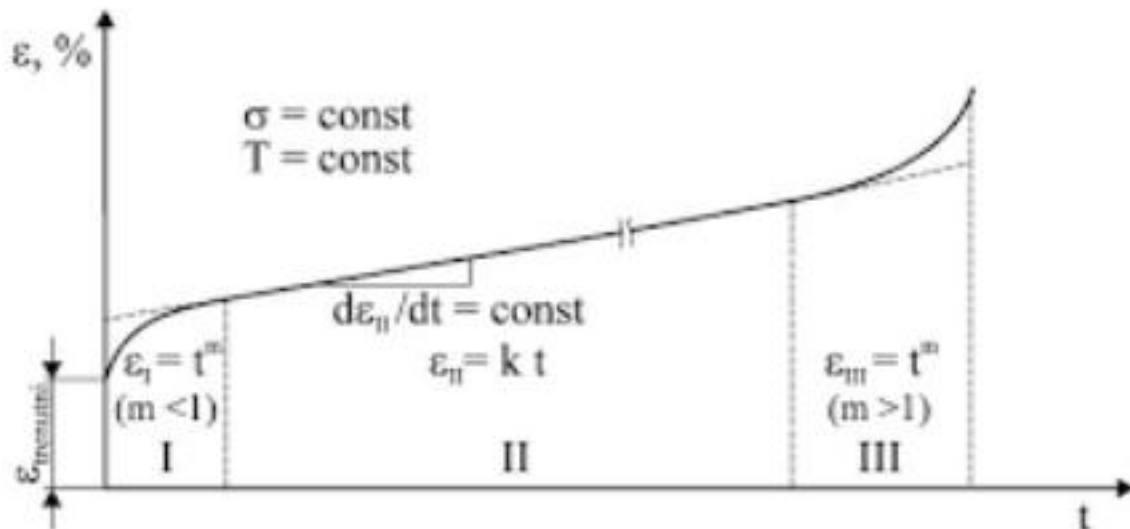


Slika 3.2. Dijagrami  $\sigma$ - $\epsilon$  i "zakrenuti" dijagrami puzanja [6]

Pretpostavimo da su dijagrami dobiveni ispitivanjem dvije epruvete od čelika na povišenim temperaturama ( $\vartheta_1$  i  $\vartheta_2$ ) te da je temperatura  $\vartheta_2$  viša od temperature  $\vartheta_1$ . Prva epruveta od čelika napregnuta je dulje vrijeme na temperaturi  $\vartheta_1=200^\circ\text{C}$  nekim konstantnim naprežanjem ( $\sigma_1$ ) koje je manje od granice razvlačenja ( $R_e$ ) za navedenu temperaturu. Epruveta napregnuta naprežanjem  $\sigma_1$  je istegnuta za iznos  $\epsilon_1$ . Praćenjem istežanja tijekom vremena vidljivo je da nije došlo do pojave puzanja čelika, a to se dokazuje u „zakrenutom“ dijagramu.

Druga epruveta napravljena od potpuno istog čelika te je napregnuta naprežanjem  $\sigma_2$  koje je niže od granice razvlačenja ( $R_e$ ) pri temperaturi  $\vartheta_2=450^\circ\text{C}$  duži niz vremena. U „zakrenutom“ dijagramu vidljivo je da produljenje epruvete tijekom vremena raste ali se završava lomom epruvete. [7]

Na slici 3.3. prikazan je „normalni“ dijagram puzanja.



Slika 3.3. Dijagram puzanja [7]

Normalni dijagram puzanja prikazan na slici 3.3. podijeljen je u tri karakteristična dijela (I,II,III). Odnosno, proces puzanja sastoji se od tri stadija, a to su: [6]

#### I (početni stadij)

- U početnom stadiju krivulja ne počinje iz ishodišta dijagrama. Dok je deformacija nastala istog trenutka kad je ispitni uzorak opterećen. Karakteristika prvog stadija je povećana i promjenjiva brzina puzanja  $\Delta\epsilon/\Delta t$ .

#### II stadij puzanja

- Drugi naziv za ovaj stadij je stadij približno konstantne brzine puzanja. U II stadiju puzanja dijagram nalikuje na pravac. Što je nagib pravca strmiji, sklonost puzanju je veća. Materijal je potpuno otporan na puzanje ako je pravac paralelan sa x osi (apcison). Drugi stadij traje vremenski puno duže nego prvi i treći stadij.

#### III stadij puzanja

- Drugi naziv za ovaj stadij puzanja je završni stadij. Njegove karakteristike su: povećanje brzine puzanja i nepostojanje linearne ovisnosti između istežanja i vremena. Lom epruvete predstavlja kraj ovog stadija.

### 3.3. Čelici za rad pri povišenim i visokim temperaturama

Na temelju temperaturnog područja primjene i mikrostrukture čelici koji su namijenjeni za rad na povišenim i/ili visokim temperaturama se dijele na: [8]

- ugljične čelike,
- niskolegirane čelike,
- visokolegirane martenzitne i austenitne čelike.

#### 3.3.1. Ugljični čelici

Čelici za kotlovski lim su glavni predstavnici ugljičnih (nelegiranih) čelika za rad pri povišenim temperaturama. [1]

Njihove karakteristike su: [1]

- dobra zavarljivost
- solidna duktilnost,
- otpor prema starenju,
- zadovoljavajuća čvrstoća na povišenim temperaturama,
- solidna postojanost prema vodi, vodenoj pari i lužinama te
- otpornost na interkristalnu koroziju.

Nelegirani čelici veoma su prikladni za konstantni i trajni rad pri povišenim temperaturama, a to su temperature oko 450 °C. To je zato što su im pri visokim temperaturama trajna svojstva čvrstoće vrlo niska, a time i granica razvlačenja. [8]

Čelici za kotlovski lim najčešće se isporučuju u obliku toplovaljanih limova iil ploča. Dok primjenu pronalaze u izradi oplata parnih kotlova, cijevi i spremnika većih promjera.

Najčešće korišteni nelegirani čelici su P235GH i P265GH. U tablici 3.2. prikazana su njihova mehanička svojstva. [8]

Tablica 3.2. Mehanička svojstva najčešće korištenih nelegiranih čelika za rad pri povišenim temperaturama [5]

Oznaka	Mehanička svojstva							A <sub>5</sub> %, min.
	R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>	R <sub>p0.2</sub> , N/mm <sup>2</sup> , pri			R <sub>m/100000</sub> , N/mm <sup>2</sup> , pri			
		20 °C	200 °C	400 °C	400 °C	450 °C	500 °C	
P235GH	350...450	210	160	100	130	70	30	9810/R <sub>m</sub>
P265GH	410...500	240	180	120	130	70	30	

### 3.3.1.1. Korozijska svojstva ugljičnog čelika

Za ugljični čelik se može reći da ima ograničenu otpornost prema koroziji. Međutim, ugljični čelik je još uvijek najisplativiji materijal. Tri do pet puta je jeftiniji nehrđajućeg čelika što također pridonosi njegovoj primjeni. [9]

Niskougljični čelici su čelici koji sadrže od 0,08 do 0,28% ugljika (C). Oni su otporniji na koroziju u odnosu na ugljične čelike s većim postotkom ugljika. Voda i kisik su faktori koji su potrebni za početak korozije niskougljičnog čelika u prirodnim sredinama. Puno toga može utjecati na proces korozije ugljičnih čelika. Materijali od ugljičnog čelika koje su u potpunosti uronjeni korodiraju brže ako kapljevina struji oko njih. Što nije slučaj kod mirujuće otopine. Korozija ugljičnog čelika također je sporija ako su čelični dijelovi u potpunosti uronjeni u kapljevinu u odnosu na nepotpuno uronjene čelične dijelove. [10]

Ugljični čelici korodiraju tako da na njima nastaje rahla vlažna smjesa oksida, hidroksida i oksihidrata dvovalentnog i trovalentnog željeza (hrđa) koja ne posjeduje zaštitna svojstva. Boja navedene smjese varira od žute preko crvene i smeđe pa sve do crne. Svjetlija nijansa boje pokazatelj je većeg sadržaja vlage. [10]

### 3.3.2. Niskolegirani čelici

Kod niskolegiranih čelika sadržaj ugljika (C) je manji od 0,25 %. Cilj toga je postizanje dobre zavarljivosti. Najčešće se isporučuju u obliku limova i cijevi. Veliku primjenu pronalaze u

termoenergetskim postrojenjima (npr. za izradu oplata kotlova, kotlovske cijevi, turbinske lopatice itd.). U grupu najčešće korištenih niskolegirani čelici za rad pri povišenim temperaturama spadaju: 15Mo3, 13CrMo4-4, 10CrMo9-10, 22CrMo4-4, 24CrMoV5-5, a njihova mehanička svojstva prikazana su u tablici 3.3. [1] [8]

Tablica 3.3. Najčešće korišteni niskolegirani čelici za rad pri povišenim temperaturama [5]

Oznaka	Mehanička svojstva								
	R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>	R <sub>p0,2</sub> , N/mm <sup>2</sup> , pri °C				R <sub>p1/10000</sub> , N/mm <sup>2</sup> , pri °C			
		20	200	400	500	450	500	530	580
15Mo3	500...650	260	255	177	147	216	147	85	-
13CrMo4-4	440...590	290	275	206	177	-	186	78	-
10CrMo9-10	440...590	260	245	206	186	-	157	83	47
22CrMo4-4	640...790	490	-	343	-	255	172	74	-
24CrMoV5-5	690...830	540	412	304	235	324	206	98	-

