

1 UVOD

Več kot 70 % Zemeljske površine je prekrito z oceani in morji. So vir hrane, energije in mineralov, omogočajo lažji transport in funkcioniranje različnih infrastruktur. Med ostalim, iz podmorskih rezervoarjev se črpajo velike količine nafte in zemeljskega plina. Oceani in morja imajo značilno strateško vlogo in vse bolj važno vlogo v sektorjih turizma in rekreacije.

Pomorske tehnologije zahtevajo izkoriščanje in implementacijo relativnih naprednih tehnologij kot so: tehnologija materiala in proizvodnje, informacijsko komunikacijska tehnologija, avtomatska kontrola kot logistika.

Za plovilo oz. plavajoče objekte so najvažnejše varnostne zahteve vezane na preprečevanje katastrof. Potopitev zaradi prevrnitve ter strukturnih napak lahko doprinese do velikih katastrof. Eden glavnih krivcev za strukturne napake in potopitve pa je korozija.



Vir:pfri[17]

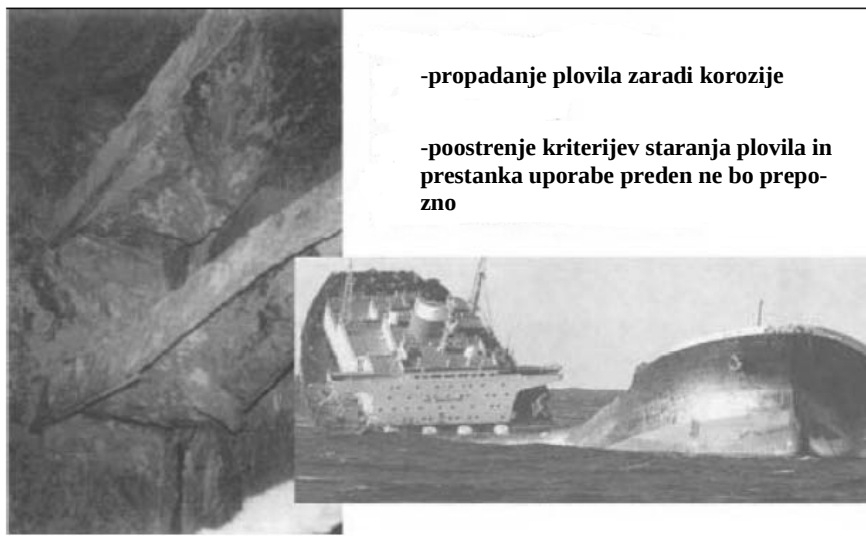
Slika 1: potopitev potniške ladje Herald



Vir:pfri[17]

slika 2: Potopitev platforme P-36

Zaradi korozije pride do propadanja ladij in drugih struktur, ki lahko povzročijo velike ekološke katastrofe.



Vir: pfri[17]

slika 3: potopitev ladje zaradi korozije

V diplomski nalogi bom opisal delovanje korozije na ladijskih materialih oziroma kovinah. Korozija je destruktiven napad kovine, ki temelji na kemičnih ali elektrokemičnih reakcijah, ki se odvijajo zaradi termodinamične nestabilnosti materiala v nekem okolju. Propadanje materiala zaradi različnih fizikalnih vzrokov se ne imenuje korozija, temveč se enostavno opisuje kot obraba. Pogosto je korozijski napad povezan s fizikalnim propadanjem. Termin korozije je povezan le s propadanjem kovin in njihovih zlitin.

Rjavenje je izraz, ki se uporablja za korozijo železa in njegovih zlitin. Pri tej koroziji se tvori rja ali korozijski produkt različne sestave. Tudi druge kovine in njihove zlitine korodirajo s tvorbo korozijskih produktov, ki pa ne rjavijo, temveč korodirajo.

Mehanizme korozije kovin delimo na elektrokemično in kemično korozijo. Elektrokemična korozija kovin se odvija po zakonitostih elektrokemične kinetike, s produkcijo električnega toka (korozijski tok), kemična pa po zakonitostih kemične kinetike heterogenih reakcij, kjer so prisotni povsem drugačni mehanizmi in korozijski mediji. (Leskovar 1971,3)

Korozijski medij je delno ali v celoti disociran elektrolit. To je električno prevodna vodna raztopina različnih soli, baz ali kislin. Elektroliti so fluidi z naelektrenimi delci materije – ioni, ki prevajajo električni tok s pomočjo gibanja negativno nabitih ionov – anionov in pozitivno nabitih kationov. Za elektrolite je karakteristična ionska prevodnost, medtem ko je za kovine karakteristična elektronska.

V plinih in visoko pregretyh parah ter pri visokih temperaturah, se pojavlja kemična korozija v plinih, imenovana tudi suha korozija. Sem sodijo npr. korozija motorjev z notranjim zgorevanjem, korozija gorilnikov, toplotnih izmenjevalcev in mnogih drugih elementov pri zgorevanju naftnih derivatov ali premoga, oksidacija kovin pri različnih vrstah žarenja itd.. Pri koroziji je pomemben pogoj, da imajo korozijski produkti ionsko lastnost prevajanja elektrone.

Osnovna karakteristika korozije kovin je njeno začetno delovanje na površini, od koder se z različno hitrostjo širi v globino. Posledica tega je lokalna sprememba sestave kovine. Korozija vpliva na integriteto površine, oz. na življenjsko dobo različnih elementov vgrajenih v različne konstrukcije, izdelane iz različnih kovin, katere so izpostavljene različnim korozijskim medijem. Ti mediji so lahko: kisik, atmosfera, ogljikov dioksid, morska voda, rečna voda, pitna voda, para, dimni plini, razne kemikalije, organske tekočine in raztopine itd. .

Možnost nastajanja elektrokemične korozije je mnogo večja.

V odvisnosti od okolice v kateri potekajo te vrste procesi, ločimo različne vrste elektrokemične korozije kovin:

1. *Korozija v elektrolitih*; to je zelo razširjena oblika korozije, ki nastaja zaradi delovanja naravnih vod, različnih vodnih raztopin soli, baz in kislin, na kovinske konstrukcije.
2. *Atmosferska korozija*; ta je posledica delovanja vlažne atmosfere, ali drugih vlažnih plinov v različnih panogah industrije. Ta oblika korozije je najbolj razširjena (pod njenim vplivom korodirajo npr. jeklene konstrukcije).
3. *Podzemeljska korozija*; pojavlja se na delih kovinskih konstrukcij, ki so v kontaktu z zemljo. Propadanje cevi in kablov so najbolj pogosti pojavi te vrste korozije.
4. *Elektrokorozija*; to je zelo intenzivna korozija, katere vzrok so blodeči istosmerni tokovi.
5. *Kontaktna korozija*; nastanek te je povezan s tvorbo galvanskih členov, ki se pojavljajo zaradi spajanja dveh materialov z različnimi potenciali.

6. *Biokorozija*; nastanek te je pogojen z delovanjem produktov različnih mikroorganizmov.

Za elektrokemično korozijo je značilnih osem oblik korozije:

1. *Enakomerna korozija*; ta napreduje v globino enakomerno.
2. *Korozija v špranji*; zaradi specifičnosti elektrokemičnega procesa v špranji, v kateri se spreminja tudi pH medija, korozija lahko hitro napreduje.
3. *Pitting korozija*; nastaja lokalno v obliki izjed.
4. *Interkristalna korozija*; elektromotorna sila tega procesa so potencialne razlike med konstituenti, ki so ločeni po mejah kristalnih zrn in preostalim matriksom.
5. *Selektivno odtapljanje*; nekatere faze v različnih zlitinah izkazujejo ekstremno nizek elektrokemični potencial in zaradi tega izrazito odtapljanje teh faz.
6. *Napetostna korozija*; značilna za visokotrnostna jekla in mnoge druge zlitine v katerih ob prisotnosti napetosti material korodira interkristalno ali transkristalno, kar vodi do krhkih zlomov.
7. *Vodikova krhkost*; nastaja zaradi destruktivnega delovanja absorbiranega atomarnega vodika oz. protona vodika v kristalno mrežo.
8. *Korozija-erozija*; značilno hitro odnašanje materiala zaradi istočasnega delovanja korozije in gibanja korozijskega medija.

Korozija kot velik povzročitelj škod

Študije, ki so bile izvršene v deželah Evropske gospodarske skupnosti in na Japonskem v zvezi s škodami katere povzroča korozija, kažejo, da je ta eden največjih uničevalcev človeških dobrin in energije. Te škode znašajo približno 4,2 % narodnega dohodka. V to vrednost pa niso všteti indirektni stroški, med katerimi so bistveni :

1. Zastoji v proizvodnji

V primeru zamenjave korodirane cevi v rafineriji pomeni ustavitev proizvodnje neke enote rafinerije, kar prinaša velike stroške.

2. Izguba produkta

Izguba nafte, naftnih derivatov, plina, ki se pojavljajo npr. zaradi korodiranega cevovoda.

3. Znižanje storilnosti oz. količine

Storilnost je lahko drastično znižana zaradi kopičenja korozijskih produktov npr. v črpalkah. V motorjih z notranjim zgorevanjem povzročajo zgorevalni plini in kondenzati korozijo na stenah cilindrov in batnih obročih. Posledica tega je večja poraba goriva in olja.

4. Onesnaževanje produktov

Že majhne količine bakrovih ali svinčenih korozijskih produktov imajo strupen učinek na hrano.

2 DEJAVNKI ZA NASTANEK KOROZIJE

2.1 KEMIČNA KOROZIJA

Že pri pridobivanju kovin je znano, da so kovine v zemlji v obliki rude, torej v vezani obliki in zelo redko samorodne. Večina kovin je vezana na kisik (oksidne rude). Iz tega stanja pridobivamo čiste kovine s toplotno energijo in redukcijskimi sredstvi. Vendar se z njimi ne doseže ravnotežnega stanja kovine. Kovine strmijo za tem, da dosežejo zopet prvotno stanje, da se vežejo v kemične spojine. Tako nastane kemična korozija, ki je v bistvu spojina kovine s kisikom (npr. pri cinku : $2\text{Zn} + \text{O}_2$).

Podobno se dobi lahko tudi spojine z drugimi kemičnimi elementi.

Od takih in podobnih sprememb je odvisna predvsem oblika kovin. Če nastajajo neprekinjene plasti v obliki kože, ki prekrivajo vso površino, zaščitijo kovino pred nadaljnjo korozijo. Tako se dobi odporne kovinske materiale. Velika odpornost proti koroziji aluminijevega bronza, povzroča plast aluminijevega oksida, ki se naredi na površini omenjene zlitine. V mnogih primerih pa strnjenega površinskega sloja se ne da dobiti. Sloj je preveč luknjičav in porozen ali prekinjen in prepušča agresivne pline. Nastanejo proti koroziji neodporne kovine in zlitine, pa čeprav nimajo same po sebi velike afinitete do drugih kemičnih elementov. Takšen primer je pri bakru, če se ga segreva pri visoki temperaturi.

Kemična korozija je omejena na snoveh, ki ne vsebujejo vode. Tudi tekočine, ki ne vsebujejo vode, povzročajo kemično korozijo. Ker vsebuje večina tekočin vsaj vlago, je tudi ta razlog za korozijo, ki jo povzročajo elektrokemični vplivi.

2.2 ELEKTROKEMIČNA KOROZIJA

Kemična korozija zaostaja za aktivnejšo in znatno nevarnejšo elektrokemično korozijo. Pogoj za nastanek elektrokemične korozije je, da prevaja dotična tekočina električen tok, torej, da je elektrolit.

Sestavni del vsakega elektrokemičnega sistema je elektrolit. Lahko trdim, da brez elektrolita ni elektrokemične reakcije. Elektroliti so fluidi, ki sistemu, v katerem se nahajajo, dajejo naelektrene delce (ione). Takšni sistemi prevajajo električni tok s pomočjo gibanja ionov (prevodniki druge vrste), kovine pa prevajajo elektriko s pomočjo gibanja elektronov (prevodniki prve vrste). (Leskovar 1989,4). Najbolj znani prevodniki prve vrste so zlato, srebro, baker, aluminij, jeklo itd..

Tipični prevodniki druge vrste so vodne raztopine soli, kislin in baz. Elektrolit potreben za elektrokemičen proces korozije pa lahko predstavlja tudi povsem kemično čista voda.

Raztopine elektrolitov se v glavnem delijo na šibke in močne elektrolite. Med šibke elektrolite spada večina organskih kislin in baz, pa tudi vrsta raztopin iz soli težkih kovin, med močne pa raztopine večine soli in mineralnih baz.

Znano je, da atom sestoji iz električno pozitivno nabitih masnih delcev (protonov) in električno negativno nabitih masnih delcev (elektronov). Atomsko jedro sestoji iz protonov in nevtralnih delcev, ki jim pravimo nevtroni. V primeru da pride kovina v dotik z elektrolitom, preidejo atomi v ione in potujejo kot električno pozitivni skozi elektrolit. Pritisk, s katerim so potisnjeni pozitivni ioni v elektrolit, predstavlja za vsako kovino karakteristično veličino, ki jo dobimo s preizkusi in jo imenujemo potencial. Ta potencial je izražen tudi z napetostjo v voltih (Tabela 1).

Tabela 1: najbolj poznane konstrukcijske kovine

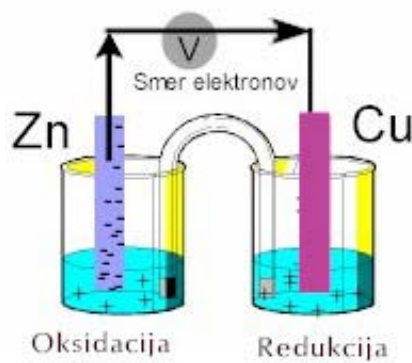
kovina	napetost v voltih	kovina	napetost v voltih	kovina	napetost v voltih
kalij	- 2,9	železo	- 0,44	vodik	0
natrij	- 2,7	kadmij	- 0,40	baker	+ 0,34
magnezij	- 2,34	kobalt	- 0,29	srebro	+ 0,80
aluminij	- 1,28	nikelj	- 0,25	živo srebro	+ 0,86
mangan	- 1,05	kositer	- 0,14	zlato	+ 1,68
cink	-0,76	svinec	- 0,12	platina	+ 1,18

Vir: Leskovar[3]

Tabela 1 prikazuje, da so najbolj poznane konstrukcijske kovine na neplemeniti strani. Razvidno je da so vse te kovine podvržene koroziji. Vendar je v naravi njihovo zadržanje ugodnejše, kakor bi pa lahko sklepali iz vrstnega reda v tabeli. Važni kovini kot sta aluminij in magnezij se tudi pri električni koroziji prekrijeta z zaščitno plastjo, ki ju močno zaščitit pred pospešeno korozijo in zaradi tega se jih pozna kot proti koroziji odporni kovini.

Potenciali se s korozijo spreminjajo. Negativni potencial imajo vse neplemenite kovine, ki se razkrajajo v vodi. Plemenite kovine, ki so za neobčutljive, pa imajo pozitiven potencial. Poznane ni nobene kovine, ki bi imela na vseh mestih površine enak potencial. Razliko v potencialih povzročajo različni vplivi (neenakomerna struktura, meja kristalnih zrn, okvare na površini, razlika v temperaturi, plinski mehurji, sestava elektrolita,...). Vse te razlike v potencialih, ki se še povečajo, če se namoči dve različni kovini v elektrolit, povzročijo nastanek galvanskih elementov.

Na sliki 4 je prikazana osnovna oblika galvanskega elementa. Cink predstavlja anodo, baker kot plemenitejši pa katodo. Zaradi razlike v električnih potencialih teče iz cinka skozi elektrolit na baker električni tok, ki se vrača po žici zopet iz bakra na cink. Pri tem prehajajo cinkovi ioni iz anode v elektrolit in se v njem topijo. Katoda iz bakra pa ostane zaščitena.



Vir: Qubes[19]

slika 4: osnovna oblika galvanskega elementa

2.3 PASIVACIJA KOVIN

Pasivacija kovin je povečanje korozijske odpornosti ali celo zamrtje korozijskega procesa in je večinoma posledica tvorbe pasivnega filma, ki prekrije elektrodo in s tem oteži ali prepreči prehajanje ionov skozi pasivni film do elektrode. Številne kovine in njihove zlitine so podvržene pasivaciji: Fe, Al, Cr, Ni, Co itd.

2.3.1 Pasivno stanje kovin

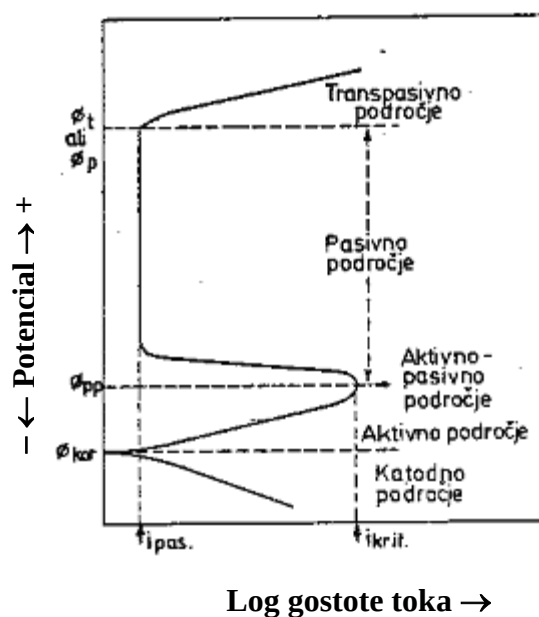
Hitrost korozije železa v soliterni kislini je odvisna od njene koncentracije. Detajlne raziskave hitrosti korozije v odvisnosti od koncentracije HNO_3 (dušikova kislina) pa so pokazale, da se s povečanjem te, hitrost odtapljanja povečuje, vendar le do neke določene koncentracije. Z povečanjem koncentracije se hitrost korozije zmanjšuje do zanemarljive vrednosti, pri kateri nastopi skokovita sprememba lastnosti kovine. Ta se pasivira in njeno stanje pa je pasivno stanje. Kovine in njihove zlitine se torej pasivirajo le v prisotnosti oksidacijskih medijev.

Poleg železa se lahko pasivirajo še mnoge druge kovine (Cr, Ni, Co, Mo, Al, Ta, Nb, W, Ti). Pogoji za pasivacijo in stabilnost pasivnega filma so različni za različne kovine. Kovine, ki se težje pasivirajo pa v zlitini, pridobijo to sposobnost. Tukaj so značilna nerjvana jekla npr. legirana s Cr, ali v kombinaciji CR-Ni in CR-Ni-Mo, Cr-Ni-Mo-Cu...

Pojav pasivnosti lahko povzročijo poleg HNO_3 še druga oksidacijska sredstva HClO_3 , KClO_3 , HJO_3 ,... Zelo aktivno oksidacijsko sredstvo predstavljajo korozijski mediji, v katerih je raztopljena večja količina kisika.

Nekatere kovine se nahajajo v pasivnem stanju, ali blizu tega celo v prisotnosti vode, ki predstavlja slabo oksidacijsko sredstvo.

Pojav pasivnosti se pogosto zasleduje s pomočjo krivulje anodne polarizacije – slika 5



Vir: Maribor[19]

slika 5: krivulja anodne polarizacije

Z naraščanjem potenciala od ϕ_{kor} (korozijski potencial) k pozitivnejšim vrednostim, narašča korozijski tok vse do njegove kritične vrednosti i_{krit} , ki nastopi pri potencialu ϕ_{pp} (potential pasivacije). Od te vrednosti pa z naraščanjem potenciala tok pada. Tako se v aktivnem področju tvorijo korozijski produkti, ki pri kritičnem toku oz. v aktivnem – pasivnem področju začno prehajati v pasivno obliko, ki ščiti. Z nadaljnjim naraščanjem potenciala postaja formirani pasivni film vse bolj homogen in stabilen, kar se vidi s kontinuiranim upadanjem toka vse do vrednosti i_{pas} (gostota toka pasivacije). Ta tok običajno niha skozi vso pasivno področje, ki je najbolj stabilno v navpičnem delu. Kovina je v pasivnem stanju med potencialoma

ϕ_{pp} in ϕ_t . Potencial ϕ_t predstavlja tisti majhni potencial, pri katerem se z naraščanjem napetosti začne rušiti pasivni film (prehod v transpasivno področje), s pojavom prvih pittov.

Vzroki povečanja korozijske odpornosti, zaradi formiranja zaščitnih prevlek:

1. Stabilnost, katero povzroča popolna izolacija kovinske površine od korozijskega medija. Pri tem se elektrodni potencial kovine ne more izmeriti.
2. Stabilnost, katero povzročajo prevleke, ki povečujejo nadnapetost katodnega procesa. Pri tem se elektrodni potencial pomika v negativno smer. To pomeni, da je kovina obstojna tudi pri negativnejših potencialih, pri katerih že korodira, če ne vsebuje zaščitnega filma. Sem spadajo porozne prevleke na aluminiju, ki otežujejo proces difuzije O_2 do površine kovine, ali prevleke na svincu v raztopini H_2SO_4 , katere preprečujejo difuzijo kisline do korozijsko aktivnih mest na kovinski površini.
3. Stabilnost, katero povzročajo prevleke, ki povečujejo anodno napetost odtapljanja kovine. V tem primeru je elektrodni potencial kovine pozitivnejši.

Prevleke za tretji primer vodijo do pasivacije kovine, kjer tanke in kompaktne prevleke najbolj odgovarjajo zakonitostim pasivacije. Tovrstne prevleke so učinkovitejše, kot debele in porozne. Pasivirane kovine imajo pozitivnejši elektrodni potencial. Če se izpostavi že pasivirano kovino v korozijski medij, bo ta izdržala v področju, v katerem nepasivirana kovina intenzivno korodira.

2.3.2 Transpasivno stanje kovin

Pretvorba kovin v pasivno stanje se izvaja z oksidacijskimi sredstvi ali pa z zunanjim izvorom istosmernege toka pri določeni napetosti. Korozijska odpornost tako pasiviranih površin v različnih medijih pa zavisi od hitrosti odtapljanja pasivnega filma, katerega lastnosti so funkcija mineraloške sestave različnih oksidov, debeline in homogenosti. Obstojnost pasivnega filma je še odvisna od koncentracije oksidacijskih sredstev in vrednosti potenciala kovine pri njeni anodni polarizaciji. Če se prokorači kritični vrednosti oksidantov oz. potenciala ϕ_t , nastopi rušenje pasivnega filma, kar imenujemo prepasiviranje in vodi v transpasivno stanje. Prehodi v transpasivno stanje so zelo pomembni, saj onemogočajo kvalitetno pasivacijo

(zaščita različnih jeklenih površin v kemični industriji, petrokemiji in drugih panogah, kjer so prisotni agresivni mediji v katere se dodajo številni oksidanti oz. inhibitorji).

Korozijo kovin v pogojih prepasivacije je možno preprečiti s katodno zaščito, ali pa se v korozijski medij dodajajo redukcijska sredstva, s katerimi je možno pomikati potencial kovine, pa tudi potencial oksidacijskega sredstva, v področje pasivacije.

2.3.3 Pasivatorji in aktivatorji

Pasivatorji so :

- oksidacijska sredstva vrste HNO_3 , NaNO_2 , NaWO_4 , K_2CrO_4 , O_2 itd.
- anodna polarizacija

Pasivirana kovina lahko preide pod določenimi pogoji v aktivno stanje. Ta proces se imenuje aktivacija. Substance ali procesi, kateri rušijo pasivno stanje, ali pa zavirajo prehod kovine v pasivno stanje, so aktivatorji (akceleratorji).

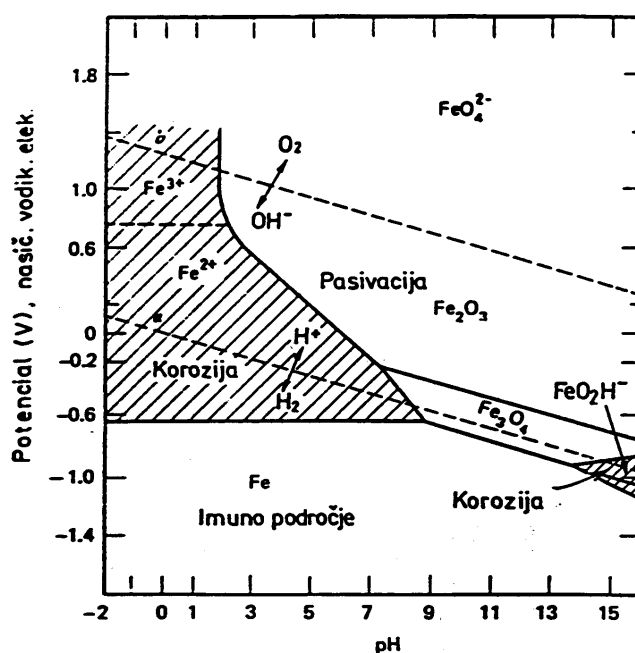
Aktivatorji so :

- redukcijska sredstva kot vodik, natrijev sulfid, natrijev triosulfat ...
- katodna polarizacija.
- različni ioni kot so to lahko H^+ halogenidi (Cl^- , Br^-), sulfatni ion in drugi ioni, ki se zaradi narave delovanja imenujejo aktivni ioni.
- povišana temperatura.
- mehanske poškodbe na površini kovine.

Kot anodni aktivatorji delujejo različne snovi, katere povečujejo hitrost anodnega procesa elektrokemične korozije. Takšni so npr. zelo aktivni kloridni ioni (Cl^-), ki se v skladu z adsorpcijsko teorijo adsorbirajo na površini oksidnega filma, penetirajo v njegovo notranjost in pri tem iztiskujejo vgrajeni kisik. Na ta način se na izpraznjenih mestih sami vgrajujejo, kot rezultanta je na teh mestih povečana topnost oksidnega filma, posledica pa je poroznost.

2.4 POTENCIAL pH – RAVNOTEŽNI DIAGRAM

Purbaix je skonstruiral diagrame potencial- pH. Na osnovi le-teh diagramov je možna hitra ocena o korozijskih odpornosti različnih kovin v vodi pri 25°C. Purbaix je definiral vsa možna ravnotežja med kovino in H₂O in v diagrame vnesel področja, kjer so v odvisnosti od potenciala in pH vrednosti obstojni kovinski kationi, anioni in različni oksidi, oz. področja korozijske pasivnosti in imunitete.



Vir:Hermi[8]

slika 6:Purbaix diagram za železo

3 VRSTE IN OBLIKE KOROZIJE

Za delovanje korozije je značilnih osem oblik korozije:

1. *splošna in lokalna korozija*
2. *korozija v špranji*
3. *pitting korozija*
4. *interkristalna korozija*
5. *selektivno odtapljanje*
6. *korozija – erozija*
7. *napetostna korozija*
8. *vodikova krhkost* (ne predstavlja poseben tip korozijskega napada, temveč gre za širjenje razpoka zaradi delovanja absorbiranega vodika v kristalni mreži, katerega nastanek je povezan z elektrokemičnimi reakcijami)

Pri reševanju korozijske problematike je pomembno, da se definira tip korozijskega napada.

3.1 SPLOŠNA LOKALNA KOROZIJA

Splošna korozija je ena od pogostih oblik napredovanja korozije. Zaradi takšnega načina širjenja korozije na večjih ali manjših površinah različnih elementov konstrukcij, se nosilni presek enakomerno tanjša. Še posebno pri železu in jeklu se pojavi najprej v obliki tanke plasti rje, ki se da lahko odstraniti. Mnoge jeklene konstrukcije v atmosferskih pogojih korodirajo na ta način. Tovrstno delovanje pa omogoča le homogena mikrostruktura malogljivičnih nelegiranih ali drobnozrnatih konstrukcijskih jekel, kjer niso prisotne velike lokalne razlike v potencialih. Hitrost korozije je odvisna od vrste materiala in še od različnih naštetih vplivov. Pri normalnem ogljikovem jeklu znaša hitrost korodiranja na čistem zraku (na deželi) okrog 0,03 mm na leto, na zraku v industrijskem območju pa okrog 0,15 mm letno.



Vir: Arnes[10]

slika 7: prikaz splošne oz. enakomerne korozije

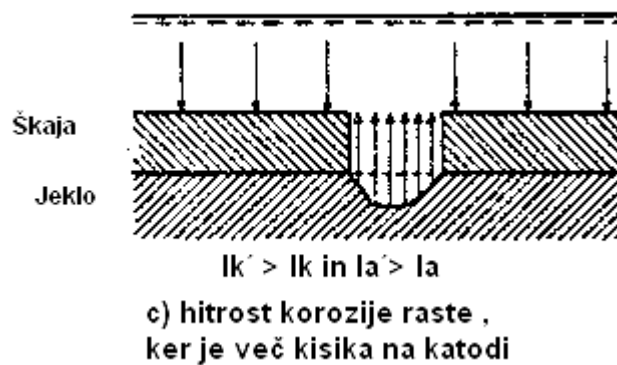
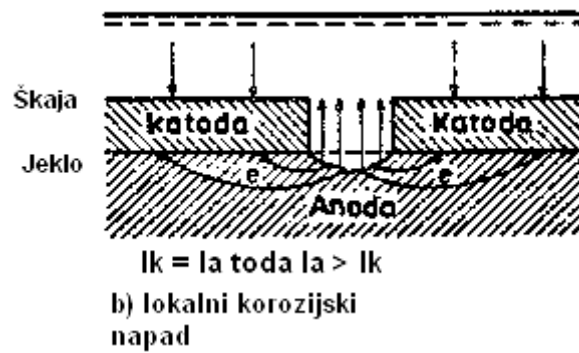
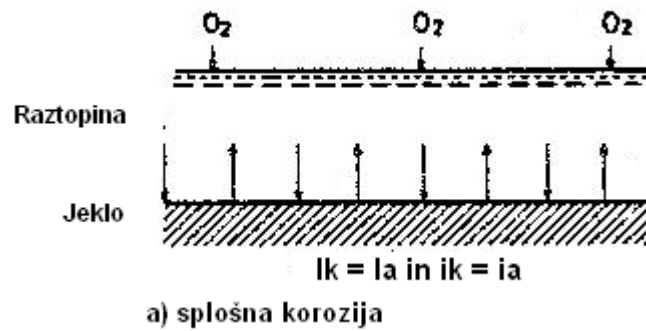
Pri splošni koroziji, ki je posledica delovanja številnih majhnih korozijskih členov na površini kovine, obstoja možnost tvorbe neprekinjenega korozijskega filma oz. opne, ki lahko upočasni ali celo prepreči nadaljno delovanje korozije.

Na povsem specifičnih mestih pa se lahko splošna korozija sprevrže v lokalno korozijo, pri čemer pa ostajajo določene površine še vedno aktivne, lahko zaradi diskontinuitete površinskih filmov (npr. magnetita Fe_3O_4 , ki nastaja pri valjanju jekla) itd..

Pri lokalni koroziji lahko poteka odtapljanje kovine na enem mestu, redukcija agensa korozije ($\text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2, \text{O}_2 \rightarrow \text{OH}^-$ itd.) na drugem, tvorba korozijskih produktov pa na tretjem mestu. V takem primeru korozijski produkti ne morejo zaščititi kovino pred nadaljno korozijo. Slika 8 prikazuje različne vrste korozije.

slika 8: prikazuje različne vrste korozije

Vir: Vehovar[4]



Vir: Vehovar[4]

slika 9: prikazuje različne vrste korozije

3.2 KOROZIJA V ŠPRANJI

Intenzivna lokalna korozija v obliki majhne korozijske izjede, ali v obliki številnih izjed nastalih na večji površini, so pogosto posledica delovanja majhnega volumna korozijskega medija v ozki špranji. Špranja se lahko tvori zaradi :

1. geometrije konstrukcije – razmik pločevin, varjeni prekrovní spoji, uporaba tesnil, prirobnic itd.
2. kontaktne kovine z nekovino kot je npr. guma, plastika, odstopajoči premazi, steklo itd.
3. usedlin peska na površini kovine, umazanije ali za medij prepustnih korozijskih produktov.

Na sliki so prikazani različni tipi špranj:



Vir: Vehovar[4]

slika 10: korozija na površini hladilne cevi

Na sliki 9 je prikazana korozija hladilne cevi toplotnega izmenjevalca, nastala zaradi špranje, ki se je izoblikovala med cevjo in oblogo različnih mineralov, ki so se izločili iz korozijskega medija.



Vir:Arnes[9]

slika 11: prikaz korozije v špranji

Na korozijo v špranjah so predvsem občutljive tiste kovine, ki se zaščitijo s tvorbo pasivnih filmov (nerjavna jekla, Al in Ti zlitine ipd.) .

V tabeli 2 so podane nekatere zlitine, testirane glede na odpornost proti koroziji v špranji, s 30-dnevno izpostavo v morski vodi.