### 3.3.2.1. Korozijska svojstva niskolegiranih čelika

Niskolegirani čelik s do 0,3% bakra otporan je na atmosfersku koroziju i koroziji u vodi. Poboljšavanje korozijske otpornosti niskolegiranog čelika pri visokim temperaturama postiže se pomoću legiranja sa aluminijem. [11]

### 3.3.3. Napetosna korozija ugljičnih i niskolegiranih čelika

Napetosna korozija ugljičnih i niskolegiranih čelika je glasi kao čest i velik problem koji se javlja u različitim industrijama kao što su npr. kemijska, naftna, plinska industrija itd. [12]

### 3.3.4. Visokolegirani martenzitni čelici

Ovu skupinu čelika karakterizira dobra otpornost na puzanje, vlačna čvrstoća kao i dobra dinamička izdržljivost. Prikladni su za dugotrajni rad. Svoju primjenu pronalaze u izradi raznih komponenata u termoenergetskim postrojenjima i kotlogradnji za izradu lopatica i rotora parnih i plinskih turbina. Primjeri visokolegiranih martenzitnih čelika za rad na visokim

temperaturama su: X19CrMo12-1, X20CrMoV12-1, X20CrMoWV12-1, X19CrMoVNb11-1. Njihova mehanička svojstva prikazana su u tablici 3.4. [5]

Tablica 3.4. Visokolegirani martenzitni čelici za rad pri visokim temperaturama [5]

Oznaka	Mehanička svojstva								
	R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>	R <sub>p0,2</sub> , N/mm <sup>2</sup> , pri °C					R <sub>p1/10000</sub> , N/mm <sup>2</sup> , pri °C		
		20	200	400	500	600	500	550	600
X19CrMo12-1	700...850	500	432	353	264	108	245	140	60
X20CrMoV12-1	700...850	500	432	353	264	108	245	145	77
X20CrMoWV1 2-1	800...950	600	530	423	344	206	260	160	60
X19CrMoVNb1 1-1	900...1050	780	700	580	470	315	360	200	120

Povećanim sadržajem kroma i silicija u odnosu na niskolegirane čelike se postiže njihova korozivna postojanost. [5]

### 3.3.5. Viskolegirani austenitni čelici

Zbog rekristalizacijske temperature koja iznosi iznad 900 °C austenitni čelici su prikladni za dugotrajni rad pri temperaturama od 600 do 750 °C.

Granica razvlačenja ovih čelika pri temperaturi od oko 20 °C je vrlo niska. Međutim, s povišenjem temperature snižavanje te granice teče sporije nego kod svih drugih čelika. Primjenu nalaze u izradi dijelova parnih i plinskih turbina te mlaznih motora, cjevovoda i tlačnih posuda.

Najčešće korišteni austenitni čelici su: X6CrNi18-11, X8CrNiMoNb16-16, X40CrNiCoNb13-13, X5NiCrTi26-15. Mehanička svojstva nabrojanih austenitnih čelika su prikazana u tablici 3.5. [5]

Tablica 3.5. Visokolegirani austenitni čelici za rad pri visokim temperaturama od 600 do 800 °C [5]

Oznaka	Mehanička svojstva									
	R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>	R <sub>p0.2</sub> , N/mm <sup>2</sup> , pri °C				R <sub>p1/10000</sub> , N/mm <sup>2</sup> , pri °C				
		20	400	600	700	550	650	700	750	800
X6CrNi18-11	490...690	185	98	78	69	180	80	49	34	-
X8CrNiMoNb1 6-16	530...690	215	147	132	-	324	226	137	83	54
X40CrNiCoNb1 3-13	640...830	345	245	196	-	-	186	127	78	49
X5NiCrTi26-15	930...1180	635	520	451	314	451	304	206	118	54

### 3.3.5.1. Korozijska svojstva visokolegiranih austenitnih čelika

Gotovo savršena kombinacija korozijske postojanosti i veoma dobrih mehaničkih svojstava na visokim temperaturama predstavlja ovu vrstu čelika. Zahvaljujući visokom sadržaju kroma, korozijska postojanost im je dobra, a njegov minimalni sadržaj je 18 %. [5]

## 3.4. Vatrootporni čelici

Vatrootporni čelik kao što mu i sam naziv govori je vrsta čelika koji je postojan na visokim temperaturama. Visokim temperaturama se smatraju temperature veće od 450 °C. Postoji nekoliko vrsta vatrootpornoga čelika, a to su: [13]

- feritni,
- feritno-austenitni i
- austenitni vatrootporni čelik.

### 3.4.1. Feritni vatrootporni čelik

Sadržaj feritnih vatrootpornih čelika su silicij, aluminij i krom. Austenitni osim navedenog sadrže još titanij i nikal. Na visokim temperaturama i dugotrajnoj upotrebi oni zadržavaju dobra mehanička svojstva. To podrazumijeva otpornost prema puzanju i dovoljnu granicu razvlačenja. Najzaslužniji za njegovu otpornost i postojanost prema oksidaciji je tanki sloj

oksida aluminija, kroma i nikla. Oni posjeduju veći afinitet prema kisiku ako ih uspoređujemo sa željezom. [13]

U tablici 3.6. prikazana su svojstva feritnog čelika.

Tablica 3.6. Svojstva feritnih čelika [14]

SVOJSTVO	FERITNI ČELICI
Gustoća $\rho$ (kg m <sup>-3</sup> )	7800
Koeficijent linearnog istezanja (0-500 °C), $\alpha$ (10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> )	11,2 – 12,1
Koeficijent toplinske vodljivosti (100 °C), $\lambda$ (W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	24,2 – 26,3
Specifični električni otpor (10 <sup>-6</sup> $\Omega$ m)	59 – 67
Specifični toplinski kapacitet (0-100 °C), $c$ (J kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	460 – 500
Vlačni modul elastičnosti $E$ (MPa)	200
Područje taljenja (°C)	1480 – 1530

### 3.4.2. Austenitni vatrootporni čelik



Austenitni vatrootporni čelik otporniji je prema plinovima koji sadrže dušik. Iz tog razloga teže podliježe puzanju. Postojanost prema sumporu se postiže legiranjem aluminijem i silicijem, dok se otpornost prema karbidizaciji (otapanju ugljika) postiže legiranjem niklom i silicijem. [13]

U tablici 3.7. prikazana su svojstva austenitnog čelika. [14]

Tablica 3.7. Svojstva austenitnog čelika

SVOJSTVO	AUSTENITNI ČELICI
Gustoća $\rho$ (kg m <sup>-3</sup> )	7800 - 8000
Koeficijent linearnog istežanja (0-500 °C), $\alpha$ (10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> )	17 - 19,2
Koeficijent toplinske vodljivosti (100 °C), $\lambda$ (W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	18,7 - 22,8
Specifični električni otpor (10 <sup>-6</sup> $\Omega$ m)	69 - 102
Specifični toplinski kapacitet (0-100 °C), $c$ (J kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	460 – 500
Vlačni modul elastičnosti $E$ (MPa)	190 - 200
Područje taljenja (°C)	1400 - 1450

### 3.5. Nehrdajući čelici

Nehrdajući čelik kojem je drugi naziv korozijski postojani čelik ima povećanu otpornost na koroziju zbog svog kemijskog sastava. [15]

Nehrđajuči čelici mogu se podijeliti prema nastaloj mikrostrukturi na: [15]

- feritne,
- austenitne,
- austenitno-feritne,
- martenzitne i
- precipitacijski očvrsnute čelike.

### 3.5.1. Feritni nehrđajuči čelici

Feritne nehrđajuće čelike obilježava sastav od 12 do 18% kroma i manje od 0,1% ugljika.

Karakteristike feritnih nehrđajućih čelika: [15]

- magnetski privlačni,
- teško se savijaju,
- loša zavarljivost kod nekih tipova,
- odlična otpornost na vibracije,
- dobri za obradu odvajanjem čestica,
- dobra otpornost na napetosnu koroziju,
- postoji mogućnost loma pri nižim temperaturama,
- bolji od ostalih nehrđajućih čelika u ekonomskom smislu.

### 3.5.2. Austenitni nehrđajuči čelici

Sadržaj austenitnih nehrđajućih čelika obuhvaća: ugljik (od 0,02 do 0,15%), krom (od 16 do 24 %) i nikal (od 8 do 20 %). Postoji mogućnost dodavanja određene količine elemenata: niobija, tantala, dušika, molibdena i titanija. [15]

Karakteristike austenitnih nehrđajućih čelika: [15]

- nisu magnetski privlačni,
- usitnjavanja zrna nije moguće,
- doživljavaju velike napetosti i deformacije tijekom zavarivanja,
- plastičnost im je odlična,

- moguće je postići otpornost prema puzanju,
- žilavi su,
- otporni su na koroziju (glavna prednost),
- kod niskih temperatura posjeduju vrlo dobra svojstva.

U tablici 3.8. su prikazane karakteristike i područja korištenja najčešće korištenih legura austenitnih čelika.