Tabela 2: zlitine testirane glede na odpornost proti koroziji v špranji

Vrsta zlitine		Kemična sestava v %						Št. napadenih mest	Max. Globina korozije (mm)	S x D
		Cr	Ni	Mo	Mn	Cu	drugi			
1	Hasteloy C.276	15,5	54,7	15,5	0,5	0,1	3,8W	0	0,00	0,00
	Inconel 625	22,3	61,0	8,5	0,1	-	3,6Nb	0	0,00	0,00
	29-4 (A.L.)	29,6	0,1	4,0	-	-	-	0	0,00	0,00
	29-4-2 (A.L.)	29,5	2,2	4,0	-	-	-	0	0,00	0,00
	29-4C*	28,8	0,8	3,8	0,2	-	0,6Ti	0	0,00	0,00
	Monit	25,3	4,1	3,8	0,4	0,4	-	0	0,00	0,00
2	Crucible SC-1	25,6	2,1	2,9	0,2	-	0,5Ti	1	0,05	0,05
3	Ferralium 255 (Cabot)	26,2	5,6	3,2	0,8	1,8	0,19N	2	0,8	0,16
4	Hastelloy G-3 (Cabot)	22,8	43,7	7,0	0,8	1,8	3,5Co	1	0,21	0,21
5	Haynes 20	21,6	25,5	5,0	0,9	-	0,5Co	2	0,46	0,92

	Mod (Cabot)									
6	26-IS	25,0	0,2	1,0	0,2	-	1,1Ti	4	0,30	1,2
7	20 Mo-6	23,9	33,4	5,6	0,4	3,3	-	3	0,53	1,6
8	EB 26-1 (A.L.)	25,9	0,1	1,0	-	-	0,1Nb	4	0,46	1,8
9	A.L 4X	20,2	24,4	4,4	1,4	1,5	0,019 P	4	0,50	2,0
10	A.L. 6X	20,4	24,6	6,4	1,4	-	-	4	0,62	2,5
11	254 SMO(Avesta)	20,0	17,9	6,1	0,5	0,8	0,2N	5	0,51	2,6
12	Hastelloy G (Cabot)	22,2	46,8	5,8	1,5	1,8	3,5Co	4	0,87	3,5
13	904L (Uddeholm)	20,5	24,7	4,7	1,5	1,6	-	5	0,74	3,7
14	AISI 216	20,0	6,0	2,5	8,0	-	0,35N	6	0,64	3,8
15	254SFER (Avesta)	29,4	22,2	2,1	1,7	0,1	0,15N	5	0,90	4,5

16	254 SLX (Avesta)	1909	25,0	4,7	1,6	1,7	0,04N	6	0,92	5,5
17	Rex 734	21,3	9,4	2,7	3,8	-	0,42N	6	1,00	6,0
18	Type 316 LM	19,5	14,5	4,1	1,3	0,2	0,056 N	6	1,07	6,4
19	Nitronic 50	21,1	13,7	2,3	4,8	-	0,26N	6	1,10	6,6
20	Jessop 700	20,7	25,2	4,4	1,6	0,2	0,28Nb	5	2,00	10
21	Type 316	17,5	10,7	2,4	1,6	0,3	-	6	1,93	12
22	Carpenter 20 Cb-3	19,4	33,2	2,2	0,4	3,2	0,51Nb	5	3,10	16
23	Jessop 777	20,8	25,6	4,5	1,4	2,2	0,24Nb	6	2,90	17
24	44 LN	25,0	5,9	1,5	1,8	0,1	0,2N	6	3,35	20

Vir:Leskovar[3]

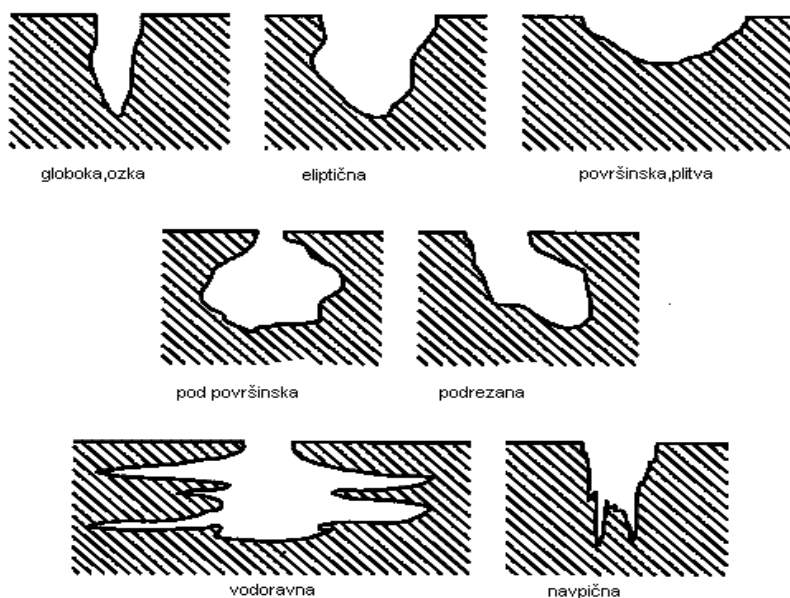
3.3 PITTING KOROZIJA (JAMIČASTA KOROZIJA)

Pitting korozija je strogo lokalni korozijski napad, predvsem značilen za kovine, ki tvorijo pasivne filme. Posledica takšnega delovanja je tvorba jamic na površini kovine. Jamice so tako pogosto posejane da daje površina kovine hrapav videz.

Pitting je pogosto težko ločiti od drugih podobnih pojavov, ki so posledica npr. delovanja korozije v špranji ali razcinkanja (pri obeh so prisotni drugi mehanizmi korozije).

Za pojav pittinga so značilni predvsem nekateri aktivni ioni v korozijskem mediju (Cl^- ioni so ne le najbolj pogosti, temveč tudi najbolj destruktivni), vendar pa je nastajanje jamic posledica mikrostrukture kovin in njihovih zlitin.

Pitting se lahko pojavlja pri različnih pH vrednostih in potencialih, toda ko govorimo o tem pojavu pri kovinah in njihovih zlitinah, ki se pasivirajo, mora biti potencial kovine v področju pasivnosti. Odpornost zlitin proti pitting koroziji se pogosto določa v raztopini, ki vsebuje agresivni FeCl_3 .



Vir: Corrosionclinic[20]

slika 12:različne oblike pitting korozije

Karakteristična vrednost s katero se ocenjuje korozijska odpornost kovin proti nastajanju pittinga je potencial, pri katerem se poruši pasivnost. To je torej kritični pitting ali porušitveni potencial ϕ_b , ki predstavlja tisti najbolj negativen potencial, pri katerem se ne le samo začnejo prvi piti, temveč je omogočena tudi nadaljna njihova rast. Porušitveni potencial za neko kovino varira z naravo korozijskega medija, njegova vrednost pa zavisi še od metode, ki je bila uporabljena (anodna polarizacija z uporabo potenciostatske, potenciokinetične ali galvanске tehnike ali raztopine z visokim redoks potencialom), pa tudi časa od trajanja testa. Kritični pitting potencial je odvisen od koncentracije Cl^- ionov, od inhibitorkega delovanja različnih anionov v raztopini, od koncentracije le-teh (OH^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , CrO_4^{2-}) ter od temperature raztopine.

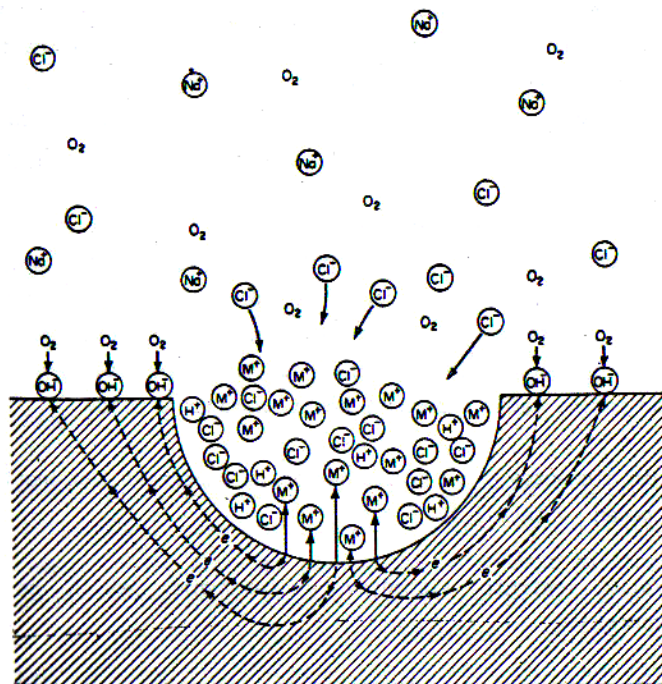
Tabela 3 prikazuje minimalno koncentracijo Cl^- ionov potrebnih za inicijacijo in rast pitov oz. jamic.

Tabela 3:koncentracija Cl ionov

Material	Koncentracija Cl^- ionov (N)
Fe	0,0003
Fe-5,6 Cr	0,017
Fe-11,6 Cr	0,069
Fe-20 Cr	0,1
Fe-18,6Cr-9,9Ni	0,1
Fe-24,5 Cr	1,0
Fe-29,4 Cr	1,0

Vir: Vehovar[4]

Za pojav pittinga je potrebna določena indukcijska doba. Z naraščanjem potenciala in koncentracije Cl^- ionov upada čas, ki je potreben za pojav pittinga .



Vir: Vehovar[4]

slika 13: Mehanizem tvorbe in rasti jamice pri pitting koroziji kovine

Kaj točno se dogaja med kovino in raztopino: na določenih mestih, kjer so prisotne poškodbe na pasivnem filmu, nastaja v prisotnosti kloridnih ionov nastaja lokalna pitting korozija. Na področjih največjega odtapljanja kovine je največ pozitivnih ionov, kloridi se najhitreje oddaljujejo, kar omogoča stalno vzdrževanje elektronevtralnosti sistema, medtem ko se redukcija kisika izvaja na sosednjih površinah izven pita. Ta proces je avtostimulativen in na tej osnovi se v jamici pojavi visoka koncentracija pozitivnih vodikovih ionov. Vodik in kloridi pa pospešujejo korozijo v jamici, katere hitrost s časom pogosto narašča. Zaradi majhne topnosti kisika v koncentriranih raztopinah, se redukcija kisika v notranjosti pita ne pojavlja. Slednje povzroča povečanje kislosti medija v pitu zaradi specifičnih elektrokemičnih procesov v njegovi notranjosti. Nastali OH^- ioni na katodnih površinah v bližini jamice pa lahko reagirajo z

ioni kovine, pri čemer se tvorijo korozijski produkti, ki pa lahko katodno površino prekrijejo in s tem zavirajo katodno reakcijo.

Odpornost kovine do pitting korozije je odvisna od njene kemične sestave in mikrostrukture ter sestave elektrolita .

Tabela 4:vpliv legirnih elementov v nerjavnih jeklih na pitting korozijo

Element	Odpornost proti pittingu
titan in niobij	pada v FeCl_3 , v drugih medijih nima vpliva
žveplo in selen	pada
ogljik	pada , še posebej v nestabiliziranem stanju
dušik	pada

Vir:pfri[17]

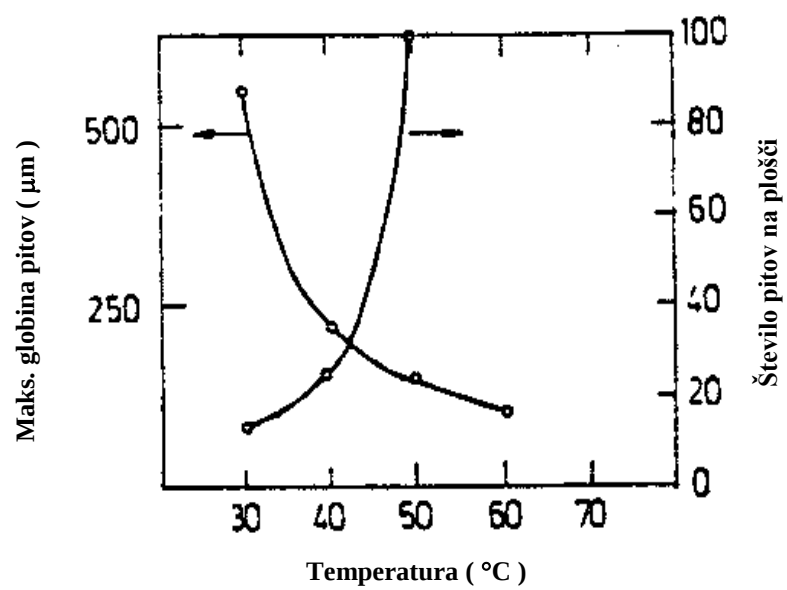
Običajna nelegirana jekla so zaradi majhne negnjenosti do pasivacije mnogo bolj odporna proti pitting koroziji kot nerjavna jekla. Zaradi tega so kondenzatorske cevi izdelane iz običajnega jekla, čeprav so precej manj odporne proti splošni koroziji.

Polirane površine so dosti bolj odporne kot hrapave na pitting .

Pitting korozija kovin nastaja običajno pri stacionarnih pogojih, ko tekočine mirujejo. S povečanjem hitrosti gibanja elektrolita pa pitting korozija največkrat povsem izgine. Črpalke za morsko vodo bodo dolgo v rabi, če stalno delujejo, kar si je možno razlagati z večjim pristopom kisika na površino kovine, pa tudi zato, ker se s tem onemogoča povišanje kislosti na anodi in alkalnosti na katodi.

V sliki 13 je prikazan vpliv temperature na globino pitov in njihovo število.

Razporeditev pitov in njihova globina pa je odvisna od sestave elektrolita in njegove temperature ter od sestave oz. mikrostrukture zlitine. Z naraščanjem temperature raztopine, globina pitov pada. Maksimalna globina se npr. pri aluminiju doseže pri 30 °C. Istočasno pa z naraščanjem temperature raste verjetnost nastajanja pittinga, ki doseže svoj maksimum pri približno 50 °C.

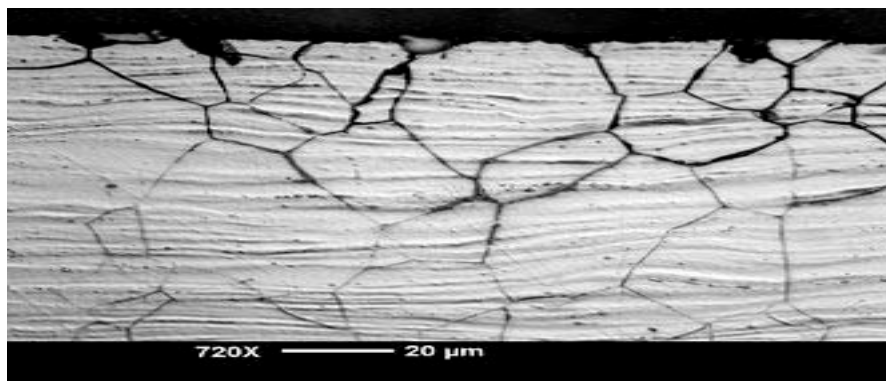


Vir: Vehovar[4]

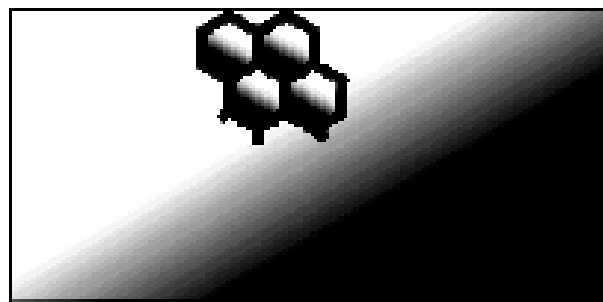
slika 14: vpliv temperature na globino pitov in na njihovo število

3.4 INTERKRISTALNA KOROZIJA

Predstavlja posebno obliko elektrokemičnega korozijskega napada, pri katerem odtapljanje napreduje bodisi po mejah kristalnih zrn, bodisi v njihovi neposredni bližini. Ker se pojavlja na mejah kristalnih zrn je neopazna in zaradi tega zelo nevarna. Posledica interkristalne korozije je dekohezija med zrn kovine, kar povzroča izrazito znižanje žilavosti oz. mehaniških lastnosti kovine.



slika 15:interkristalna korozija Vir:wikipedia[6]

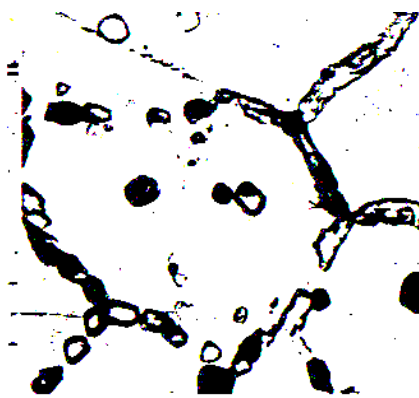


Vir:Arnes[7]

slika 16:interkristalna korozija

Poznano je, da imajo napake v kristalni mreži, ki so lahko točkaste, linijske ali pa ravninske, višjo energijo kot sosednja mesta. Zato so mesta z napakami termodinamično manj stabilna in kemično bolj aktivna. Predstavljajo inicialna mesta, od koder prične korozijski napad.

Najbolj znani so primeri interkristalne korozije na nestabiliziranih nerjavnih jeklih avstenitnega tipa (npr. 18 % Cr in 8 % Ni) ,pri katerih se izločajo po kristalnih mejah karbidi vrste Cr_{23}C_6 .

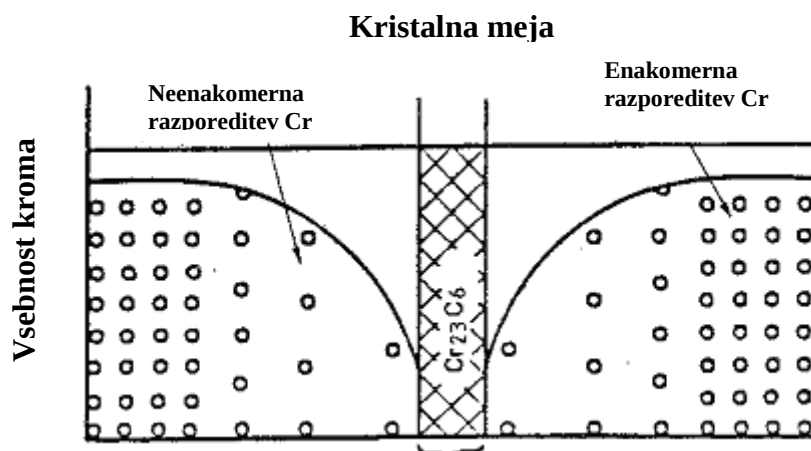


Vir: Vehovar[4]

slika 17: prikaz kromovih zrn izločenih po mejah avstenitnega jekla

Ti karbidi so bogati s kromom, kar pomeni, da je neposredna bližina matrice osiromašena s tem elementom, ki ima dominantno vlogo pri korozijski odpornosti nerjavnih jekel. Ker pade vsebnost kroma v tem osiromašenem področju pod 12 %, se ne more uspešno pasivirati, to pa povzroča hitro propagacijo korozije vzdolž kristalnih mej.

Na sliki 17 je prikazana razporeditev kroma v bližini kristalnih mej z izločenimi karbidi in v notranjosti zrna.



Vir: Vehovar[4]

slika 18: razporeditev kroma v bližini kristalnih mej

Posebno osiromašenje nastopi zaradi dušika v nerjavnih jeklih, ki tvori s kromom Cr_2N precipitate (snov, ki se pri obarjanju izloči iz raztopine), ki se izločajo po mejah zrn, okolica pa ostaja osiromašena s kromom.



Vir: fsb[13]

slika 19: prikaz nerjavnega jekla 304L z visko vsebnostjo kisika; precipitati Cr_2N (temne pike) izločeni po mejah kristalnih zrn, svetlejša polja pa ostajajo osiromašena s kromom

Poleg austenitnega nerjavnega jekla in že omenjenih Al zlitin, se interkristalna korozija le v manjši meri pojavlja pri tistih aluminijevih zlitinah, ki vsebujejo FeAl_3 , Mg_2Si in MnAl_6 precipitate, izločene po mejah zrn. Podobno se obnašajo tudi nekatere zlitine na osnovi bakra in magnezija. Cinkove zlitine z dodatki aluminija so neodporne proti interkristalni koroziji v vodni pari in morski atmosferi.

Tabela 5: korozijski mediji, ki povzročajo interkristalno korozijo

Ocetna kislina	Oksalna kislina
Ocetna kislina + salicilna kislina	Fenol + naftenska kislina
Amonijev nitrat	Fosforna kislina
Amonijev sulfat	Ftalatna kislina
Amonijev sulfat + H_2SO_4	Slani sprej
Sok pese	Slana voda
Kalcijev nitrat	Srebrov nitrat + očetna kislina
Kromova kislina	Natrijev bisulfat
Kromov klorid	Natrijev hidroksid + natrijev sulfid
Bakrov sulfat	Natrijev hipoklorit
Surova nafta	Sulfaminska kislina
Kislina maščob	Raztopina kalcijevega bisulfata
Železov sulfat	Raztopina kalcijevega bisulfata + žveplov dioksid
Mravljična kislina	Sulfitna raztopina
Cianovodikova kislina	Žveplena kislina + železov sulfat
Cianovodikova kislina + žveplov dioksid	Žveplena kislina + metanol
Mlečna kislina	
Mlečna kislina + soliterna kislina	Voda + škrob + žveplov dioksid
Meleinska kislina	

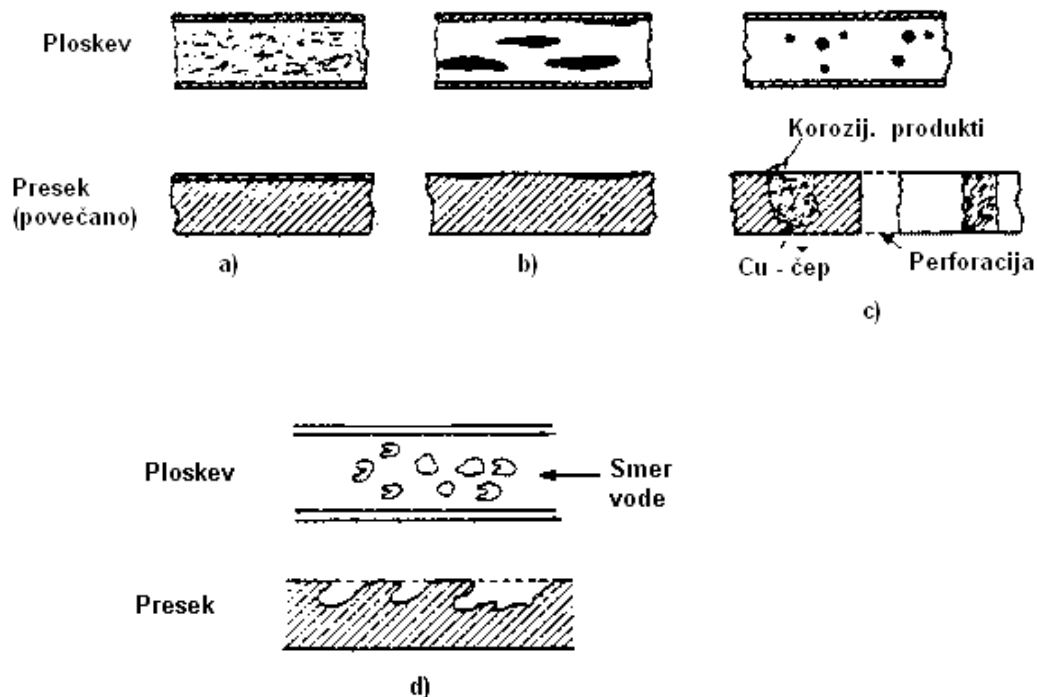
Vir: Vehoar[4]

3.5 SELEKTIVNO ODTAPLJANJE

Pri nekaterih zlitinah se ob prisotnosti določenih korozijskih medijev in s pomočjo elektrokemičnih procesov izvaja selektivno odtapljanje določene komponente iz zlitine. Najbolj poznan primer je odtapljanje cinka iz medenine (razcinkanje). Pri drugih sistemih zlitin se lahko selektivno odtapljajo elementi kot so aluminij, železo, kobalt, krom in še drugi. Posledica selektivnega odtapljanja so izjede, ki vodijo tudi do preluknjanja izdelkov in upadanja trdnostnih lastnosti materiala .

3.5.1 Razcinkanje

Razcinkanje je možno hitro identificirati na osnovi spremembe rumene barve medenine v rdečo, ki je značilna za baker, kateri ostaja, cink pa se odtaplja. Takšne spremembe se pojavijo v obliki manjših plomb, pod katerimi se odvija intenzivna korozija, značilna za nastajanje pitov, bodisi v obliki selektivnega odtapljanja, katero zavzema večje površine.



Vir: Vehovar[4]

slika 20 :prikaz različnih vrst razcinkanja

Razcinkanje in udarni efekt tekočine na razcinkani medeninasti cevi.

- Razcinkanje v plastasti obliki
- Razcinkanje v obliki trakov
- Razcinkanje v obliki plomb (v tem primeru ostaja v izjedi baker, katerega pa lahko tekoča voda izpira, kar povzroča hitro perforacijo različnih izdelkov)
- Poškodbe zaradi udarnega delovanja vode na razcinkano plast

Razcinkanje je zelo izrazito tudi v pogojih mirovanja korozijskega medija, še posebej v primerih, ko so še prisotni kloridi, porozni oksidni ali drugi filmi, pa tudi različni depoziti mineralnih delcev.

Razcinkanje medenine se uspešno prepreči z različnimi legirnimi elementi (npr. z dodatkom 1 % kositra). Še večji efekt pa dajejo antimon in fosfor.

3.5.2 Grafitizacija

Siva litina je lahko občutljiva na selektivno odtapljanje v razmeroma slabo agresivnih medijih. Posledica takšnega elektrokemičnega delovanja je grafitizacija, ali grafitna korozija, ki se širi v notranjosti materiala vzdolž grafitnih lističev.

Grafitizacija se ne pojavlja pri nodularni in temprani litini, kjer se grafit izloča v obliki kroglic oz. nepovezanih grafitnih gnezd. Tudi belo strnjena litina ni podvržena grafitizaciji, ker ne vsebuje nevezanega ogljika. Da bi se izognili procesu grafitizacije in na tej osnovi raznim poškodbam, je primerno, če se za vitalne elemente npr. cevovode, ki oskrbujejo pomembne tovarniške obrate, uporabljajo cevi iz nodularne litine.

3.6 EROZIJA – KOROZIJA (EROZIJSKA KOROZIJA)

Erozijska korozija se lahko manifestira v obliki poglobitev, žlebov ali okroglih jamic, katere se pretežno razvijajo v smeri udarnega delovanja tekočine.



Vir:fsb[13]

slika 21: prikazuje korozijsko poškodbo kolena zaradi delovanja curka tekočine



Vir: Arnes[10]

slika 22: prikaz erozijske korozije

Večina kovin in njihovih zlitin je občutljivih na erozijsko korozijske poškodbe. Večja odpornost je pogojena s tvorbo zaščitnih filmov na površini kovine (aluminij, svinec, nerjavno jeklo ...). S poškodbo filmov se hitro razvije erozijsko korozijsko delovanje ali samo obraba. Mehke kovine, ki se hitro poškodujejo na površini (baker ali svinec), so precej občutljive. Erozijsko korozijo lahko povzročajo različni tipi korozijskih medijev. Takšni so lahko plini, vodne raztopine, organske tekočine ali raztaljene kovine. Vroči plini lahko tvorijo zaščitne okside, pri velikih hitrostih gibanja plinov pa se ti oksidni filmi poškodujejo.

3.6.1 Kako vpliva površinski film na erozijsko korozijo

Zaščitna sposobnost filmov na površini kovine proti delovanju korozije ali kombinaciji erozija – korozija je odvisna od hitrosti nastajanja teh filmov v nekem korozijskem mediju, njihove odpornosti proti različnim mehanskim poškodbam in od hitrosti ponovnega njihovega nastajanja. Pomembno je, da gole – nezaščitene površine, četudi trde, hitro korodirajo, kar odločilno vpliva na mehanizem delovanja erozijske korozije. Trdi, pa vendar dovolj elastični in homogeni filmi, so najbližje zahtevam po dobri odpornosti. Krhki filmi radi pokajo zaradi različnih napetosti v materialu. Narava zaščitnega filma pa ni odvisna le od vrste kovine (zlitine), temveč predvsem od vrste korozijskega medija.

3.6.2 Preprečevanje erozijske korozije

Obstaja pet metod s katerimi je možno preprečiti ali zmanjšati poškodbe zaradi korozije. Te metode so:

1. *Izbira odpornejšega materiala*; gledano z erozijsko korozijskega stališča najboljša rešitev, vendar pa ni vedno najbolj ekonomična
2. *Primernejše oblikovanje*; je ena izmed zelo pomembnih metod, ki lahko erozijsko korozijsko delovanje drastično zniža, pri tem pa lahko uporabimo slabše materiale. Takšna izboljšava se lahko doseže npr. s povečanjem premera cevi.
3. *Sprememba fluida*; zamenjava korozijskega fluida je ena od možnosti, s katero se tudi dosežejo primerni učinki. Tekočino je možno razpliniti (odstrnitev kisika kot deplarizatorja na katodi), lahko pa se uporabljajo različni inhibitorji, ki zmanjšajo ali celo v celoti preprečijo anodne in katodne reakcije.
4. *Zaščitne prevleke*; uporaba zale-teh pogosto ne daje pravega učinka.
5. *Katodna zaščita*; lahko ublaži korozijske procese, vendar njena aplikacija ni najbolj primerna za reševanje erozijske korozije.

3.7 NAPETOSTNA KOROZIJA IN VODIKOVA KRKHOST

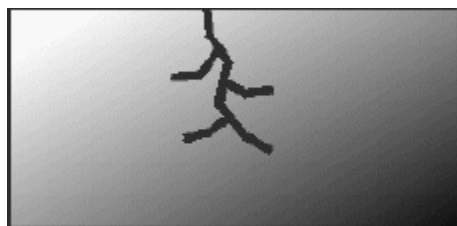
Napetostna korozija in vodikova krhkost se najpogosteje pojavljata brez vidnejših zunanjih sledov, kajti propagacija obeh je bodisi interkristalna, bodisi transkristalna. Ravno v tem pa je nevarnost, saj je detekcija poškodb, ki vodijo da krkhih zlomov težavna. Posledice tega so mnoge katastrofe v strojni, kemični, petrokemični, živilsko predelovalni industriji, v termo in nuklearnih elektrarnah...

Kot že omenjeno, se napetostna korozija in vodikova korozija širita v notranjost materiala transkristalno ali interkristalno. Ravno zaradi tega pa je težko ločiti eden pojav od drugega .

Oba procesa najpogosteje delujeta vzajemno, pri čemer pogosto prevladuje eden nad drugim. Danes upravičeno pripisujejo krhkost visokotrnostnih jekel in mnogih drugih zlitin, v kislih medijih, delovanju vodika, ki nastaja pri korozijskem elektrokemičnem delovanju. Proces istočasno delujoče napetostne korozije je le sredstvo za produkcijo atomarnega vodika, ki propagira v konico razpoke in na osnovi različnih mehanizmov utira pot razpoki.

Napetostno pokanje je danes zelo pogost pojav zaradi naraščanja novih tehnologij, kjer se pojavljajo vedno bolj agresivni mediji in zahteve po materialih z višjimi dopustnimi napetos-

tmi, zaradi vse bolj kompliciranih procesov (visoke temperature, visoki tlaki, sevanje, ob istočansi zahtevi po večji življenjski dobi).



Vir: Arnes[10]

slika 23: prikaz napetostnega korozijskega pokanja

4 KOROZIJA ŽELEZA IN JEKLA

Čisto železo, lito železo in maloogljikena jekla so nagnjena h koroziji v večini medijev, vendar pa sta hitrosti in obseg korozije odvisni od številnih faktorjev, med katerimi so najpomembnejši kemična sestava, mikrostruktura, stanje površine kovine, narava korozijskega medija ter lokalni pogoji, pri katerih se odvijajo korozijski procesi.

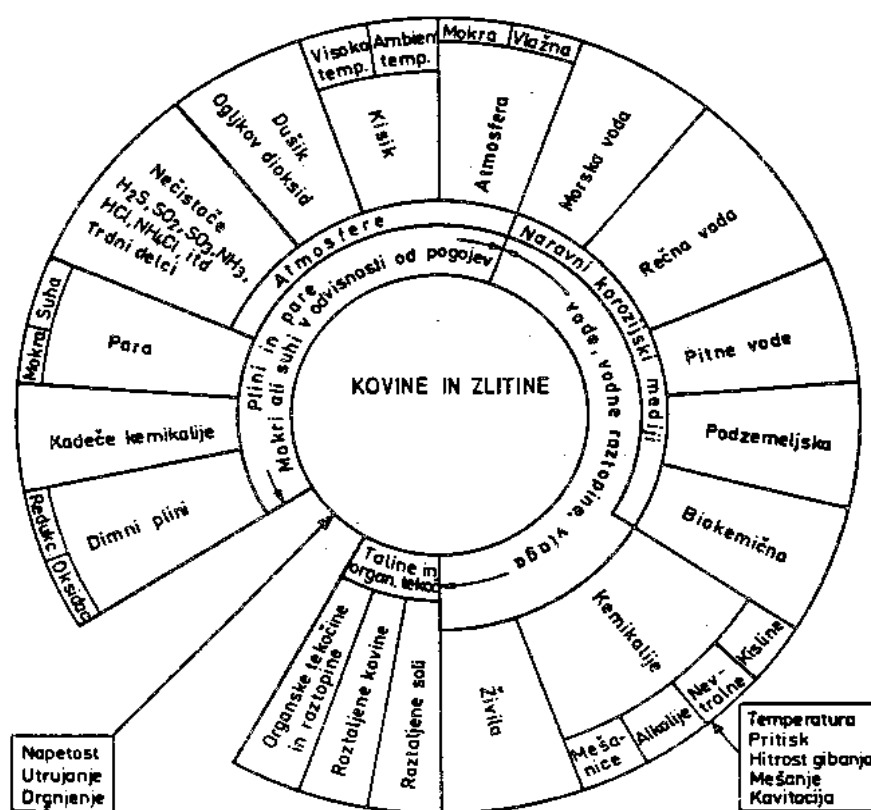
Glede na kemično sestavo se pogosto uporabljena jekla delijo v tri skupine, pri katerih je korozijska problematika zelo pomembna :

- a.) valjana, vlečena ter kovana maloogljikena jekla, ki niso legirana; so razmeroma občutljiva na korozijo.
- b.) malo legirana jekla, ki vsebujejo približno 2 do 3 % legirnih elementov; običajno so to baker, krom in nikelj, pa tudi fosfor in molibden. Ta jekla korodirajo, vendar se pod določenimi pogoji v atmosferski koroziji tvori rja, ki je adherentna in kompaktna. Ta več al manj ščiti pred nadaljnjo korozijo tako, da so korozijske hitrosti nižje od korozije malogljikjenih jekel in železa. To so jekla odporna proti vremenskim vplivom.

c.) nerjavna jekla, katera vsebujejo visok odstotek različnih legirnih elementov. Jekla tega tipa so praviloma korozijsko odporna v določenih količinah.

Kovine lahko korodirajo v različnih medijih. Ti mediji so :

1. *atmosferska korozija*
2. *korozija v vodah (sladka, morska)*
3. *podzemeljska korozija*
4. *korozija v betonu*
5. *korozija v različnih vodnih raztopinah kislin in lužin*
6. *korozija zaradi blodečih istosmernih tokov*



Vir: Vehovar[4]

slika 24: prikazuje različne korozijske medije, značilni za korozijo kovin in njihovih zlitin.