Tablica 3.8. Najčešće korištene legure autenitnih čelika

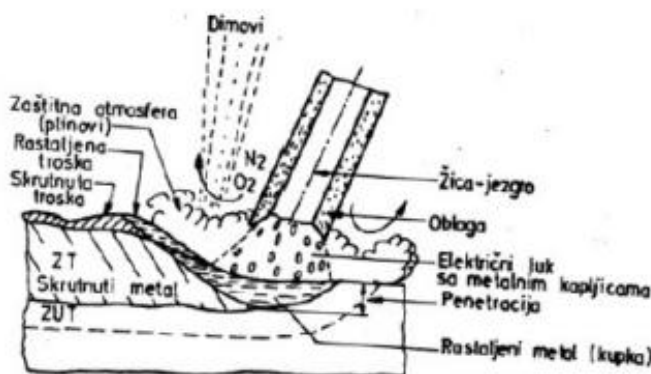
LEGURA	KARAKTERISTIKE	PODRUČJE KORIŠTENJA
AISI 304	Najpoznatija i najviše korištena legura inoxa. Vrlo otporna na oksidaciju do 400 Co te sadržava vrlo dobra mehanička svojstva.	Posuđe za kućanstva i industriju, alati, kemijska i petrokemijska industrija, prehrambena i auto industrija, bojleri i različiti izmjenjivači topline...
AISI 304L	Verzija legure 304 koja sadržava manje ugljika (C).	Papirna, mljekarska, kemijska industrija, industrija kože, naftna industrija, bojleri i različiti izmjenjivači topline...
AISI 321	Nudi izvrsnu otpornost na koroziju zbog dodatka Titana (T) te je izuzetno stabilna na visokim temperaturama.	Ispušne cijevi, oprema za grijanje, aeronautika, pivarska industrija, kemijska industrija...
AISI 316	Postojan na zagrijavanje do 600 Co. Nudi odličnu zaštitu protiv korozije te je otporan na veliku količinu kiselina.	Kemijska i petrokemijska industrija, bojleri na paru, izmjenjivači topline...
AISI 316L	Verzija legure 316 koja sadržava manje Ugljika (C).Postojan na zagrijavanje do 400 Co.	Kemijska i petrokemijska industrija, mljekarska industrija, papirna i nuklearna industrija...
AISI 316Ti	Verzija legure 316 koja sadržava Titan (T). Nudi još veću postojanost na zagrijavanje.	Kemijska i petrokemijska industrija, dijelovi za pumpe i kompresore, bojleri i različiti izmjenjivači topline...
AISI 309S	Nudi vrlo visoku zaštitu protiv korozije i postojana na temperaturama do 1050 Co.	Sve vrste opreme otporne na visoke temperature...
AISI 310	Nudi vrlo visoku zaštitu protiv korozije i postojana na temperaturama do 1100 Co.	Sve vrste opreme otporne na visoke temperature...
AISI 310S	Nudi vrlo visoku zaštitu protiv korozije i postojana na temperaturama do 1100 Co.	Sve vrste opreme otporne na visoke temperature...
AISI 430	Nudi vrlo lijep izgled, može biti magnetičan jer sadržava vrlo malo ili nikako nikela.	Dekorativna upotreba za interijere i bilo kakve sjajne površine...

## 4. TEHNOLOGIJE ZAVARIVANJA U KOTLOGRADNJI

Postupak zavarivanja nije od velike važnosti prilikom zavarivanja raznorodnih čelika. Puno je važnije odlučiti se i odabrati tehnologiju zavarivanja koja omogućuje minimalno protaljivanje. Cilj toga je spriječavanje nastajanja krhkih struktura, a ujedno i mogući kasniji nastanak pukotina u prijelaznom sloju. [16]

### 4.1.REL postupak zavarivanja

Jedan od predstavnika grupe postupaka zavarivanja taljenjem je ručno elektrolučno zavarivanje (REL) sa obloženom elektrodom. Za provedbu ovog postupka potreban je dodatni materijal koji je u obliku obložene elektrode te se zajedno sa osnovnim materijalom tali uz pomoć toplinske energije dobivene od električnog luka. Na slici 4 prikazan je shematski (slika 4.1.a.) i realni prikaz (slika 4.1b.) REL zavarivanja. [16]



Slika 4.1a. Shematski prikaz REL zavarivanja

Slika 4.1b. Realni prikaz REL zavarivanja

Slika 4.1. REL zavarivanje [17, 18]

U prednosti REL postupka zavarivanja spadaju: [19]

- postoji mogućnost odabira prilikom izbora dodatnog materijala,
- cijena opreme nije visoka,
- više mogućnosti položaja zavarivanja,
- preporučuje se za terensko zavarivanje,
- rukovanje opremom se obavlja brzo i jednostavno,
- mehanička svojstva zavarenih spojeva su jako dobra.

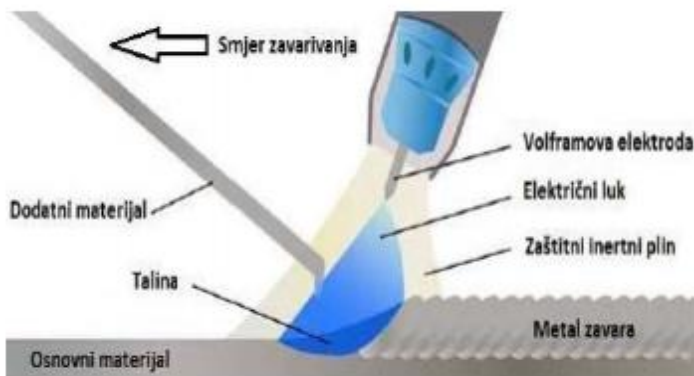
U nedostatke REL postupka zavarivanja spadaju: [19]

- brzina zavarivanja je mala u usporedbi sa MAG i EPP postupkom,
- razina produktivnosti je niska u odnosu na MAG i EPP postupak zavarivanja,
- vještine zavarivača određuju kvalitetu zavarenog spoja,
- vremenski zahtjevna izobrazba zavarivača,
- nastanak otpada elektrode, a time i gubitak materijala,
- zdravlje zavarivača je ugroženo prilikom dugog rada.

#### 4.2.TIG postupak zavarivanja

TIG postupkom zavarivanja mogu se zavarivati sve vrste metala. Zavarivanje je moguće sa ili bez dodatnog materijala. Ako se zavarivanje provodi uz pomoć dodatnog materijala, taj dodatni materijal se dodaje u električni luk ručno ili mehanizirano. Ručno dodavanje se češće primjenjuje nego mehanizirano. [19]

Na slici 4.2. prikazan je shematski (slika 4.2a) i realni prikaz (slika 4.2.b) elektrolučnog zavarivanja netaljivom elektrodom u zaštiti inertnog plina.



Slika 4.2a. Shematski prikaz TIG zavarivanja



Slika 4.2b Realni prikaz TIG zavarivanja

Slika 4.2. TIG zavarivanje [20]

Prednosti TIG postupka zavarivanja su: [17]

- ne dolazi do prskanja,
- ne pojavljuje se troska,
- štetni plinovi su svedeni na minimum,
- zavarivati se može velik broj metala i legura,
- zavarivanje je moguće u svim položajima,
- ovim postupkom zavarivanje moguće je zavariti male debljine materijala,
- uspješno zavaren spoj izgleda odlično.

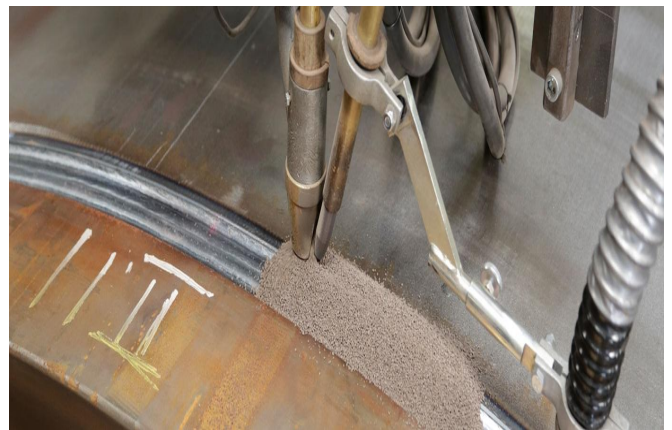
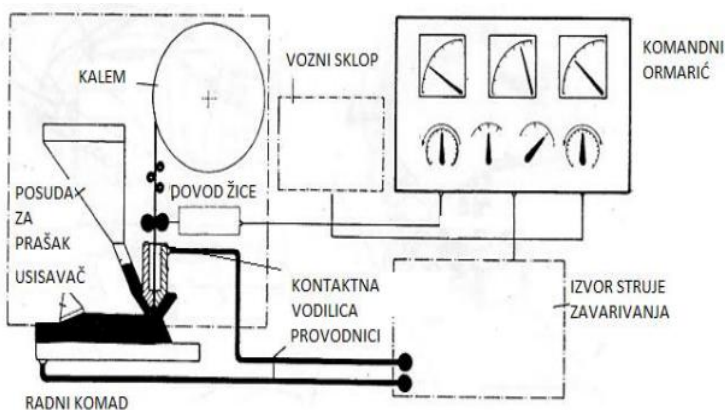
Nedostaci TIG postupka zavarivanja su: [17]

- brzina zavarivanja je mala,
- nisu prikladni kod zavarivanja debljih materijala (materijali iznad 6 mm debljine),
- potrebna je precizna priprema,
- skupa oprema za zavarivanje kao i duga izobrazba za zavarivača,
- teško izvedivo na otvorenim prostorima,
- potrebna je ventilacija kod zavarivanja u malim i/ili skućenim prostorima.

### 4.3.EPP postupak zavarivanja

Spajanjem talina osnovnog i dodatnog materijala u jednu cjelinu koja se skrućuje dobiva se zavareni spoj EPP postupkom zavarivanja. Proces taljenja odvija se u zatvorenom prostoru. [21]

Na slici 4.3. je prikazan shematski (4.3a) i stvarni (4.3b) prikaz EPP zavarivanja.



Slika 4.3.a. Shematski prikaz EPP zavarivanja

Slika 4.3.b. Stvarni prikaz EPP zavarivanja

Slika 4.3. EPP zavarivanje [21, 22]

Osnovne prednosti elektrolučnog zavarivanja pod praškom su: [23]

- kvaliteta zavara je odlična,
- ne dolazi do prskanja električnog luka,
- velika ušteda materijala,
- ne dolazi do pojave štetnih plinova kod zavarivanja.