4.1 ATMOSFERSKA KOROZIJA MALO LEGIRNIH JEKEL

Atmosferska korozija je najenostavnejša oblika korozije, zaradi katere korodirajo jeklene konstrukcije, prometna sredstva, strojne naprave, različna mehanizacija ...

Običajno je atmosferska korozija počasnejša, kot je korozija v naravnih vodah ali v drugih vodnih raztopinah.

Atmosferska korozija je dejansko elektrokemična korozija, za katero je karakteristično, da se pojavlja pod tankim slojem elektrolita, ki nastaja z adsorbcijo vlage, kondezacijo vodne pare in zaradi atmosferskih padavin.

Glede na lokacijo je lahko atmosfera :

- podeželska
- industrijska
- morska

V odvisnosti od debeline sloja elektrolita, pa se atmosferska korozija deli :

1. Mokra atmosferska korozija; nastaja pri 100 % relativni vlažnosti zraka. Značilen je viden sloj vlage na površini kovine. Tu je vključena korozija, ki je posledica delovanja dežja, snega ...
2. Vlažna atmosferska korozija; tudi ta nastaja pri 100 % relativni vlažnosti. Ta deluje pod nevidnim slojem vlage, ki nastaja zaradi kondenzacije vodne pare iz zraka.
3. Suha atmosferska korozija; deluje v suhem zraku, ko ni možna kondenzacija vodne pare.

Hitrost korozije kovine je odvisna od določene količine vlage. V klimatskih pogojih pod 0°C in sicer v prisotnosti ledu, ki predstavlja zelo slab električni prevodnik, je korozija zanemarljiva. Ob prisotnosti različnih nečistoč v zraku kot so npr. SO₂, SO₃, CO₂ ..., pa se kondenzat

hitro navzame s temi pospeševalci korozijskega procesa. V odsotnosti teh nečistoč v kondenzatu, količina vlage ni bistven faktor.

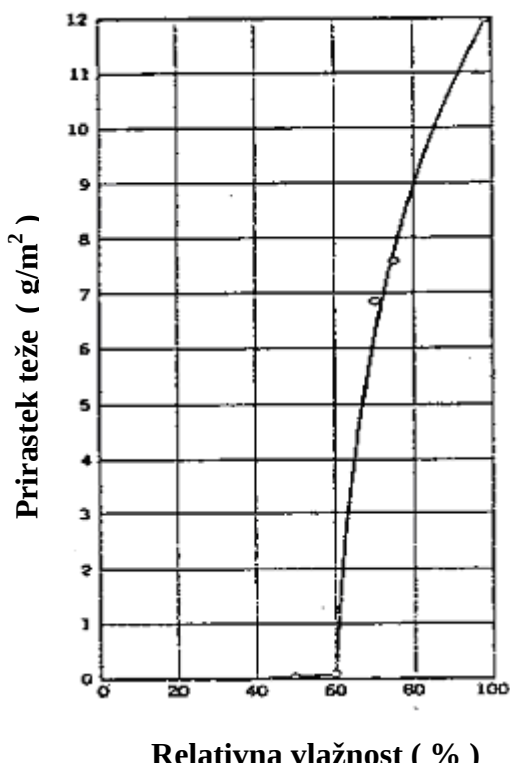
Faktorji, ki vplivajo na agresivnost atmosfere so :

-prah in stanje površine kovine

-plini

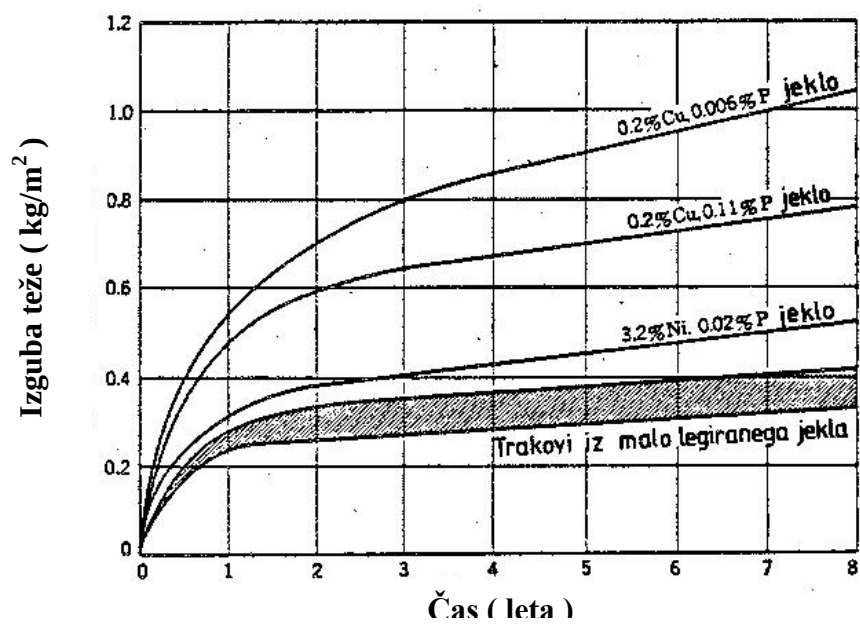
-vlažnost

Z naraščanjem relativne vlažnosti raste debelina adsorbiranega sloja in s tem tudi električna prevodnost elektrolita. Pri vrednostih za relativno vlažnost zraka, ki so pod kritično vlažnostjo, tudi specifična električna prevodnost elektrolita v adsorbiranem sloju hitro pada, s tem pa tudi hitrost odvijanja korozijskih procesov. Hitrost korozije železa je v suhih notranjih ambientih neznatna.



Vir: Maribor[11]

slika 25: prikazuje vpliv relativne vlažnosti zraka na hitrost korozije železa



Vir: Vehovar[4]

slika 26: prikazuje vpliv različnih legirnih elementov na hitrost korozije malogljičenega jekla

Že majhni nekateri legirni elementi vidno izboljšajo korozijsko odpornost maloogljičenih konstrukcijskih jekel v različnih atmosferskih razmerah. Vplivi dodatkov so sledeči :

Baker – do približno 0,2 % znatno izboljša korozijsko odpornost, večji dodatki pa skoraj nič

Fosfor – dobrodošel je v kombinaciji z bakrom

Krom – ima znaten vpliv na korozijsko odpornost

Nikelj – v malolegirnih jeklih nima večjega pomena

Mangan – ima pozitiven vpliv v medijih, ki vsebujejo kloridne ione

Silicij – ima podoben vpliv kot mangan

Molibden – dodaja se ga le redkokdaj

4.2 KOROZIJA ŽELEZA IN JEKLA V SLADKIH VODAH

Sladke vode (pitna voda, voda v jezerih, potokih, rekah,...) vsebujejo predvsem kalcijeve in magnezijeve soli (CaCO_3 , MgCO_3), bikarbonate kalcija in magnezija ter številne druge soli, ki so vezane na kisline, kot so solna, dušikova in silicijeva. Koncentracija teh zavisi od lokacije izvira do sestave zemlje skozi katero prodira atmosferska voda. Če je koncentracija soli visoka, so takšne vode trde, v nasprotnem primeru so mehke.

Mehanizem zaščite, ki jo nudi trda voda, sloni na izločanju filma na površini kovine (npr. na notranjih površinah vodovodnih cevi, skozi katere se pretaka pitna voda). Takšen film sestavlja pretežno kalcijev karbonat CaCO_3 , čerpav se izločajo še druge, že omenjene soli, raztopljene v vodi, katere se običajno zanemari. Nastali film predstavlja zaščito, skozi katero težje prodira v vodi raztopljeni kisik. Takšne obloge povzročajo polarizacijo katodne reakcije.

V mehkih vodah se film ne more izločiti. Vendar pa samo trdota vode ni edini faktor, ki odloča o morebitnem izločanju CaCO_3 . Možnost njegovega izločanja na površino je odvisna od celotne kislosti ali bazičnosti (pH vrednosti) in koncentracije raztopljenih trdnih delcev v vodi.

4.3 PODZEMELJSKA KOROZIJA ŽELEZA IN JEKLA

Različne konstrukcije, kot so naftovodi, plinovodi, vodovodne in kanalizacijske cevi, rezervoarji ..., korodirajo v zemlji, če so prisotni blodeči tokovi.

Zemlja vsebuje različne kemične substance in vlago in se kot takšna obnaša kot ionski prevodnik (deluje kot elektrolit z večjo ali manjšo električno prevodnostjo). Korozija v zemlji je elektrokemične narave.

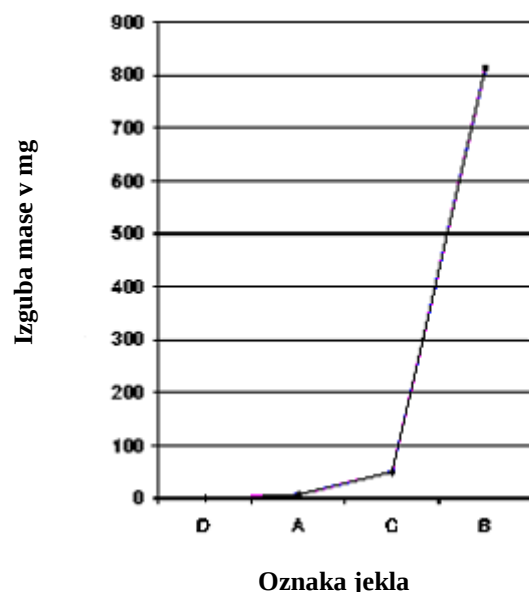
Najbolj karakterističen katoden proces elektrokemične korozije v zemlji je redukcija kisika, ki poteka na enak način kot pri ostalih vrstah korozije. V zelo kislih tleh je možna korozija z izločanjem vodika. V določenih primerih pa je možna s katodno reakcijo tudi redukcija proizvodov različnih organizmov.

Korozija železa in ostalih kovin v zemlji s porabo kisika je odvisna od hitrosti difuzije kisika do kovinske površine. Iz atmosfere v zemljo prodira kisik skozi plinasto in v manjši meri skozi tekočo fazo, v kateri je raztopljen. Prenos kisika do površine kovine s pomočjo plinaste in tekoče faze je možen z mešanjem obeh faz in z difuzijo.

Zemlja se lahko hitreje nasiti s kisikom zaradi spremembe atmosferskega pritiska in vlažnosti zemlje, ob atmosferskih padavinah, pri pogostem nihanju gladine zemeljske vode in nihanju temperature v zgornjih slojih zemlje. Gibanje vode s kisikom potencira korozijsko hitrost.

4.4 KOROZIJA V MORSKI VODI

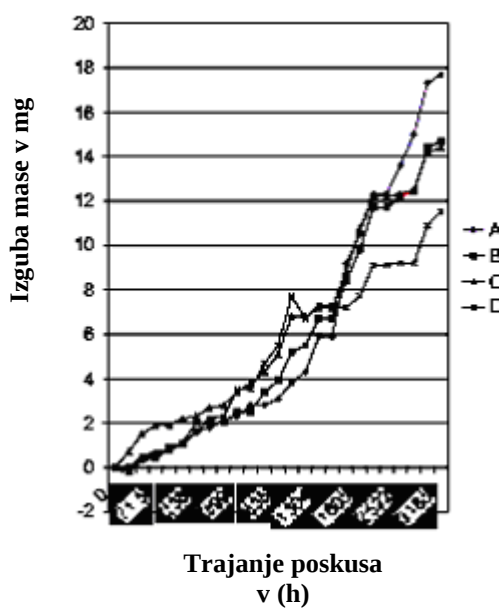
Zanimivo je, da je potek korozije oziroma korozijska hitrost v morski vodi dokaj podobna za vsa preiskovana jekla. Odmiki so predvsem v prvi fazi preizkušanja. Iz predstavljenih podatkov je razvidno, da so bili preizkusi v morski vodi dolgotrajni, saj je celotna raziskava trajala skoraj pol leta. Podatki za korozijske poskuse v morski vodi so podani v sledečih tabelah. (Navtika kapital, 12)



Vir:navtika kapital[12]

slika 27:prikazuje korozijske poizkuse v morski vodi za preiskovana jekla

Izguba mase korozijskih vzorcev nerjavnih jekel z oznakami: A, B, C in D v vreli raztopini H_2SO_4 in $CuSO_4$.



Vir:navitka kapital[12]

slika 28:prikazuje izgubo mase korozijskih vzorcev

Morska voda je izvrsten elektrolit v katerem so raztopljene številne soli katere srečavamo v naravi. Tako predstavlja morska voda enega od najbolj agresivnih korozijskih medijev. Koncentracija soli je v različnih morjih sledeča.

Tabela 6: koncentracija soli v morjih

Morje	Vsebnost soli (%)
Atlantski ocean	3,54
Tihi ocean	3,49
Sredozemsko morje	3,7 – 3,9
Kaspijsko jezero	1,0 – 1,5
Rečna voda	0,01 – 0,03

Vir:Navtika kapital[11]

V morski vodi se nahajajo tudi raztopljeni plini kot so kisik, ogljikov dioksid, dušik, inertni plini itd.

Poleg kationov nastalih z disocijacio soli v morski vodi (Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+) in anionov (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Br^- , F^-), se v njej nahajajo v manjših količinah tudi druge materije kot so ozon, elementi jod in brom (poznani kot aktivatorji korozije), pa silikati (poznani kot inhibitorji korozije).

Tako visoka vsebnost soli tvori elektrolit z veliko električno prevodnostjo. Specifična električna prevodnost morske vode znaša med 2,5 in $3,5 \cdot 10^{-2} \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$.

Morska voda s tako visoko vsebnostjo kloridov deluje zelo agresivno na večino konstrukcijskih kovin. Jeklena in siva litina, pa tudi malo legirana jekla, se v morski vodi ne pasivirajo, temveč je korozijski proces progresiven. Tudi visoko legirana jekla se v morski vodi v celoti ne pasivirajo, še posebej ne tista, ki niso stabilizirana. Zardi tega se pojavlja pitting korozija.

Morska voda z običajno slanostjo in v ravnotežju z atmosfero raztaplja sledeče količine kisika :

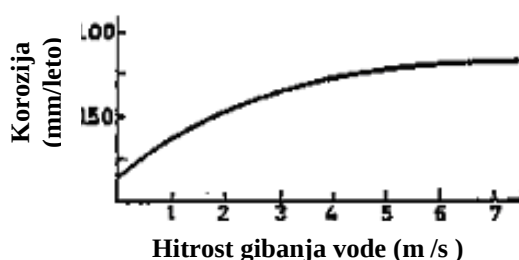
Tabela 7:raztapljanje kisika v morski vodi

Temperatura (°C)	-2	0	5	10	15	20	30
Vsebnost raztropljenega kisika (ml/l)	8,52	8,08	7,16	6,44	5,86	5,38	5,42

Vir:fsb[13]

Vsebnost raztopljenega kisika je največja na površini, z globino pa pada. V globinah kjer je mešanje morja zaradi valovanja majhno, je tudi vsebnost kisika nižja, kar znatno vpliva na korozijsko hitrost različnih kovin. Korozija v morski vodi je pretežno kisikovega tipa.

Korozijo jekla v morski vodi se lahko bistveno pospeši z gibanjem morske vode. Pri večjih hitrostih gibanja dobro aerirane vode, ki vsebuje manjše količine kloridov, lahko nastopi pasivacija, kar pa ni slučaj v morski vodi.



Vir:Qubes[19]

Slika 29:Korozija jekla v morski vodi

Različni organizmi in rastline pospešujejo korozijo jekla v morski vodi. Na bakru je razmnoževanje morskih organizmov najmanjše, zato tudi vpliv teh na hitrost korozije bakra manjši.

Hitrost korozije jekla, ki je konstanto potopljeno v morski vodi, s časom upada. To je še posebej značilno za malo ogljičeno konstrukcijsko jeklo.

V različnih globinah morja je hitrost korozije različna. Običajno z naraščanjem globine hitrost upada, kar je predvsem posledica zmanjševanja koncentracije kisika. Efekt globine je za različne kovine prikazan v naslednji tabeli.

Tabela 8: hitrost korozije pri različnih globinah izpostave

Hitrost korozije pri različnih globinah izpostave (mm/ leto)						
Material	0m	704m	1600m	1700m	2050m	Vrsta korozije
Cink	0,015	0,058	0,018	0,091	0,150	splošna
Malo ogljičeno jeklo	0,127	0,043	0,023	0,020	0,058	splošna
Al-Mg zlitina	-	-	-	>0,576	-	pitting
Cu-10Sn-22Zn zlitina	0,008	0,005	0,008	0,018	0,008	splošna
Cu-10Ni zlitina	0,008	0,020	0,018	0,015	0,015	splošna
Cu-30 Ni zlitina	0,005	0,023	0,015	0,025	0,030	splošna
Nerjavno jeklo 410	-	1,270	1,270	1,270	1,270	pitting
Incoloy 825	-	neznatna	neznanta	0	neznatna	pitting
Monel 400	-	0,033	>0,035	0,038	>0,092	pitting
Temp. izpostave (°C)	5-30	7,2	2,5	2,3	2,7	
Vsebnost kisika (ppm)	5-10	0,6	1,8	2,1	1,7	

Vir: Vehovar[4]

Iz tabele je razvidno hitrejšje korodiranje neželezne zlitine z naraščanjem globine, kljub temu, da v primerjavi s površino upadata temperatura in vsebnost kisika. Hitrost korozije malogljičenega jekla pa je z globino upočasnjena. Nekatera odstopanja na posameznih lokacijah, povezana z različnimi materiali, si je možno razložiti z gibanjem velikih mas morske vode (dotok s kisikom obogatene sveže vode) in s precejšnjo občutljivostjo nekaterih kovin oz. zlitin do kisika, ki v takšnih primerih deluje destruktivno že pri zelo nizkih vsebnostih.

5 KOROZIJA NERJAVNIH JEKEL

Nerjavna jekla so zlitine na bazi železa, ki vsebuje vsaj 11 % Cr.

V svetu je poznanih več kot 170 različnih vrst jekel, ki bi jih lahko uvrstili v nerjavno skupino. V nekaterih jeklih dosega vsebnost kroma 30 % ali tudi več, dodani pa so še mnogi drugi elementi, ki dodatno povečujejo korozijsko odpornost v različnih korozijskih medijih in pri različnih delovnih temperaturah (Mo, Ni, Cu). Vsi ti legirni elementi pa ne služijo le kot sredstvo za povišanje korozijske odpornosti, temveč povečujejo trdnostne lastnosti, obdelovalnost, preoblikovalnost...

5.1 KEMIČNA SESTAVA NERJAVNIH JEKEL

V odvisnosti od kemične sestave so nerjavna jekla razdeljena v tri osnovne skupine :

- austenitna
- feritna
- martenzitna

V naslednji tabeli so prikazane še druge vrste nerjavnih jekel, ki jo je podala klasifikacija pa American Iron and Steel Institute.

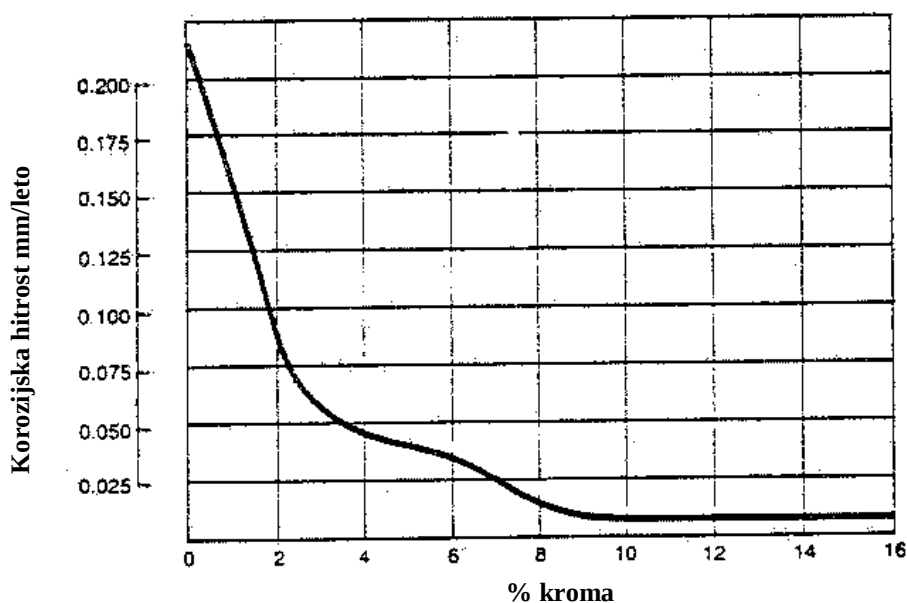
Vrsta jekla po AISI	Kemična sestava v %							
	Cr	Ni	C	Mn (max)	P (max)	S (max)	Si (max)	Drugi elementi
	Martenzitna nerjavna jekla							
403	11,5-13	-	0,15max	1	0,04	0,03	0,5	
410	11,5-13,5	-	0,15max	1	0,04	0,03	1	
414	11,5-13,5	1,25-2,5	0,15max	1	0,04	0,03	1	
416	12-14	-	0,15max	1,25	0,6	0,15min	1	0,6 Mo(max)
416 Se	12-14	-	0,15max	1,25	0,06	0,06	1	0,15 Se(min)
420	12-14	-	okoli 0,15	1	0,04	0,03	1	
431	15-17	1,25-2,5	0,20max	1	0,04	0,03	1	
440A	16-18	-	0,6-075	1	0,04	0,03	1	0,75 Mo(max)
440B	16-18	-	0,75- 0,95	1	0,04	0,03	1	0,75 Mo(max)
Vrsta jekla po AISI	Cr	Ni	C	Mn (max)	P (max)	S (max)	Si (max)	Drugi elementi
	Austenitna nerjavna jekla							
201	16-18	3,5-5,5	0,15max	5,5-7,5	0,06	0,03	1	0,25 N(max)
202	17-19	4-6	0,15max	7,5-10	0,06	0,03	1	0,25 N(max)
301	16-18	6-8	0,15max	2	0,045	0,03	1	
302	17-19	6-10	0,15max	2	0,045	0,03	1	
302B	17-19	8-10	0,15max	2	0,045	0,03	2-3	
303	17-19	8-10	0,15max	2	0,20	0,15min	1	0,6 Mo(max)
303Se	17-19	8-10	0,15max	2	0,20	0,06	1	0,15 Se(min)
304	18-20	8-10,5	0,08max	2	0,045	0,03	1	
304L	18-20	8-12	0,03max	2	0,045	0,03	1	
309S	19-21	10-12	0,08max	2	0,045	0,03	1	
Vrsta jekla po AISI	Cr	Ni	C	Mn (max)	P (max)	S (max)	Si (max)	Drugi elementi
	Ferritna nerjavna jekla							
310	24-26	19-22	0,25max	2	0,045	0,03	1,5	
310S	24-26	19-22	0,08max	2	0,045	0,03	1,5	
405	11,5-14,5	-	0,08max	1,0	0,04	0,03	1	0,1-0,3 Al
430	16-18	-	0,12max	1,0	0,04	0,03	1	
430F	16-18	-	0,12max	1,25	0,06	0,15min	1	0,6 Mo(max)
430F,Se	16-18	-	0,12max	1,25	0,06	0,06	1	0,15 Se(max)
446	23-27	-	0,20max	1,5	0,04	0,03	1	0,25 N(max)

Tabela 9:
tipi in kemična sestava nerjavnih jekel za vlečenje

Vir: Vehovar[4]

5.2 PASIVACIJA NERJAVNIH JEKEL

Nerjavnost legiranih jekel je posledica tvorbe pasivnih filmov na njihovi površini. Krom je najvplivnejši element, ki odlično vpliva na tvorbo pasivnih filmov. Pasivnost se doseže s približno 11 % Cr. Z delovanjem korozijskega medija in kisika iz zraka, se tvori tanek film stabilnega kromovega oksida, ki ima dovolj veliko zaščitno moč, da ščiti takšno feritno nerjavno jeklo v normalnih atmosferskih razmerah, ali v bolj blagih vodnih raztopinah. Z naraščanjem vsebnosti kroma se kvaliteta pasivnega filma še izboljša. Z dodatkom molibdena pa postanejo austenitna nerjavna jekla še precej bolj odporna, saj Cr – Ni – Mo kompleks oksidov še bolj izrazito dviguje potencial sistema k pozitivnejšim vrednostim.



Vir:fsb[13]

slika 30: prikazuje da z naraščanjem vsebnosti kroma v jeklu pada korozijska hitrost zaradi tvorbe pasivnega filma

5.3 AUSTENITNA NERJAVNA JEKLA

Austenitna nerjavna jekla vsebujejo krom in nikelj, nekatera pa še molibden. To so namagnetna jekla, ki se ne dajo toplotno obdelati. S hladno predelavo postanejo rahlo magnetna. Tipični predstavnik teh jekel je kvaliteta 304, ki vsebuje 18 % Cr in 8 % Ni .

Vpliv deformacijsko inducirane martenzite

Večina austenitnih nerjavnih jekel tvori pri hladni plastični deformaciji deformacijsko inducirano martenzit. Njegovo nastajanje je možno tudi pri navodičenju austenitnih jekel, pri čemer rakombinirani vodik (molekule H_2) povzroča visoke pritiske in deformacijo kristalne rešetke.

Sulfidni vključki

Žveplo je prisotno v austenitnih nerjavnih jeklih kot nečistoča ali kot dodatek, ki izboljšuje strojno obdelavo (običajni dodatek do 0,3 %). Ker je topnost žvepla v nerjavnih jeklih pri sobni temperaturi pod 0,01 %, se preostanek izloča kot kovinski sulfid. Sulfidni izločki so pretežno Mn sulfidi, lahko pa vsebujejo še krom in druge elemente. Sulfidi so škodljivi, ker povzročajo pitting korozijo v vseh vrstah nerjavnih jekel.

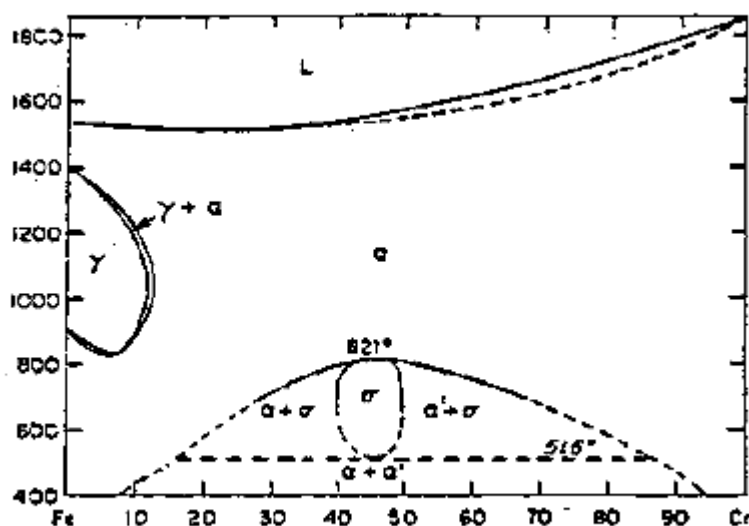
5.4 FERITNA NERJAVNA JEKLA

Osnova te vrste nerjavnih jekel je ferit, ki nastaja v prisotnosti približno 12 % Cr. Nastajanje ferita je še posebej potencirano v prisotnosti drugih tvorcev oz. stabilizatorjev ferita. Nižje vsebnosti kroma vodijo do boljše varivosti, ugodne žilavosti, trdnosti in trdote, večje vsebnosti pa do upadanja mehanskih lastnosti in predvsem žilavosti, obenem pa prihaja do boljše korozijske odpornosti, še posebej v nitratnih medijih. Nekatere vrste nerjavnih jekel so stabilizirane s titanom, da bi se izboljšala korozijska odpornost zvara. Tip 466 vsebuje največjo količino kroma v American Iron and Steel Institute 400 seriji. Ima tudi najboljšo korozijsko in oksidacijsko odpornost med feritnimi nerjavnimi jekli.

Pri feritnih jeklih naletimo na številne težave metalurške narave, ki izrazito vplivajo na korozijsko obnašanje. Poznana je krhkost pri 475 °C, nastajanje sigma faze, nizka žilavost zvarov in tudi senzibilnost te vrste materiala.

Krhkost pri 475 °C

Pri feritnih nerjavnih jeklih z več kot 12 % Cr se pri temperaturah nad 340°C izrazito poslabša žilavost, kar vodi da krhkosti materiala. Maksimalni vpliv se dosega pri 475 °C. Lahko trdimo, da z naraščanjem vsebnosti kroma upada čas, ki je potreben za nastajanje krhkosti. Izločanje je posledica razpada α železo – krom trdne raztopine, ki je nestabilna pri nižjih temperaturah. Ta mehanizem je razviden na sliki 30.



Vir: Maribor[11]

slika 31: prikazuje da z naraščanjem vsebnosti kroma v jeklu pada korozijska hitrost zaradi nižanja temperature

Diagram kaže, da je krhkost 475 °C možno pričakovati pri temperaturah pod 516 °C in sicer v širokem področju vsebnosti kroma.

Žilavost zvarov

Ena od bistvenih težav pri rjavenju feritnih nerjavnih jekel je upadanje žilavosti zaradi pojava grobega zrna v toplotno vplivani coni, krhkosti 475°C in visokotemperaturne krhkosti zaradi izločanja karbonitridov. Z naraščanjem vsebnosti kroma pada nivo različnih lastnosti, korozijska odpornost pa narašča.

5.5 MARTENIZTNA NERJAVNA JEKLA

Martenzitna nerjavna jekla vsebujejo več kot 11,5 % kroma. Pri povišanih temperaturah imajo austenitno strukturo, ki pa se s hitrim ohlajanjem do sobne temperature spremeni v martenzit .

Izbira martenzitnega nerjavnega jekla je pogosto združena s kombinacijami kot so visoka trdnost in ustrezna žilavost, korozijska odpornost z abrazijsko, dobra korozijska odpornost in dinamična trdnost...

Običajno so martenzitna nerjavna jekla slabše korozijsko obstojna kot npr. austenitna ali feritna, vendar pa so zaradi abrazijske odpornosti nezamenljiva z drugimi jekli.

Pri delu s povišanimi temperaturami bo nerjavno martenzitno jeklo odporno proti upadanju trdote, če bo legirano s karbidotvorci kot so molibden, vanadij in niobij. Vsi trije elementi tvorijo fino dispergirane in stabilne karbide, ki omogočajo stabilnost tovrstnega jekla tudi pri višjih temperaturah.

5.6 KOROZIJSKA ODPORNOST NERJAVNIH JEKEL

Nerjavna jekla vrste 304, 430 ali 410 predstavljajo dobro iztočnico za obravnavo korozijske odpornosti in medsebojne primerjave.

Tip 304 je eno najbolj razširjenih austenitnih jekel (18Cr in 8Ni), ki se rabi v arhitekturi, prehrambeni in kemični industriji. Ni odporno na zelo kisle medije, ki vsebujejo kloride in kjer je možno pričakovati višje temperature. Uporablja se za skladiščenje utekočinjenih plinov, za kuhinjsko opremo, transportna sredstva in za predelavo odpadne vode.

Tip 316 vsebuje nekoliko več niklja in 2–3 % molibdena, kar daje boljšo korozijsko odpornost predvsem v kloridnih raztopinah, v katerih je stalna nevarnost nastajanja pitting korozije. To jeklo je precej odporno proti žvepleni kislini in v mnogih medijih procesne industrije.

Tip 317 vsebuje 3–4 % molibdena in več kroma kot tip 316. Jeklo s takšno sestavo nudi visoko odpornost proti nastajanju pittinga.

Jeklo vrste 430 je predstavnik feritnih nerjavnih jekel, ki vsebujejo manj legirnih elementov kot tip 304. Uporablja se za izdelke, kjer se zahteva visoka polirna sposobnost.

Tip 410 je martenzitno nerjavno jeklo z najnižjo vsebnostjo legirnih elementov. To jeklo je odporno v manj agresivnih atmosferah, parah in zelo blagih raztopinah različnih kemikalij.

Odpornost proti pittingu

Pitting nastaja s poškodbo pasivnega filma. Nastajanje pitov je možno preprečiti v mnogih korozijskih medijih z uporabo nerjavnega jekla vrste 316 in 317 (vsebujejo molibden).

Odpornost proti koroziji v špranji

Nvedeni tip korozije nastaja zaradi razlik v koncentraciji kisika znotraj špranje in izven nje. Nerjavna jekla z molibdenom kažejo najboljšo odpornost, vendar pa je te vrste korozijo potrebno odpravljati s pravilnim konstruiranjem.

Napetostno korozijsko pokanje

Tip 329 nerjavnega jekla kaže visoko odpornost proti napetostni koroziji v kloridnih raztopinah. Poleg tega pa kaže to jeklo tudi dobro splošno korozijsko odpornost in odpornost proti nastajanju pittinga. Jeklo 317 z minimalno 3,5 % Mo ima poleg dobre odpornosti proti napetostni koroziji v kloridnih raztopinah tudi odlično obstojnost v dimnih plinih, ki vsebujejo SO₂. Visoko odpornost proti napetostni koroziji nudi tudi tip 316 L, z zelo nizko vsebnostjo ogljika. Velik del austenitnih nerjavnih jekel kaže zadovoljivo odpornost proti napetostni koroziji v kloridnih raztopinah, toda le pri nižjih koncentracijah in nižjih temperaturah. Z naraščanjem koncentracije in temperature pa odpornost pri nekaterih kvalitetah drastično

pade. Pri austenitnih nerjavnih jeklih je popolna odpornost proti napetostni koroziji dosežena šele pri dodatku 45 % Ni .

Novejša feritna jekla z dodatki molibdena in niklja so odporna proti napetostni koroziji in stanju pittinga v kloridnih raztopinah.

Galvanska korozija nerjavnih jekel

Pasivirana površina nerjavnih jekel omogoča, da se jekla spajajo z vsemi kovinami, ki tvorijo pasivne filme. Pri tem se ne tvorijo aktivni galvanski členi. Aluminijske konstrukcije se spajajo z nerjavnimi vijaki, ali s pocinkanimi, ki so dodatno kromatirani.

Visoko temperaturna korozija nerjavnih jekel

Uporaba nerjavnih jekel pri povišanih in visokih temperaturah je zasnovana na tvorbi pasivnih filmov. V oksidativni atmosferi in povišani temperaturi se tvorijo zaščitni oksidi, v prisotnosti plinov, ki vsebujejo žveplo, v določenih primerih pa celo zaščitni sulfidi.