Nedostaci elektrolučnog zavarivanja pod praškom su: [23]

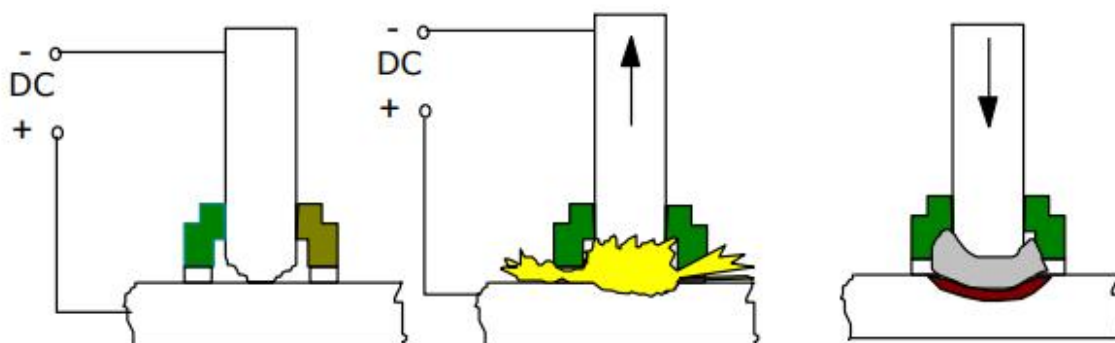
- važno je pedantno pripremiti spoj,
- ograničenost pozicija zavarivanja,
- potreba za iskusnim zavarivačem.

#### 4.4. Elektrolučno zavarivanje svornjaka

Postoji nekoliko varijanti elektrolučnog zavarivanja svornjaka koje ovise o: [31]

- vrsti zaštite mjesta zavarivanja (keramički prsten, plinska zaštita, bez zaštite),
- vrsti izvora energije (DC izvor struje, nabijeni kondenzator),
- obliku i stanju površine vrška svornjaka koji se zavaruje.

Najrasprostranjeniji postupak zavarivanja je onaj koji ovisi o vrsti zaštite mjesta zavarivanja, a to je primjena keramičkog prstena. Na slici 4.4. shematski je prikazan taj postupak.



Slika 4.4. Principa elektrolučnog zavarivanja svornjaka uz primjenu keramičkog prstena.

Materijali koji se najčešće koriste za svornjake su: [31]

- niskouglični čelik kojemu su glavne karakteristike jeftinoća i kovljivost,
- nehrđajući čelik, odnosno korozijski postojani čelik i
- aluminij koji je relativno mek i žilav metal.

Oprema za elektrolučno zavarivanje svornjaka sastoji se od: [31]

- pištolja i odgovarajućih kabela za zavarivanje,
- upravljačko kontrolne jedinice za jakost struje zavarivanja, kao i za vrijeme,
- izvora struje DC.



## 5. METODE I IZBOR ZAŠTITE MATERIJALA U UVJETIMA EKSPLOATACIJE

Najčešće metode zaštite strojarske konstrukcije od procesa korozije su: [24]

- zaštita prevlakama,
- elektrokemijska,
- zaštita od korozije obradom korozivne sredine,
- zaštita odabirom korozijski postojanih materijala i
- zaštita oblikovanjem i konstrukcijskim mjerama.

### 5.1. Elektrokemijske metode zaštite

Elektrokemijske metode zaštite koriste se za konstrukcije koje su uronjene ili ukopane npr. brodovi, cjevovodi itd. Njihov temeljni cilj je antikorozivna zaštita čeličnih konstrukcija. Postoje katodna i anodna elektrokemijska zaštita, ako ih dijelimo prema načinu polarizacije. [24]

#### 5.1.1. Katodna zaštita

Katodna zaštita nosi titulu jedne od najznačajnijih metoda zaštite od korozije. [25]

U praksi postoje dva načina katodne zaštite između kojih nema bitne teorijske razlike, a to su: [25]

- Zaštita vanjskim izvorom struje (metal koji se želi zaštititi spaja se na negativni pol izvora istosmjerne struje)
- Zaštita žrtvovanom anodom (metal se spaja s materijalom koji je negativno nabijen)

Prednosti katodne zaštite su: [25]

- nije ovisna o izvoru el. struje,
- vrlo je jednostavna te ju nije potrebno konstantno kontrolirati.

Nedostaci ove katodne zaštite su: [25]

- zaštitne struje su male,
- nije moguća primjena u sredinama gdje je prisutan veliki otpor,
- ekološki slabo prihvatljiva (produktati korozije anoda zagađuju okoliš).

#### 5.1.2. Anodna zaštita

Izvor istosmjerne struje, odnosno spajanje sa pozitivnim polom istosmjerne struje i protektor, odnosno spajanjem sa elektropozitivnijim metalom su dva načina anodne zaštite koja se upotrebljava u praksi. [25]

Pozitivne karakteristike anodne zaštite su: [25]

- mogućnost smanjenja brzine nastanka korozije i
- gustoća struje koja je potrebna je relativno mala.

Negativne karakteristike (ograničenja) anodne zaštite su: [25]

- stvaranje sloja mikrozaštite,
- skupa analiza procesa korozije, odnosno skupe instalacije te
- jako slaba upotreba.

#### **5.2. Zaštita od korozije obradom korozivne sredine**

Zaštitom od korozije obradom korozivne sredine smanjuje se brzina korozije metalnih konstrukcija u otopinama koje se povremeno obnavljaju ili se u potpunosti ne obnavljaju. [25]

Postoje dva načina provedbe smanjenja korozivnosti vanjske sredine koja djeluje na metale i legure, a to su: [5]

- uvođenje inhibitora korozije u agresivnu sredinu i
- uklanjanje aktivatora korozije iz agresivne sredine postupcima:
  - neutralizacije kiselina,
  - odvajanjem i uklanjanjem kisika iz vode,

- odvajanjem i uklanjanjem soli iz vode,
- smanjivanjem vlažnosti u zraku,
- uklanjanjem čvrstih čestica.

#### 5.2.1. Neutralizacija kiselina

Neutralizacija kiselina u vodenim otopinama je moguća pomoću vapna ili natrijeva hidroksida. [25]

#### 5.2.2. Uklanjanje kisika iz vode

Uklanjanje kisika iz vode postiže se kroz navedene načine: [25]

- toplinskom zagrijavanjem,
- oslobađanje uklanjanjem kisika i
- nekim kemijskim postupcima .

#### 5.2.3. Uklanjanje soli iz vode

Ovaj postupak se provodi uz pomoć ionskih izmjenjivača. [25]

#### 5.2.4. Sniženje relativne vlažnosti zraka

Sniženje vlažnosti zraka u nekim zatvorenim prostorima se provodi tako da se trenutna temperatura prostorije povisi za šest do sedam °C u odnosu na vanjsku temperaturu. [25]

#### 5.2.5. Uklanjanje čvrstih čestica

Uklanjanje čvrstih čestica iz zraka, dima ili vode postiže se filtriranjem koje se može izvesti na više načina.

### 5.3. Zaštita oblikovanjem i konstrukcijskim mjerama

Koroziju je moguće usporiti, a u najboljem slučaju ukloniti prvenstveno samom tehnologijom izrade kao i raznim projektnim rješenjima, te pravilnim oblikovanjem čeličnih konstrukcija.

Navedeno možemo primjeniti na sljedećim vrstama korozije, a to su: [25]

- koroziju u procjepu,
- galvansku koroziju,
- erozijsku i
- napetosnu koroziju.

#### 5.3.1. Korozija u procjepu

Jaki utjecaj na koroziju u procjepu imaju konstrukcijske mjere. Ona se najčešće javlja, odnosno pojavljuje pored: [26]

- nastalih pukotina,
- većih ili manjih procjepa,
- određenih razmaka koji nastaju između površina i
- ispod sloja nečistoće.

Pravilna priprema, odabir spoja i zavarivanje bez greške ključni su uvjeti na koje je potrebno pripaziti. Zanemarujući neki od navedenih uvjeta lako dolazi do preduvjeta za nastanak i razvoj ovog oblika korozije. [26]

#### 5.3.2. Galvanska korozija

Najčešći uzrok ove vrste korozije su različiti materijali koji su korišteni prilikom izrade iste konstrukcije. Iz tog razloga je važno izbjegavati kontakt dva međusobno različita materijala. Međutim, ukoliko je zaista potrebno povezati dva različita materijala to je moguće postići korištenjem prevlaka i izolacijskih materijala koji sprečavaju neposredni dodir. [26]

### 5.3.3. Erozijska korozija

Erozijska korozija uključuje istovremeno djelovanje erozije i korozije pri visokim brzinama strujanja fluida. [26]

### 5.3.4. Napetosna korozija

Razaranje metala koje nastaje kao posljedica statičkog vlačnog naprezanja dijelova konstrukcija u korozivnoj agresivnoj sredini pri povišenoj temperaturi uzrokuje napetosna korozija. [26]

## 5.4. Zaštita odabirom korozivski postojećih materijala

Faktori koji su ključni i uzimaju se u obzir prilikom izbora odgovarajućeg materijala su: [27]

- cijena materijala,
- svojstva materijala,
- izgled materijala i
- otpornost na koroziju.