V bolj agresivnih medijih in pri višjih temperaturah (nad 870 °C) pa zaščitni film lahko počí. To povzroči povečanje hitrosti korozije, ki se pojavi v obliki škaje (oksidna plast na kovini, ki nastane ob žarenju pri visoki temperaturi). Odpornost proti nastajanju škaj zavisi od vsebnosti kroma.

Za visoke temperature, ki jih karakterizirajo ekstremni pogoji, pa pasivni filmi več ne ščitijo.

V tabeli so podane maksimalne delovne temperature, pri katerih je možna uporaba različnih vrst nerjavnih jekel.

Tabela 10: maksimalna delovna temperatura za različna nerjavna jekla

AISI	Max. Delovna temperatura (°C)
201	845
202	845
301	900
302	925
304	925
308	980
309	1095
310	1150
316	925
317	925
321	925
330	1150
347	925
410	705
416	675
420	620
440	760
405	705
430	816
442	980
446	1095

Vir:Hermi[8]

6 KOROZIJA CINKA IN CINKOVIH PREVLEK

Cink je ena pomembnejših kovin, ki se izkorišča v borbi proti vplivom elektrokemične korozije. Ima dobro korozijsko odpornost v določenih korozijskih medijih in visoko zaščitno sposobnost za mnoge kovine.

Cink je termodinamično nestabilna kovina, ki intenzivno korodira. V prisotnosti CO₂ iz zraka pa tvori zaščitne filme, ki korozijski proces v manj agresivnih atmosferah polarizirajo.

Statistične analize kažejo, da se skoraj 50% proizvodnje cinka izkorišča v korozijske namene.

Njegova uporabnost je omejena v prisotnosti nekaterih nečistoč kot so Pb, Cd, Sn, Bi in Ta.

Če vsebnost nečistoč preseže vrednost 0,012%, nastopi interkristalna korozija, katere posledice

dica je krhkost cinkove pločevine. Za preprečitev te korozije se dodaja titan, ki tudi izrazito zmanjša kristalno zrno.

Cink katodno ščiti jeklo s tem, da se anodno odtaplja, pri čemer pa se sproščajo elektroni.

6.1 NASTAJANJE POVRŠINSKIH FILMOV

Za cink in mnoge druge kovine je odpornost proti atmosferski koroziji odvisna od možnosti tvorbe zaščitnih filmov na njihovih površinah. V primeru cinka nastaja na površini cinkov oksid ali cinkov bazični karbonat.

Atmosferska korozija cinka je pospešena z delovanjem kisika iz zraka. Vendar pa se pri tem tvori cinkov oksid, ki ima precej slabšo zaščitno sposobnost kot cinkov bazični karbonat. Če je oksidni film porozen, je zaščitna sposobnost slabo izražena, korozija pa zaradi kisika napreduje v globino. Kompakten cinkov oksid omogoča dobro zaščito le v zraku, ne pa v vodi. Pravo zaščito nudi le cinkov bazični karbonat, katerega debelina s časom postopno raste, če ni prisotna agresivna atmosfera, v kateri se film tudi odtaplja.

6.2 VPLIV ATMOSFERSKE VLAŽNOSTI IN PADAVIN

Pri velikih količinah vlage je cink le rahlo korozijsko napaden v čistem zraku. Če se tvori kondenzat med pocinkano pločevino, ali drugimi neustrezno uskladiščenimi pocinkanimi elementi, se korozijsko delovanje pospeši s tvorbo belih korozijskih produktov cinka. Ob pristopu zraka in CO_2 pa se tvori cinkov bazični karbonat, ki dobro ščiti. Močan korozijski napad se pojavlja v zatohlih in slabo prezračevanih prostorih, v katerih je nizka vsebnost CO_2 , vlaga v obliki kondenzata pa izhlapeva.

Z onesnaženjem zraka atmosferska korozija cinka naglo napreduje, če narašča še vlažnost in količina padavin. Z naraščanjem temperature hitrost korozije običajno upada, čeprav so lokalno možne večje hitrosti.

Število deževnih dni indirektno vpliva na povečanje korozijske hitrosti cinka. Mokra cinkova površina ima namreč večjo možnost absorpcije agresivnih dimnih plinov.

6.3 VPLIV SO₂ NA KOROZIJO CINKA

Žveplov oksid je najbolj vplivna komponenta v neočiščenem zraku, saj izrazito poveča korozijsko hitrost. Njegov vpliv narašča z naraščanjem vlažnosti zraka. S postopnim naraščanjem relativne vlažnosti do nekje 65% narašča korozijska hitrost počasi, pri vlažnostih nad 70%, ko je tudi absorpcija SO₂ na vlažno cinkovo površino precej večja, pa hitrost korozije skokovito naraste.

6.4 KOROZIJA CINKA V INDUSTRIJSKI ATMOSFERI

Hitrost korozije znaša od 3 do 5 mikrometrov / leto in je v določenih primerih pogosto tudi večja. V industrijskih atmosferah je gonilna sila korozijskega procesa SO₂ v zraku in s spreminjanjem letnega časa se spreminja tudi koncentracija SO₂ in s tem korozijska hitrost.

6.5 KOROZIJA CINKA V MORSKI ATMOSFERI

Korozija cinka v morski atmosferi znaša od 1 do 7 mikrometrov / leto. V območju, kjer je visoka koncentracija Cl⁻ ionov, pa je hitrost korozije podobna tisti, ki je značilna za industrijsko atmosfero.

6.6 KOROZIJA CINKA V MESTNI ATMOSFERI

V gosto naseljenih mestnih področjih z individualno kurjavo pa je hitrost korozije v zimskih obdobjih podobna tisti, ki se omenja za industrijsko atmosfero.

6.7 KOROZIJA CINKA V SLADKIH VODAH

Cink je obstojen v sladkih vodah. Njegova obstojnost je povečana, če se izločijo iz vode karbonati v obliki dovolj kompaktnih prevlek. Pocinkane vodovodne cevi potrjujejo odpornost cinka v sladkih vodah.

Z večanjem temperature vode korozija se veča in doseže svoj maksimum pri približno 70 °C. Zatem hitrost korozije ponovno pada.

6.8 KOROZIJSKO OBNAŠANJE POCINKANEGA JEKLA

Kinetika korozijskih procesov pocinkanega jekla v atmosferskih pogojih je povsem enaka čistemu cinku. Na mestih, kjer so prisotne poškodbe v pocinkanju, je jeklo katodno zaščiteno pod določenimi pogoji.

7 KORZIJA BARVNIH KOVIN

Barvne kovine se uporabljajo v številnih panogah visoke tehnologije, zlasti v vojaški, računalniški, elektronski in telekomunikacijski industriji.

Barvne kovine se proizvajajo iz vrste primarnih in sekundarnih surovin. Primarne surovine so pridobljene iz rud, ki se jih koplje v rudnikih in nato pripravlja za metalurško obdelavo, pri kateri se pridobijo surove kovine. Obdelava rud poteka navadno ob rudnikih. Sekundarne surovine so odpadki in ostanki. Tudi te surovine gredo lahko pred metalurško obdelavo skozi pripravo, npr. odstranjevanje prevlek.

Poznanih je veliko vrst barvnih kovin. Med te spadajo skupine kot so :

-*aluminij in njegove zlitine*

-*baker in njegove zlitine*

-*svinec*

-*kadmij*; je srebrno bela nežlahtna kovina, obstojna v suhem prostoru, na vlagi pa se prevleče z oksidno belo plastjo. Uporablja se predvsem za protikorozijske zaščitne prevleke, dodaja se bakru, da postane trši, v alkalnih akumulatorjih se ga skupaj z nikljem uporablja kot elektrodni material.

-*plemenite kovine*; med plemenite kovine spadajo *platina* (je plemenita redka kovina, ki se uporablja predvsem za laboratorijski pribor, za zlitine za visoke temperature, uporablja pa se tudi za izdelavo avtomobilskih katalizatorjev); naslednja je *zlato* (je plemenita kovina, ki jo najdemo skupaj s srebrom v bakrovih in svinčenih rudah. Uporablja se ga predvsem za izdelavo nakita. Je zelo obstojno tako na zraku kot v vodi); sledi *srebro* (pridobiva se s taljenjem svinčene rude, pri elektrolizo bakra. Srebro se na zraku obda s tanko oksidno plastjo, ki ga ščiti pred propadanjem. Ker je dober prevodnik električnega toka se ga uporablja v elektrotehniki).

-*živo srebro*; je edina kovina, ki je pri sobni temperaturi v tekočem stanju. Uporabljamo ga pri izdelavi termometrov vsaj se njegova prostornina spreminja že pri majhnih temperaturnih razlikah. Njegovi hlapi in tudi živo srebro samo so zelo strupeni, zato termometre z živim srebrom opuščamo.

-*kositer*; Zaradi velike cene se kositer uporablja le tam, kjer se ga ne da zamenjati z drugimi kovinami. Je zelo odporen proti koroziji. Prevleče se s posebno oksidno plastjo, ki ga zaščiti proti koroziji. Kositer je važen za prevleko pločevine, ki se uporablja za konzerve v živilski industriji

-*težko taljive kovine*

-*kobalt*; je jekleno siva, vsestransko uporabna kovina. V glavnem se pridobiva kot stranski produkt pri pridobivanju pomembnejših kovin. Če se ga dodaja jeklu preprečuje nastanek grobozrnate strukture. Kobaltovo zlitino se uporablja za izdelavo grelnih členov v električnih pečeh, uporablja pa se še v kemiji in medicini.

-*nikelj*; Čisti nikelj ima zelo omejeno uporabo. Pogosto se ga uporablja za galvanske prevleke.

Veliko večji pomen ima nikelj v zlitinah. Njegovih zlitin je več vrst in vse zlitine se lahko obdelujejo na različne načine in imajo dobre trdnostne lastnosti, so tudi zelo odporne proti koroziji.

Posebej pomembni sta zlitini Ni–Cr in Ni–Cu. Obe imata veliko odpornost proti električnemu toku in jih uporabljamo za električne upore. Pri zlitini Ni–Cu je poznana kovina monel. Ta kovina je zlitina in ima odlične lastnosti. Je žilava v velikem temperaturnem območju, zelo obstojna proti vlagi, zraku in morski vodi.

-*alkalijske kovine*; so elementi, ki v periodnem sistemu nastopajo v prvi skupini, brez vodika. To so litij, rubidij, natrij, kalij, cezij in francij. Vsi so izjemno reaktivni, zato jih ne najdemo čiste v naravi. Kalij in natrij hranimo v petroleju, saj v stiku z vodo ali kisikom burno reagirata. Cezij in rubidij, pa sta tako reaktivna, da ju hranimo v zatesnjenih ampulah. Francij pa je eden najbolj neobstoječih elementov in praktično ni nikomur dostopen.

Alkalijske kovine so mehke, upogljive in so tudi dobri prevodniki toplote in električnega toka, zato se uporabljajo tudi za izdelavo baterij.

-*zemeljsko alkalijske kovine*; elemente II. skupine periodnega sistema imenujemo tudi zemeljskoalkalijske kovine. V tej skupini se nahajajo elementi, ki jih imenujemo berilij, magnezij, kalcij, stroncij, barij in radij.

Ti elementi imajo v vseh spojinah oksidacijsko število +2 (iona M^{+2} in $M^{+2}(aq)$) in razen nekaj izjem (med spojinami berilija in magnezija) so spojine največ ionske. Vezi v berilijevih spojinah so večinoma kovalentne. Elementi nimajo oksidacijskega števila +3, ker je tretja ionizacijska energija zelo velika. Ionizacijsko energijo potrebujejo zato, da odstranijo elektron iz notranje lupine.

Vsi elementi, razen berilija, so močni reducenti in tipične kovine, njihove lastnosti pa so posledica dveh valenčnih elektronov, ki sta prisotna v vsakem atomu - močna kovinska vez.

-ogljik in grafit; glavni viri ogljika in njegovih spojin so nafta, premog, les ter minerali. Pojavlja se v dveh oblikah: v diamantu in grafitu.

Diamant ima razširjeno kovalentno zgradbo in kristalizira v kubičnem kristalnem skladu. Je brezbarven, prozoren, trd ter zelo obstojen. Diamant uporabljajo za rezalne plošče za steklo, v vrtilnih in brusilnih napravah ter za nakit.

Grafit kristalizira v heksagonalnem kristalnem skladu. Ima plastovito strukturo in te plasti so med seboj povezane s šibkimi van der Waalsovimi silami. Zaradi tega plasti med seboj drsijo. Grafit se uporablja za izdelavo ogljikovih vlaken (visoka natezna trdnost, velika obstojnost) katere nato uporabljajo za vgraditev v polimere in tako utrdijo material.

Podrobnejši opisa korozije aluminija in njegovih zlitin, bakra ter svinca je naveden v nadaljevanju.

7.1 KOROZIJA ALUMINIJA IN NJEGOVIH ZLITIN

Aluminij in aluminijeve zlitine združujejo vrsto lastnosti, po katerih jih uvrščamo med izvrstne konstrukcijske materiale, uporabne v različnih področjih, za različne namene. Splošno aluminijeve zlitine z visoko trdnostjo niso najbolj odporne proti koroziji, v primerjavi s tistimi, pri katerih visoke mehanske lastnosti niso primarnega značaja. Vendar pa so nekateri postopki toplotne obdelave in protikorozijske zaščite omogočili uporabo teh zlitin v mnogih korozijskih medijih. Zaradi ugodnih mehanskih lastnosti, nizke teže, visoke korozijske odpornosti, dobre toplotne prevodnosti in električne prevodnosti je ta material uporaben:

-v sladkih vodah za skladiščne rezervoarje in vodovodne cevi v namakalnih sistemih, toplotne izmenjevalce;

-v morski vodi za ladijske trupe, ladijsko nadgradnjo;

- v zemlji za cevovode;
- v prehrabeni industriji za kuhinjsko posodo, rezervoarje za tekočine organskega izvora;
- v kemični industriji za skladiščenje in transport kemikalij, še posebej tistih z oksidativnim delovanjem kot so HNO_3 in H_2SO_4 ;
- v oljarnah in proizvodnji katrana;
- za transport utekočinjenih plinov, kjer pri nizkih temperaturah aluminij nudi poleg dobre korozijske odpornosti še ugodne mehanske lastnosti ter predvsem visoko žilavost.

7.1.1 Korozijska odpornost aluminijevih zlitin

Vrste aluminijevih zlitin :

1. Aluminij – Baker zlitine

Čeprav baker povečuje trdnostne lastnosti aluminijevih zlitin, je njegov vpliv na korozijsko odpornost negativen. Na splošno imajo Al-Cu zlitine razmeroma slabo korozijsko obstojnost. Take zlitine je treba površinsko zaščititi v primerih, ko se rabijo v agresivnih medijih. Korozijska odpornost se poveča z dodatkom približno 0,5 % magnezija.

Vpliv bakra na korozijsko odpornost je zaznaven že pri majhnih vsebnostih. Količino bakra pod 0,5 % sicer povečujejo verjetnost nastajanja pittinga, vendar pa istočasno ta element znižuje hitrost njegovega napredovanja v globino.

Dodatek 0,2 % kroma v aluminijevi zlitini z 1,6 % bakra ugodno vpliva na znižanje možnosti pojava interkristalne korozij. Območje v katerem ima baker ugoden vpliv, je torej omejeno.

2. Aluminij – mangan zlitine

Mangan in aluminij tvorita MnAl_6 fazo. Aluminij-mangan zlitine imajo dobro korozijsko odpornost v slanih medijih, pogosto pa so se rabile za izdelavo kuhinjske posode in opremo v kemični industriji. MnAl_6 faza lahko v trdni raztopini absorbira železo in s tem se zniža škodljiv vpliv FeAl_3 na korozijsko odpornost tovrstnih zlitin.

3. Aluminij – magnezij zlitine

Aluminij magnezij zlitine so dobra kombinacija, ki nudi visoke mehanske lastnosti in odlično korozijsko odpornost. Uporabne so za različne konstrukcije in opremo, izpostavljeno koroziivnim medijem. Znani sta zlitini z 2,5 % Mg in 0,25 % Cr ter 4,5 % MG , 0,7 % Mn in 0,12 % Cr .

7.1.2 Aluminijeve korozije v različnih okoljih

7.1.2.1 Atmosferska korozija aluminija

Večina aluminijevih zlitin ima odlično korozijsko odpornost v mnogih atmosferah, zato je uporaba teh v gradbeništvu zelo razširjena. Velika odpornost aluminijevih zlitin je v tem, da se pasivirajo s tvorbo hidroksidov, ob poškodbi pasivnosti pa se hitro repasivirajo. Aluminij se najpogosteje dodatno ne ščiti proti koroziji, v izjemnih primerih, ko je izpostavljen agresivnejšim atmosferam kot so morska, industrijska ali agresivna mestna atmosfera, pa se površine umetno oplemenitijo z anodno oksidacijo ter zapiranjem por s siliranjem (ta postopek je poznan kot eloksaža).

7.1.2.2 Vpliv podeželjske in industrijske atmosfere na korozijo aluminija

Podeželjska atmosfera; obstojnost aluminija v taki atmosferi je izredna. Aluminij izpostavljen atmosferskim vplivom, postane s časoma svetlo sive barve, vendar pa v podeželjski atmosferi lahko ohranja svoj sijaj tudi nekaj let.