U tablici 5.1. prikazana je relativna otpornost na koroziju nekih nezaštićenih materijala ovisno o atmosferi u kojoj se konstrukcija nalazi tokom eksploatacije. [27]

Tablica 5.1. Ocjene otpornosti na koroziju nekih nezaštićenih materijala [27]

<i>Vrsta materijala</i>	<i>Industrijska atmosfera</i>	<i>Slatka voda</i>	<i>Morska voda</i>	<i>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (5...15%)</i>	<i>Lužina (8%)</i>
<i>Niskouglični čelik</i>	1	1	1	1	5
<i>Galvanizirani čelik</i>	4	2	4	1	1
<i>Sivi lijev</i>	4	1	1	1	4
<i>Čelik s 4...6 % Cr</i>	3	3	3	1	4
<i>18 % Cr i 8 % Ni nehrđajući čelik</i>	5	5	4	2	5
<i>18 % Cr i 35 % Ni nehrđajući čelik</i>	5	5	4	4	4
<i>"monel" (70 % Ni i 30 % Cu)</i>	4	5	5	4	5
<i>Nikal</i>	4	5	5	4	5
<i>Bakar</i>	4	4	4	3	3
<i>Mjed (85 % Cu i 15 % Zn)</i>	4	3	4	3	1
<i>Al-bronca</i>	4	4	4	3	3
<i>Novo srebro (65 % Cu, 18 % Ni i 17 % Zn)</i>	4	4	4	4	4
<i>Aluminij</i>	4	2	1	3	1
<i>Al-Cu legura</i>	3	1	1	2	1

OCJENE:

- 1 nedovoljno (brzi napad)
- 2 dovoljno (privremena upotreba)
- 3 dobro (umjereno korištenje)
- 4 vrlo dobro (pouzdana korištenje)
- 5 izvrsno (neograničeno korištenje)

### 5.5. Zaštita prevlakama

Zaštita čeličnih konstrukcija prevlakama se smatra najpoznatijom, najkorištenijom i najraširenijom metodom zaštite od korozije. Nanošenje prevlaka ima primarnu i sekundarnu zadaću. Primarna zadaća je samo nanošenje prevlaka, a sekundarna je popravak proizvoda, popravljivanje izgleda te postizanje nekih fizikalnih svojstava.[27]

Prevlake se dijele na: [27]

- anorganske (mogu biti metalne i nemetalne) i
- organske (nemetalne).

#### 5.5.1. Metalne anorganske prevlake

Metalne prevlake nanose se fizikalnim, kemijskim i elektrokemijskim postupcima.

Neki od fizikalnih postupaka nanošenja su: [28]

- navarivanje
- oblaganje
- lemljenje,
- lijepljenje.

Kemijski postupci su: [28]

- ionska zamjena i
- katalitička redukcija.

Elektrokemijski postupak je: [28]

- galvanotehnika (dobivanje prevlaka vrućim uranjanjem i prskanjem metala)

#### 5.5.2. Nematelne anorganske prevlake

Nemetalne anorganske prevlake nastaju mehaničkim putem te one slabije prijanjaju za osnovni metal, dok prevlake koje nastaju kemijskim putem mogu i obojiti metal. Prevlake dobivene mehaničkim putem imaju osnovnu svrhu zaštite od procesa korozije u agresivnim sredinama. [25]

Anorganske nemetalne prevlake koje se najčešće koriste su: [25]

- oksidne i
- fosfatne prevlake.



## 6. EKSPERIMENTALNI DIO - KEMIJSKO ČIŠĆENJE KOTLA

Važnu ulogu u održavanju parnih, vrelovodnih i toplovodnih kotlova ima kemijsko čišćenje kotlova. [29]

Naslage u kotlu mogu nastati zbog: [29]

- loše pripreme vode,
- neodgovarajućeg i/ili nepostojećeg kemijskog tretmana napojne vode i kondenzata,
- i/ili lošeg režima odsoljavanja kotla.

Pravilno provedeno kemijsko čišćenje uklanja u potpunosti naslage s ogrjevnih površina, što značajno poboljšava izmjenu topline u kotlu, smanjuje mogućnost pojave lokalnog pregrijavanja te poboljšava stabilnost rada kotla. [29]

Prema kemijskom sastavu nakupine mogu biti: [29]

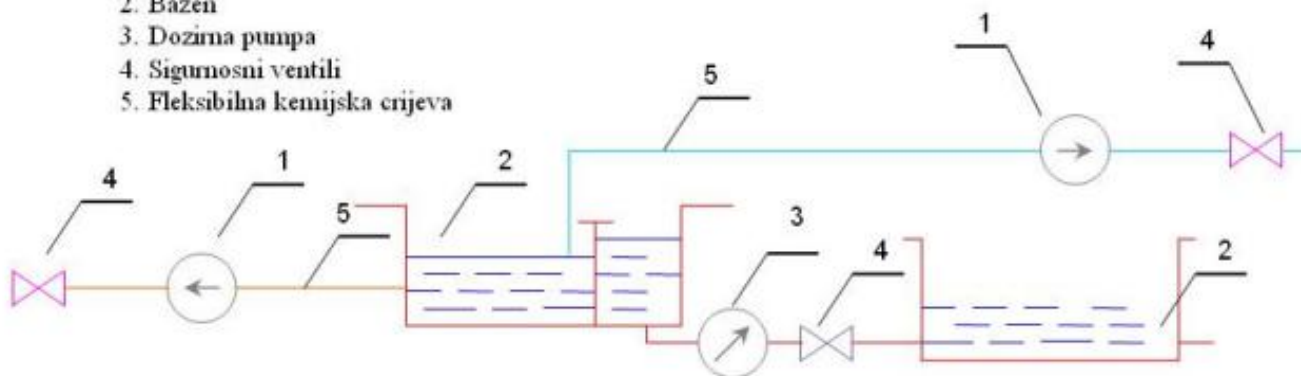
- karbonati (kamenac),
- oksidi,
- silikati,
- sulfati i
- fosfati.

Unutarnjim pregledom kotla najbolje se utvrđuje potreba za kemijskim čišćenjem kotla. Prije provođenja kemijskog čišćenja kotla potrebno je utvrditi debljinu i sastav naslaga (depozita), te odabrati odgovarajuću tehnologiju čišćenja. [29]

Na slici 6.1 prikazan je sustav opreme za kemijsko čišćenje. On je nužno potreban uz sve segmente da bi se kemijsko čišćenje moglo izvesti bez ikakvih zastoja i sigurnosnih mjera kojih se je potrebno strogo pridržavati.

Legenda:

1. Dvije cirkulacione pumpe
2. Bazeni
3. Dozirna pumpa
4. Sigurnosni ventili
5. Fleksibilna kemijska crijeva



Slika 6.1. Sustav za kemijsko čišćenje

### 6.1. Pripremni radovi

Prije samog početka kemijskog čišćenja kotla potrebno je isključiti sve pomoćne uređaje kotlovske postrojenja. Također je bitno odvojiti kotao od vrelododne mreže posebnim postupkom zatvaranja (blindiranje). Zatim slijedi otvaranje kotlovske bubnje i donjih napojnih komora zbog pregleda i grubog mehaničkog čišćenja. I zadnji korak je provjera protočnosti svake pojedinačne membranske cijevi, te mehaničko čišćenje i ispiranje vodom tamo gdje je to potrebno.

Slika 6.2. prikazuje pomoćne cjevovode kotlovske postrojenja, dok na slici 6.3. prikazani pomoćni uređaji na kotlu.



Slika 6.2. Pomoćni cjevovodi kotlovske postrojenja



Slika 6.3. Pomoćni uređaji na kotlu

Ne bi li došlo do oštećenja ostali pomoćni uređaji kotlovskog postrojenja također trebaju biti pravilno isključeni. Dok pravilno zatvoreni trebaju biti pomoćni cjevovodi i uređaji. Zbog sprečavanja ulaska kemijskih sredstva u sustav u kojem nisu poželjne radimo odvajanje vrelovodne mreže od kotla. Međutim, to se radi i zbog toga što se određeni dijelovi ne trebaju čistiti, te se trebaju zatvoriti.

Otvaranje kotlovskog bubnja prikazuju pristupanje bubnju kotla sa stražnje strane (prikazano na slici 6.4.) i s bočne strane (prikazano na slici 6.5.) koja je zazidana. Na slici 6.5. strelica pokazuje gdje se otvara mehaničkim putem kako bi se došlo do elemenata bubnja na koje se spajaju kiselinski cjevovodi. Na onim mjestima gdje je to moguće izvesti, izvodi se mehaničko čišćenje, potom te nakupine naslaga ispiremo vodom



Slika 6.4. Stražnja strana bubnja



Slika 6.5. Kako doći do bubnja s bočne strane

Provođenje kemijskog čišćenja planira se na način da se cirkulacijski tok otopine kiselinskog pripravka usmjerava preko ekonomajzera na svaki pojedinačni membranski zid (prednji zid, stražnji zid, lijevi zid i desni zid), a potom na pregrijač. Nakon što je izvedena montaža i instalacija agregata za kemijsko čišćenje kotao se puni vodom. Punjenje vodom ide do najniže vodokazne razine, a zatim se u višesatnom periodu provjerava instalacija i rad cirkulacione pumpe. Potom slijedi pažljivo doziranje kemijskih sredstava u kadu do postizanja željene koncentracije otopine kiselinskog koktela.

Prilikom montaže opreme, koristi se oprema koja je otporna na kiseline. Korišteni ventili se skidaju i postavljaju se ventili koji su otporni na kiseline. Slika 6.6. prikazuje ventil koji se mora skinuti i postaviti zamjenski koji se koristi kod kemijskog čišćenja.



Slika 6.6. Ventil

## 6.2. Kemijsko čišćenje

Na temelju podataka dobivenih kemijskom analizom kotlovskeg kamenca, te izvođenjem probnog čišćenja uzoraka kotlovskeg cijevi, dolazimo do postupaka koji je nužan za uspješan tretman kemijskog čišćenja.

Tretman se u ovom slučaju mora provoditi stacionarnim i cirkulacionim postupkom. Stacionarni postupak je veoma važno primijeniti jer postoje zone na vodenoj strani kotla s debljim naslagama kamenca. Postoje i mjesta s malim količinama kamenca čije je čišćenje brzo. Potrebno je da na takva mjesta uđe inhibitor korozije koji se nalazi u kiselinskom pripravku te stvori zaštitni sloj vodikovih molekula. Kako bi se učinak čišćenja poboljšao potrebno je postupak ponoviti više puta. Otapanje neotopljenog kamenca nastavlja se cirkulacionim postupkom, te se proces vodi do konačnog očišćenja. Kemijske analize kiselinskog koktela i sadržaja otopljenog željeza u otopini za čišćenje vrše se za vrijeme cirkulacionog postupka. Postupak kemijskog čišćenja se mora zaustaviti nakon postizanja maksimalno dopuštene vrijednosti otopljenog željeza u otopini. Na obradu otpadne vode ide cjelokupan vodeni sadržaj kiselinskog pripravka. Na slici 6.7. su prikazane cijevi na kojima se nalaze razne naslage kamenca. A na slici 6.8. su prikazane cijevi nakon postupka kemijskog čišćenja.



Slika 6.7. Cijevi prije kemijskog čišćenja



Slika 6.8. Cijevi nakon kemijskog čišćenja

### 6.3. Tehnički podaci

Tablica 6.1. Tehnički podaci kotla

Vrsta kotla	Vrelvodni, strmocijevni
Proizvođač	Đuro Đaković" - Slavonski Brod
Godina građenja	1965. godina
Godina rekonstrukcija	1972. godina
Tvornički broj	2103
Nazivni tlak	13 bara
Radni tlak	12 bara
Loženje	Drveni otpad + mazut
Površina rešetke	8,6 m <sup>2</sup>
Ogrjevna površina	250 m <sup>2</sup>
Toplinski kapacitet	4,5 MW
Sadržaj vode u kotlu	16300 litara

Kotao se nalazi u sanaciji. Rad je zaustavljen i slijedi vizualni pregled čitavog kotloskog postrojenja. Otkrivaju se greške i nedostaci. Na temelju obavljenog unutarnjeg pregleda kotla, bubnja kotla, napojnih komora membranskih cijevi kao i pregleda uzoraka uzetih za laboratorijsku analizu, otkriveno je sljedeće:

- stjenke unutarnjeg bubnja kotla pretežno su čiste,
- vidljive su pojedinačne zone naslaga kamenca veličine do 0,5 m<sup>2</sup>, debljine 2-3 mm,
- naslage su tvrđe sa čvrstim prijanjanjem na stjenku bubnja,
- na membranskim cijevima u gornjoj zoni ložišta sa vodene strane su uočljive naslage kamenca debljine do 5 mm.

Slika 6.9. prikazuje presjek membranskog zida i naslage kamenca na pojedinim dijelovima cijevi. U cijevima stražnjeg zida i u cijevima bočnih zidova pojava je posebno izražena. Na cijevima prednjeg zida nisu uočene značajnije naslage kamenca.



6.9. Naslage kamenca u cijevima

Općom analizom su utvrđeni tragovi površinske korozije na čitavoj površini, te smanjenje debljine stjenki membranskih cijevi. Utvrđen je karbonatno - silikatni karakter kamenca laboratorijskom analizom uzoraka kamenca iz bočnih komora. Kako bi se osposobilo kotlovsko postrojenje za daljnju uporabu i siguran rad, potrebno je vodenu stranu kotla u cijelosti očistiti od naslaga kamenca.



## 7. METODIČKI DIO

### 7.1. Analiza nastavnog plana srednje strukovne škole u sadržaju teme diplomskog rada

Naziv teme diplomskog rada je korozija u kotlogradnji. Postoje različiti pojavni oblici korozije o kojima uče učenici srednjih strukovnih škola u sklopu predmeta Obrada materijala školovanjem za zanimanje strojarski računalni tehničar. U nastavku rada analizirat će se ustroj strukovnog srednjoškolskog obrazovanja u Hrvatskoj i nastavni plan i program obrazovanja za strojarskog računalnog tehničara.

#### 7.1.1. Ustroj srednjoškolskog strukovnog obrazovanja u Hrvatskoj

Po završetku osnovnoškolskog odgoja i obrazovanja koje započinje od sedme godine djetetova života te obuhvaća osam godina školovanja započinje srednjoškolsko obrazovanje. Srednjoškolsko obrazovanje nije obavezno. Međutim, gotovo svi učenici po završetku osnovne škole nastavljaju svoje obrazovanje u općim ili strukovnim srednjim školama.

U Hrvatskoj postoje tri vrste srednjoškolskih programa programa, a to su:

- gimnazijski (općeobrazovni) programi u trajanju od 4 godine,
- strukovni programi u trajanju od 4 ili 5 godina i
- strukovni programi u trajanju do 3 godine.

U gimnazijama obrazovanje završava obveznim polaganjem državne mature. Temeljni cilj gimnazijskih programa je pripremanje učenika za nastavak obrazovanja na nekoj od visokoškolskih ustanova.

Strukovni programi u trajanju od 4 ili 5 godina završavaju izradom i obranom završnog rada. Ovim programima učenici stječu znanja, vještine i kompetencije za obavljanje stručnih poslova i uključivanje na tržište rada ili nastavak obrazovanja na visokoškolskoj razini.

Strukovni programi u trajanju od 3 godine završavaju izradom i obranom završnog rada. Ovim programima se priprema učenike za rad u industriji, gospodarstvu ili obrtništvu.

## 7.1.2. Obrazovanje za zanimanje strojarski računalni tehničar

Obrazovanje za zanimanje strojarski računalni tehničar traje četiri godine. Uvjet za upis je završena osnovna škola i zadovoljavajuća zdravstvena sposobnost, a to obuhvaća:

- uredan vid,
- stereovid.
- uredan sluh,
- raspoznavanje boja,
- uredna funkcija mišićno-koštanog, dišnog i srčano-žilnog sustava,
- uredno kognitivno, emocionalno i psihomotoričko funkcioniranje,
- stabilno stanje svijesti i uredna ravnoteža.

### 7.1.2.1. Opis zanimanja

Strojarski računalni tehničar obavlja poslove vezane uz konstruiranje, gradnju, upotrebu i održavanje alata, strojeva i postrojenja. Može raditi u odjelima konstrukcije elemenata i sklopova, na pripremi i vođenju proizvodnje te u kontroli, rukovanju i održavanju strojeva u proizvodnim pogonima.

Tablica 7.1. Sadržaj gradiva nastavnog predmeta „Tehnologija obrade i sastavljanja“

<i>Nastavna cjelina</i>	<i>Očekivani rezultati</i>	<i>Nastavni sadržaji</i>
<p style="text-align: center;">STROJNA OBRADA ODVAJANJEM ČESTICA</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nabrojati i razlikovati vrste obrade</li> <li>• Objasniti osnovne pojmove iz strojne obrade odvajanjem čestica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• vrste obrade,</li> <li>• načini pogona i vrste gibanja kod alatnih strojeva,</li> <li>• teorija rezanja,</li> <li>• geometrija oštrice,</li> <li>• materijali za alate,</li> <li>• nastanak i vrste strugotine,</li> <li>• postojanost alata,</li> <li>• sredstva za hlađenje i podmazivanje,</li> <li>• režimi obrade,</li> <li>• brzina rezanja,</li> <li>• sile tokarenja,</li> <li>• glodanje, upuštanje i razvrtanje,</li> <li>• brušenje</li> <li>• postupci fine obrade: honanje, superfiniš, lepanje i poliranje,</li> <li>• nekonvencionalni postupci obrade: ultrazvuk, elektroerozija, laser, provlačenje,</li> <li>• izrada ozubljenja</li> </ul>

<p>TOPLINSKA OBRADA</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Objasniti osnovne pojmove iz toplinske obrade</li> <li>• Primijeniti postupke toplinske obrade u obradi materijala</li> <li>• Navesti i objasniti postupke toplinske obrade</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kaljenje, popuštanje i poboljšavanje,</li> <li>• cementiranje i nitriranje,</li> <li>• oprema i sredstva za toplinsku obradu</li> </ul>
<p>ZAŠTITA POVRŠINA</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Objasniti pojmove vezane uz koroziju</li> <li>• Razlikovati vrste korozije</li> <li>• Poznavati vrste zaštite površina</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• korozija i njeno ekonomsko značenje,</li> <li>• vrste korozije,</li> <li>• kovinske zaštitne prevlake,</li> <li>• metalizacija,</li> <li>• galvanizacija,</li> <li>• kemijske zaštitne prevlake,</li> <li>• oksidacija,</li> <li>• bojenje</li> </ul>
<p>TEHNOLOŠKI PROCESI</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Razlikovati vrste tehnoloških procesa</li> <li>• Razlikovanje i korištenje tehničko – tehnološke dokumentacije</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• tehnološki procesi na klasičnim strojevima,</li> <li>• tehnološki postupak,</li> <li>• operacijski list (skica obrade, zahvati, alati, stezanje i kontrola)</li> <li>• izračunavanje vremena izrade,</li> <li>• normiranje,</li> <li>• tehničko-tehnološka i radna dokumentacija</li> </ul>

<p style="text-align: center;">SASTAVLJANJE PROIZVODA</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Razraditi proces sastavljanja proizvoda i sastaviti proizvod</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• uvod u proces sastavljanja,</li> <li>• organizacijski oblici,</li> <li>• razrada procesa sastavljanja,</li> <li>• shema i redoslijed sastavljanja,</li> <li>• režimi rada sastavljanja,</li> <li>• tehnički uvjeti montaže,</li> <li>• formiranje tehnološke dokumentacije</li> </ul>
<p style="text-align: center;">ODRŽAVANJE STROJEVA I OPREME</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Objasniti postupke održavanja strojeva i opreme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• dnevno i plansko održavanje,</li> <li>• tekuće i investicijsko održavanje,</li> <li>• rezervni dijelovi,</li> <li>• vrijeme i troškovi održavanja,</li> <li>• planiranje opreme i radne snage</li> </ul>

SVEUČILIŠTE U RIJECI  
STUDIJ POLITEHNIKE

Ime i prezime: Ana Županić

PRIPREMA ZA IZVOĐENJE NASTAVE

Škola: Tehnička škola

Mjesto: Rijeka

Razred: 2.

Zanimanje: Strojarski računalni tehničar

Nastavni predmet: Tehnologija obrade i sastavljanja

Kompleks: Zaštita površina

Metodička (nastavna) jedinica: Vrste korozije

Datum izvođenja:

## SADRŽAJNI PLAN

*Podjela kompleksa na teme (vježbe, operacije)*

Redni broj	Naziv teme u kompleksu: <u>3. ZAŠTITA POVRŠINA</u>	Broj sati	
		Teorija	Vježbe
3.1.	Korozija i njeno ekonomsko značenje	1	
3.2.	<u>Vrste korozije</u>	1	
3.3.	Kovinske zaštitne prevlake	1	
3.4.	Metalizacija i galvanizacija	1	
3.5.	Kemijske zaštitne prevlake	1	
3.6.	Oksidacija i bojenje	1	

*Karakter teme (vježbe, operacije) metodičke jedinice:*

- obrada novog gradiva

*Informativni*

- Stjecanje znanja o postupcima zaštite površine.

*Formativni*

- Obrada sadržaja radi osposobljavanja učenika za izvođenje vježbi iz praktične nastave tehnologije obrade i sastavljanja.

## PLAN VOĐENJA ORGANIZACIJE NASTAVNOG PROCESA

*Cilj (svrha) obrade metodičke jedinice:*

- Usvajanje novih teorijskih sadržaja za primjenu na praktičnim vježbama.
- Stjecanje i razvijanje radnih navika, točnosti, urednosti i sustavnosti, te primjena standarda i upotreba tehničke dokumentacije.

*Ishodi učenja (postignuća koja učenik treba ostvariti za postizanje cilja):*

### ZNANJE I RAZUMIJEVANJE:

*Učenik će nakon obrade ove nastavne jedinice moći:*

- Navesti, objasniti i razlikovati vrste i oblike korozije.
- Objasniti pojam korozije.

### VJEŠTINE I UMIJEĆA:

*Učenik će nakon obrade ove nastavne jedinice moći:*

- Primjeniti potrebna znanja na praktičnim vježbama.

### SAMOSTALNOST I ODGOVORNOST:

*Učenik će nakon obrade ove nastavne jedinice moći:*

- Izabrati način rješavanja postavljenih zadataka
- Odgovorno se ponašati prema okolišu



*Organizacije nastavnog sata - artikulacija metodičke jedinice*

<i>Dio sata</i>	<i>Faze rada i sadržaj</i>	<i>Metodičko oblikovanje</i>	<i>Vrijeme</i>
Uvodni dio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ponavljanje prethodno naučenog gradiva</li> <li>• Najava teme sata</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• metoda razgovora</li> <li>• samostalni rad učenika</li> <li>• usmeno izlaganje</li> <li>• demonstracija</li> </ul> <p><i>OBLIK RADA:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• frontalni rad</li> </ul>	5 min
Glavni dio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PP prezentacija o vrstama korozije</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• razgovor</li> <li>• demonstracija</li> <li>• izlaganje</li> <li>• rad s udžbenikom</li> </ul>	30 min
Završni dio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ponavljanje i utvrđivanje gradiva pomoću pitanja</li> <li>• Najava metodičke jedinice za sljedeći nastavni sat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• razgovor</li> <li>• usmeno odgovaranje na pitanja</li> <li>• demonstracija</li> </ul> <p><i>OBLIK RADA:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• frontalni</li> <li>• individualni</li> </ul>	10 min

*Potrebna nastavna sredstva, pomagala i mjesto izvođenja nastavnog rada:*

**NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA:**

- računalo
- LCD projektor
- tehničko - tehnološka dokumentacija

### *MJESTO IZVOĐENJA NASTAVNOG RADA:*

- učionica

### *Korelativne veze metodičke jedinice s ostalim predmetima i područjima:*

- Tehnička mehanika (gibanje, brzina, posmak)
- Elementi strojeva (vratila, zupčanici, remenski prijenos)
- Elektrotehnika (elektromotori, elektroerozija, laser, ultrazvuk, galvanizacija)
- Tehnički materijali (čelici, Al-legure, legure alogenih metala)
- Kemija (površinska zaštita, elektroliti, korozija, bojenje, kemijske prevlake)

### *Metodički oblici koji će se primjenjivati tijekom rada:*

#### *UVODNI DIO SATA*

Razgovorom s učenicima ponoviti prethodno obrađenu nastavnu jedinicu. Najava teme sata i pokretanje PP prezentacije.

#### *GLAVNI DIO SATA*

Razgovorom, demonstracijom i izlaganjem objasniti osnovne pojmove vezane uz koroziju i njene vrste.

#### *ZAVRŠNI DIO SATA*

Koristeći se metodom razgovora odgovoriti na pitanja.

Najava metodičke jedinice za sljedeći nastavni sat.

### *Izvori za pripremanje nastavnika*

- Kalinić Z., Održavanje alatnih strojeva, Školska knjiga 2001., udžbenik
- Matošević M., Tehnologija obrade i montaže, Nova Gradiška, 1994., udžbenik
- Babić Lj., Obrada materijala odvajanjem čestica, Birotehnika, Zagreb, 1993.
- Vadenik F., Projektiranje tehnoloških procesa, Tehnička knjiga, Zagreb, 1990.

### *Izvori za pripremanje učenika*

- Kalinić Z., Održavanje alatnih strojeva, Školska knjiga 2001., udžbenik

*UVODNI DIO NASTAVNOG SATA*

Razgovorom s učenicima ponoviti gradivo s prethodnog nastavnog sata (Korozija i njeno ekonomsko značenje). Potom slijedi najava današnje teme sata koja nosi naziv: Vrste korozije.

*GLAVNI DIO NASTAVNOG SATA*

Određivanje vrste korozije je bitno jer pomaže u rješavanju problema. S prethodnog sata je poznato da korozija uzrokuje velike financijske gubitke.

Glavni čimbenici koji utječu na vrstu korozije su:

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

U sprječavanju i zaštiti od korozije uvelike pomaže saznanje o vrsti korozije.

Vrste korozije su:

a) opća korozija

Opća korozija zahvaća cijelu površinu materijala. Može biti ravnomjerna ili neravnomjerna. Opća korozija se pojavljuje kada je čitava površina materijala izložena agresivnoj sredini pod približno jednakim uvjetima s obzirom na unutrašnje i vanjske faktore korozije.

b) galvanska korozija

Galvanska korozija pojavljuje se kada su dva ili više različitih metala u kontaktu uz uvjet postojanja razlike potencijala među metalima i prisutnost elektrolita.

c) termogalvanska korozija,

Do ove vrste korozije dolazi kada postoji samo jedan materijal u cjelini, međutim njegovi dijelovi se razlikuju po temperaturi.

d) korozija u procijepu,

Javlja se u procjepima koji su dovoljno veliki da tekućina može prodrijeti, a ujedno su dovoljno mali ili smješteni tako da se ta tekućina u njima zadrži.

e) rupičasta korozija,

Kod rupičaste (pitting) korozije nastaju rupičasta oštećenja koja se protežu od površine u metal. Ona može biti veoma opasna jer je teško uočljiva.

f) selektivna korozija,

Ovaj oblik korozije se događa kod legura kod kojih je jedan element izrazito manje plemenit od drugih.

g) intergranularna korozija,

h) erozijska korozija,

i) kavitacijska korozija,

j) korozija uzrokovana trenjem,

k) korozija potpomognuta naprezanjem i

l) korozija potpomognuta zamorom materijala.

### *ZAVRŠNI DIO NASTAVNOG SATA*

Od učenika tražiti kratke odgovore na slijedeća pitanja:

- Da li morska voda usporava koroziju?
- Što sve utječe na vrstu korozije?
- Koja vrste korozije se najčešće pojavljuje?
- Koji metarijali su podložni galvanskoj koroziji?
- Kakva može biti selektivna korozija?

Najava teme slijedećeg sata i pozdrav s učenicima.

*Izgled ploče*

## VRSTE KOROZIJE

Čimbenici koji utječu na vrstu korozije:

- a) dizajn proizvoda
- b) kombinacija materijala i okoline
- c) stanje površine
- d) ostala mehanička pogoršanja

Vrste korozije su:

1. opća korozija,
2. galvanska korozija,
3. termogalvanska korozija,
4. korozija u procijepu,
5. rupičasta korozija,
6. selektivna korozija,
7. intergranularna korozija,
8. erozijska korozija,
9. kavitacijska korozija,
10. korozija uzrokovana trenjem,
11. korozija potpomognuta naprežanjem i
12. korozija potpomognuta zamorom materijala

## 8. ZAKLJUČAK

Korozija uzrokuje goleme materijalne štete, a često i nesreće s katastrofalnim posljedicama. Isto vrijedi i za koroziju koja se javlja u kotlogradnji. Od velike je važnosti koroziju pravovremeno predvidjeti. Na temelju oblika i mjesta razaranja materijala potrebno je odrediti vrstu korozije i odabrati odgovarajuću vrstu zaštite materijala.

Kotao se sastoji od niza zavarenih spojeva te na taj način razlikujemo i tehnologije zavarivanja koje se koriste u kotlogradnji. Izbor tehnologije prvenstveno ovisi o vrsti materijala koji se zavaruje. Bitno je spomenuti kako izbor materijala također utječe na pojavu korozije. Razlikujemo materijale koji su manje ili više skloniji nastanku korozije. Prilikom izrade kotla koriste se materijali koji su manje podložni utjecaju korozije ili za koje postoji odgovarajuća zaštita od korozije. Održavanje čistoće je ključan dio svakog elementa života. Isto vrijedi i za kotlove, njihovo održavanje, a ujedno i produljenje vijeka trajanja počinje sa kemijskim čišćenjem. Pregledom kotla se utvrđuje njegovo trenutno stanje i odabire odgovarajuća tehnologija čišćenja.

## 9. LITERATURA

- [1] I. Esih, Z. Dugi: Tehnologija zaštite od korozije, Školska knjiga, Zagreb, 1989.
- [2.] N. Rački - Weihnacht, Boje i lakovi - jučer danas sutra, Chromos boje i lakovi d.d., Zagreb, 2004.
- [3.] <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=33445> (dostupno dana 4.6.2021.)
- [4] M. Novosel, D. Krumes: Željezni materijali - 2.dio: Konstrukcijski čelici, SFSB, Slavonski Brod, 1995.
- [5] M. Novosel, D. Krumes: Posebni čelici, SFSB, Slavonski Brod, 1998.
- [6] V. Ivušić, M. Franz, Đ. Španiček, L. Ćurković: Materijali I, Sveučilište u Zagrebu, FSB, Zagreb, 2011.
- [7] D. Ćorić, Ž. Alar: Odabrana poglavlja iz mehaničkih svojstava materijala, Sveučilište u Zagrebu, FSB, Zagreb, 2016.
- [8] S. Kožuh: Specijalni čelici, Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet, Sisak, 2010.
- [9] <https://repozitorij.rgn.unizg.hr/islandora/object/rgn%3A765/datastream/PDF/view> (dostupno dana 10.7.2021.)
- [10] <https://repozitorij.ktf-split.hr/islandora/object/ktfst%3A189/datastream/PDF/view> (pregledano 12.7.2021.)
- [11] [https://www.pfri.uniri.hr/web/dokumenti/uploads\\_nastava/20180308\\_093522\\_sakan\\_2.Korozijska.svojstva.pojedinih.tehnickih.materijala.pdf](https://www.pfri.uniri.hr/web/dokumenti/uploads_nastava/20180308_093522_sakan_2.Korozijska.svojstva.pojedinih.tehnickih.materijala.pdf) (dostupno dana 15.7.2021.)
- [12] napetosna korozija  
[file:///C:/Users/Ana/Downloads/TG\\_2\\_2011\\_Horvat\\_Samardzic\\_Kondic\\_Napetosna\\_korozija.pdf](file:///C:/Users/Ana/Downloads/TG_2_2011_Horvat_Samardzic_Kondic_Napetosna_korozija.pdf) (pregledano 5.8.2021.)
- [13] <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=63999> (pregledano 15.8.2021.)
- [14] B. Mateša, I. Samardžić, M. Dunder, Zavarljivost raznovrsnih čelika i primjena Schaeffler-ovog dijagrama, Strojarski fakultet, Slavonski Brod, 2011.

[15] [http://www.konimb.hr/blog/sto\\_je\\_inox.html](http://www.konimb.hr/blog/sto_je_inox.html) (pregledano dana 20.8.2021.)

[16] K. Zidarić, Zavarivanje raznorodnih čelika, završni rad, FSB, Zagreb, 2014.

[17] E. Barić, Zavarljivost martenzitnog čelika X3CrNiMo13-4, diplomski rad, FSB, Zagreb, 2015.

[18] Zavarivanje

[https://www.google.com/search?q=realni+prikaz+rel+zavarivanja&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=d1gFz1CvkTqyAM%252CMQ\\_ZAN7h8PzHEM%252C\\_&vet=1&usg=AI4\\_-kTCDfsO1GR4P1mMyIwh0NBFeS32dw&sa=X&ved=2ahUKEwjnb\\_4iKLxAhXZ\\_7sIHXEIBjEQ9QF6BAgMEAE#imgrc=d1gFz1CvkTqyAM](https://www.google.com/search?q=realni+prikaz+rel+zavarivanja&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=d1gFz1CvkTqyAM%252CMQ_ZAN7h8PzHEM%252C_&vet=1&usg=AI4_-kTCDfsO1GR4P1mMyIwh0NBFeS32dw&sa=X&ved=2ahUKEwjnb_4iKLxAhXZ_7sIHXEIBjEQ9QF6BAgMEAE#imgrc=d1gFz1CvkTqyAM) (dostupno dana 18.6.2021.)

[19] M. Horvat, M. Bilić, V. Kondić, Primjena REL zavarivanja u izradi čeličnih konstrukcija, Tehnički glasnik 7, 2013., br. 2, str. 132-137.

[20]

[https://www.google.com/search?q=tig+zavarivanje+relani+prikaz&tbm=isch&ved=2ahUKEwjsgrzZlqLxAhVZ0bsIHbn6AsIQ2-cCegQIABAA&oq=tig+zavarivanje+relani+prikaz&gs\\_lcp=CgNpbWcQAzoCCAA6BAgAE B46BggAEAUQHjoGCAAQCBAeUJwSWKhMYIVOaABwAHgAgAGtAYgB0gySAQM2LjiYACgAQGqAQnd3Mtd2l6LWltZ8ABAQ&sclient=img&ei=7hbNYOzTN9mi7\\_UPufWLkAw#imgrc=eLiyE\\_7sniarYM](https://www.google.com/search?q=tig+zavarivanje+relani+prikaz&tbm=isch&ved=2ahUKEwjsgrzZlqLxAhVZ0bsIHbn6AsIQ2-cCegQIABAA&oq=tig+zavarivanje+relani+prikaz&gs_lcp=CgNpbWcQAzoCCAA6BAgAE B46BggAEAUQHjoGCAAQCBAeUJwSWKhMYIVOaABwAHgAgAGtAYgB0gySAQM2LjiYACgAQGqAQnd3Mtd2l6LWltZ8ABAQ&sclient=img&ei=7hbNYOzTN9mi7_UPufWLkAw#imgrc=eLiyE_7sniarYM) (dostupno dana 18.6.2021.)

[21] M. Živčić, Elektrolučno zavarivanje pod zaštitom praška - EPP, Zavarivanje 26, 1983, str. 215 - 221.

[22]

[https://www.google.com/search?q=epp+zavarivanje+&tbm=isch&ved=2ahUKEwjGoLvnnKLxAhX7wrsIHXNhBwsQ2-cCegQIABAA&oq=epp+zavarivanje+&gs\\_lcp=CgNpbWcQAzIECAAQHIC5OFiKR2CCS WgAcAB4AIABvgGIAegMkgEENC4xMJgBAKABAaoBC2d3cy13aXotaW1nWAEB&sclient=img&ei=Vh3NYMadNfuF7\\_UP88KdWA#imgrc=kGpcRgSIK7XiEM](https://www.google.com/search?q=epp+zavarivanje+&tbm=isch&ved=2ahUKEwjGoLvnnKLxAhX7wrsIHXNhBwsQ2-cCegQIABAA&oq=epp+zavarivanje+&gs_lcp=CgNpbWcQAzIECAAQHIC5OFiKR2CCS WgAcAB4AIABvgGIAegMkgEENC4xMJgBAKABAaoBC2d3cy13aXotaW1nWAEB&sclient=img&ei=Vh3NYMadNfuF7_UP88KdWA#imgrc=kGpcRgSIK7XiEM) (dostupno dana 19.6.2021.)

[23] [http://www.ozmetalsan.com/management/katalog/20090508\\_28\\_5757715106.pdf](http://www.ozmetalsan.com/management/katalog/20090508_28_5757715106.pdf)

(preuzeto 19.6.2021.)



- [24] <https://www.cortecveci.com/International/croatia/Diplomski%20rad%20%20Tomislav%20Levanic.pdf> (dostupno dana 4.9.2021.)
- [25] E. Stupnišek - Lisac, Korozija i zaštita konstrukcijskih materijala, FKIT, Zagreb, 2007.
- [26] V. S. Sastri, E. Ghali, M. Elboujdaini, Corrosion Prevention and Protection, Practical Solutions, John Wiley & Sons, Ltd., 2007.
- [27] T. Filetin, Izbor materijala pri razvoju proizvoda, FSB, Zagreb, 2000.
- [28] I. Juraga, V. Alar, I. Stojanović, V. Šimunović, Korozija i metode zaštite od korozije, skripta, FSB
- [29] <https://obrada-vode.hr/servisi-i-usluge/kemijsko-ciscenje/kemijsko-ciscenje-industrijskih-kotlova/> (dostupno dana 4.9.2021.)
- [31] <https://dokumen.tips/documents/elektrolucno-zavarivanje-svornjaka.html> (dostupno dana 4.9.2021.)