Industrijska atmosfera; večina aluminijevih zlitin ima zadovoljno korozijsko obstojnost v industrijski atmosferi, čeprav kisli mediji zaradi delovanja SO₂ povzročajo pitting in postop-

no znižanje trdnosti materiala. Na nekaterih lokacijah, kot so strehe in obloge industrijskih hal pa je korozija znatno večja.

7.1.3 Korozija aluminija v sladkih vodah

Različni deli plovil in motorjev, ki so v direktnem kontaktu s sladko vodo, kažejo dobro korozijsko obstojnost. V odvisnosti od pogojev vzdrževanja in kemične sestave vode, pa se vendar lahko pojavlja korozija v obliki gostega in ne globokega pittinga. Potem, ko se je pitting razvil, hitrosti penetracije upada s kubičnim korenom časa, kar pomeni, da je pri ustrezni izbiri debeline materiala, življenjska doba izdelkov lahko zelo dolga.

Sladke vode lahko vsebujejo sestavine, ki bistveno vplivajo na korozijsko odpornost aluminija. Te so: saje, silikati, kloridi, karbonati, oksidi žvepla in dušika, kremenec, žveplovodik, amoniak, organske snovi in druge nečistoče.

Aluminij je izvrsten material tako za cevi kot tudi cisterne, katere so v kontaktu s parnim kondenzatom. Pretežno je kondenzat čista voda, ki je lahko nasičena s kisikom ali ogljikovim dioksidom. Tak je agresiven do običajnih jeklenih ali bakrenih cevi.

7.1.4 Korozija aluminija v morski vodi

Določene aluminijeve zlitine so dobro odporne v morski vodi. Kljub progresivnemu poteku korozije je življenjska doba pravilno dimenzioniranih elementov različnih konstrukcij ter naprav, razmeroma dolga. Zlitine za gnetenje tipa Al – Mg in Al – Mn, kažejo najboljšo odpornost.

Al–Mg–Si zlitine imajo nekoliko znižano korozijsko odpornost v primerjavi z Al–Mg ali Al –Mn materiali. Korozija nastopa v obliki gostejšega pittinga, ki ima tendenco formiranja večjih korozijskih izjed, celo interkristalne korozije, zaradi prebitka Si. Na površini so lahko prisotne tudi izjede v obliki krast (lamelarna korozija).

Zlitine vrste Al–Cu in Al–Zn–Mg–Cu imajo precej slabšo obstojnost v morski vodi. Plošče iz tovrstnega materiala debeline 6 mm so zaradi pittinga perforirane že v nekaj letih. Takšen material je potrebno protikorozijsko zaščititi.

7.1.5 Korozijska aluminija v kemikalijah

Ker ima aluminij visoko sposobnost pasivacije v oksidativnih medijih, s tvorbo dobro adherentnega pasivnega filma tipa Al_2O_3 , je obstojen v koncentraciji HNO_3 in H_2SO_4 , pa tudi v nekaterih kislih vodnih raztopinah v pH območju med približno 4 in 9.

Aluminij in njegove zlitine nimajo dobro korozijsko odpornost v nekaterih alkalijah. Raztopine natrijevega in kalijevega hidroksida zelo agresivno delujejo na aluminij. Kalcijev hidroksid je manj agresiven zaradi formiranja Ca aluminatnega filma. Vendar pa korozijska kljub vsemu napreduje in tovrstne poškodbe aluminija v gradbeništvu so zelo razširjene.

Amonijev sulfid, ki deluje alkalno na aluminij, ga ne napada. Zato se v vročih amonijevih tekočinah, katere vsebujejo sulfide, uporablja oprema iz aluminija.

Na in K povzročajo delno korozijsko aluminija v odvisnosti od koncentracije ter temperature. Razredčene te vrste raztopine se lahko inhibirajo z dodatki silikatov. Raztopina bikarbonata pa ima po drugi strani korozijski učinek na aluminij že pri sobni temperaturi.

7.1.6 Korozijska aluminija v kontaktu z gradbenim materialom

Sveži beton zaradi visoke pH vrednosti povzroča zelo hitro korozijsko aluminija, ki pa je le površinskega karakterja. Če je beton vlažen, se izlužuje, kar povzroča stalno korozijsko aluminija. V suhih prostorih je kontakt aluminij – beton nepomemben.

Korozijska v kontaktu z betonom je še posebej nevarna na zgradbah v bližini morja, zaradi povečanja prevodnosti korozijskega medija, spremembe njegovega korozijskega potenciala in predvsem zaradi delovanja kloridov, kot depasivatorjev.

7.1.7 Zaščita aluminija pred korozijo

Korozijo aluminija je možno omejiti ali preprečiti s sledečimi ukrepi:

- izbira korozijsko odpornejših Al zlitin,
- boljša konstrukcijska zasnova in izvedba,
- katodna zaščita z uporabo žrtvenih anod in z zunanjim izvorom toka,
- platiranje korozijsko slabših, toda trdnostno boljših zlitin s korozijsko odporno Al zlitino,
- površinska zaščita z organskimi nanosi, anorganskimi in s kovinskimi prevlekami,
- uporaba inhibitorjev,
- sprememba okolja,
- uporaba nekovinskih prekritij

7.2 KOROZIJA BAKRA

Baker združuje dobro korozijsko odpornost z odlično preoblikovalnostjo in električno ter toplotno prevodnostjo in zaradi tega je njegova uporabnost vsestranska. Je žlahtnejši od vodika na skali redoks potencialov, kar pomeni, da spada med žlahtnejše kovine. V kontaktu z bakrom korodirajo vse kovine, ki imajo negativnejši potencial.

V medijih, ki ne vsebujejo kisika je povsem inerten. V prisotnosti kisika se razvija močan korozijski napad, ki je še pospešen s Cl^- ioni in upadanjem pH vrednosti.

Baker je odporen v :

1. Morski vodi,
2. Sladkih, vročih ali hladnih vodah in če ne vsebujejo manjšo količino prostega CO_2 ,
3. Vročih ali hladnih raztopinah H_2SO_4 , H_3PO_4 ali v drugih kislinah, ki niso oksidativne,
4. V kontaktu s halogeni pod določenimi pogoji,
5. V kontaktu z betonom ali maltami.

Baker ni korozijsko odporen na :

1. Oksidativnih kislinah kot so HNO_3 in vroča koncentrirana H_2SO_4 kislina,
2. $\text{NH}_4\text{OH} + \text{O}_2$, pri čemer se tvori kompleksni $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$,
3. V vodni raztopini z veliko hitrostjo gibanja. V korozivnih vodah z visoko vsebnostjo O_2 in CO_2 in majhno vsebnostjo Ca^{2+} Mg^{2+} je možna korozija tudi pri hitrostih pod 1,2 m/s,
4. V oksidativnih solih težkih kovin kot sta FeCl_3 in $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$,
5. H_2S , žveplu in nekaterih spojinah z žveplom.

Iz vsega tega je možno razumeti, da je kisik glavni povzročitelj korozije bakra. To je razumljivo, saj je depolarizacija na katodi z vodikom nemogoča, ker je redoks potencial bakra nad potencialom vodikove elektrode.

7.3 KOROZIJA SVINCA

V odsotnosti snovi, ki tvorijo zaščitne filme, svinec v določenem potencialnem področju intenzivno korodira skozi celotno področje pH vrednosti. V raztopinah, ki vsebujejo CO_2 pa je svinec odpornejši, saj tvori pasivne filme.

Svinec intenzivno korodira v vlažnem betonu.

Svinec je odporen v :

1. V mnogih kislinah,
2. V vseh atmosferah,
3. Morski vodi,
4. Kloriranih medijih .

Svinec ni odporen v sledečih medijih :

1. HNO_3 , < 70 % koncentracij,
2. HCl ,
3. Koncentrirana H_2SO_4 , >96 %, sobna temperatura,

4. Alkalije, vlažen beton in malte,
5. Mnoge aerirane organske kisline.

8 ZAŠČITA KOVIN PROTI KOROZIJI

Kovino lahko zaščitimo proti koroziji z več različnimi načini in postopki (mehanski postopki, legiranje, umetno ustvarjanje oksidne plasti, površinska zaščita s kovinskimi prevlekami, površinska zaščita z nekovinskimi prevlekami).

Zaščita kovinski površin s kovinskimi in neorganskimi kemičnimi prevlekami, z barvami in laki, je lahko zelo učinkovita, ni pa univerzalna. Nekateri manj dostopni deli konstrukcij niso najboljše zaščiteni, na mnogih konstrukcijah pa sta tudi kontrola in vzdrževanje pogosto ovirana ali celo onemogočena (cevovodi vkopani v zemljo, kabli, pristaniščne naprave, ladje, rezervoarji, različne naprave v kemični industriji).

Hitrost korozije kovin v elektrolitu se zmanjšuje, če se elektrodni potencial približuje ravnotežnemu potencialu. Znižanje hitrosti ali celo prenehanje delovanja korozije je posledica polarizacije elektrodnih procesov na površini kovine. Navedena polarizacija pa se lahko doseže s tem, da se konstrukcija spoji s pozitivnim ali negativnim polom istosmernega toka, ki se uriva s pomočjo nekega zunanega izvora, pa tudi s spajanjem z neko drugo kovino, ki ima drugačen elektrokemičen potencial kot konstrukcija. Na ta načina se tvori galvanski člen. Na tej osnovi je zasnovana elektrokemična zaščita kovinskih konstrukcij v nekem elektrolitu. V odvisnosti od tega, katero elektrodo predstavlja kovina, ki se ščiti, ločimo anodno in katodno zaščito.

8.1 MEHANSKI POSTOPKI

Odpornost proti koroziji nekega kovinskega predmeta je tem večja, čim gladkejša je njegova površina. Zaradi tega zmanjšamo možnost korozije tudi z mehanskimi postopki, tako da napravimo površino čim bolj gladko. S tem pa se ne zaščiti predmet proti koroziji ampak poveča le njegovo odpornost.

8.2 LEGIRANJE

S primernim legiranjem z drugimi kovinami lahko napravimo razne kovine odpornejše proti koroziji ali celo za korozijo neobčutljive. Če dodamo jeklu 13 % kroma, dobimo proti atmosferskim vplivom neobčutljivo jeklo, če pa dodamo jeklu 18 % kroma in 8 % niklja, dobimo jeklo, ki je odporno proti atmosferskim vplivom kakor tudi proti kislinam (žveplena kislina...).

8.3 USTVARJANJE OSKIDNE PREVLEKE

8.3.1 Kemični postopki

Bruniranje: je kemični postopek zaščite proti koroziji. S tem postopkom ustvarimo na površini predmeta umetno oksidno plast, ki ga nato ščiti pred nadaljnjo korozijo. Predmet damo v kopel, ki je sestavljena iz 20...40 % natrijevega luga z majhnim dodatkom natrijevega nitrida. Pri tem se površina prevleče s tanko črno plastjo. Obstočnost take plast je zelo velika. Slabost je v tem da je zelo tanka in zaradi tega taka zaščita včasih ni zadovoljiva.

Fosfatiranje: je kemični postopek s katerim dosežemo zaščito proti koroziji, tako da ustvarimo na površini kovine oksidno plast s fosforovo kislino (H_3PO_4). Pri te se tvori na površini kovine kovinski fosfat kot zaščitna plast. Taka plast je precej groba in luknjičasta ter vpija organske snovi. To izkoristimo tako, da prevlečemo površino z olji, maščobami ali laki, ki napravijo površino gladko in odporno. Postopek uporabljamo za zaščito vijakov, matic, orodja ...

Oksidne prevleke za aluminijem in njegovimi zlitinami: aluminij se prevleče na zraku z oksidno plastjo. Taka oksidna plast je zelo tanka, njena debelina 0,2 mikrometra. Takšna zaščitna plast zadostuje za zaščito aluminija in njegovih zlitin pred ne preveč agresivnimi snovmi. Jo pa lahko še ojačimo z različnimi premazi (laki in vodnim steklom).

8.3.2 Elektrokemični postopki

Elektrokemični postopki oksidacije se uporabljajo več in več. Oksidna plast, ki jo dobimo z elektrokemičnimi postopki, je močnejša in trajnejša od oksidnih plasti, ki jih dobimo s kemičnimi postopki.

Eloksiranje aluminija: je elektrolitično oksidiranje aluminija. Kakor pove že samo ime, ga uporabljamo za zaščito aluminija. Posamezne kose potopimo v kopel z razredčeno žvepleno ali oksalno kislino in jih izpostavimo delovanju električnega toka. Po 20 ... 60 min nastane na površini oksidna plast, debela od 2 do 6 mikrometrov. Ta plast je zelo odporna proti koroziji. Razen tega je oksidna plast zelo trda in zaščiti površino sicer mehkega aluminija pred obrabo. Oksidna plast je tudi dober električni izolator in je odporna proti temperaturi do 400 °C. Površina oksidne plasti je zelo groba. Če pa jo premažemo z laki, dobimo gladko površino.

Eloksiranje magnezija: je električno oksidiranje magnezija, uporabljamo ga za eloksiranje magnezija in njegovih zlitin. Posamezne kose potapljamo v kopel v kateri je razredčena soliterna kislina.

Tako eloksiran magnezij in tudi aluminij uporabljamo za različne dele v letalski industriji in industriji prevoznih sredstev.

8.4 POVRŠINSKA ZAŠČITA S KOVINSKIMI PREVLEKAMI

Pri zaščiti s kovinskimi prevlekami razlikujemo več različnih postopkov :

- a) postopek, pri katerem potapljammo kovinske predmete v raztaljeno kovino
- b) postopek galvaniziranja,
- c) postopek platiranja,
- d) postopek z difuzijo,

8.4.1 Potapljanje predmeta v talino

Pri tem postopku zaščitimo predmet tako, da ga potopimo v kopel raztaljene kovine. Za to uporabljamo kovine, ki so zelo odporne proti koroziji. Postopek je primeren za kovine, ki imajo nizko tališče kakor kositer cink in svinec.

Kositrenje: uporabljamo večinoma za jekleno pločevino. Uporabljamo jo za prehrambeno industrijo.

Jekleno pločevino najprej dobro očistimo. Na njej se nahajajo razne nečistoče kakor so olje, mast in različni oksidi. To odpravimo z luženjem in naknadnim izpiranjem v vodi. Šele dobro očiščeno pločevino potapljammo v kopel (temperatura kopeli znaša med 250....280°C) z raztaljenim kositrom. Kopel zaščitimo pred oksidacijo tako, da jo prekrijemo s soljo.

Cinkanje: uporabljamo prav tako kakor kositrenje za zaščito jeklene pločevine. Kositer je namreč predrag, zato ga zamenjamo, kjer je to mogoče, s cinkom ali svincem. S pocinkanjem dosežemo zaščito predvsem proti atmosferskim vplivom in vodi.

Tudi pri cinkanju najprej pločevino dobro očistimo z luženjem in naknadnim izpiranjem z vodo. Cinkova kopel ima temperaturo, med 430...450°C. Na površini jeklene pločevine se tvori najprej zlitina železa in cinka in nad njo plast cinka, ki je trda in krhka. Zaradi tega naj bo plast čim tanjša.

Svinčenje: uporabljamo za dele, ki naj bodo odporni proti žveplu, žveplenim spojinam ter param, ki ne vsebujejo kislin. Take dele uporabljamo pogosto v industriji najrazličnejših aparatov za kotle za kisline, za vodovodne cevi ...

8.4.2 Galvaniziranje

Dobre kovinske prevleke dobimo z galvaniziranjem. Skozi kovinsko kopel spustimo električni tok, ki povzroči razpadanje v kopeli vezanih kovinskih delcev. Ti delci se usedejo pod vplivom električnega toka na katodo. Galvanske prevleke dobimo tako, da obesimo predmete kot katode v galvansko kopel, ki vsebuje primerno aol zaščitne kovine. Za anodo pa so v rabi plošče enake kovine kakor je v kopeli ali pa kakšna netopljiva snov. Prednosti galvaniziranja so majhna poraba kovine, enakomerno debele plasti, splošna možnost uporabe tudi pri kovinah z visokim tališčem, trdnost prevleke in ekonomičnost. Pomanjkljivosti pa so poroznost prevlek in natančno delo s kopeli.

V industriji uporabljamo galvanske prevleke z nikljem, kromom, kadmijem, cinkom bakrom, kositrom, srebrom, zlatom, platino ter zlitinami baker- cink, baker-kositer.

Nikljanje: je eden najstarejših postopkov galvaniziranja. Predmet najprej temeljito očistimo, nato ga potopimo v kopel, ki sestoji iz nikljevega sulfata, cintronske kisline in različnih drugih dodatkov. Temperatura kopeli je med 35...60°C. Ko spustimo skozi kopel električni tok razpade nikljev sulfat na nikelj in žvepleno kislino, pri čemer se usede nikelj na katodo v obliki tanke prevleke (debelina 0,1 do 0,25 mm).

Z nikljanjem dobimo zaščitno plast, ki je zelo odporna proti koroziji. Razen tega dobi ponikljan predmet zelo gladko površino.

Trdo kromanje: uporabljamo predvsem pri najrazličnejših merilih in merilnih napravah, orodjih itd.. Predmete najprej očistimo, tako da jih pomakamo v trikloroetilen in izpiramo nato v vodi. Za trdo kromanje moramo površino predmeta primerno pripraviti. To napravimo z anodnim postopkom, tako da namakamo predmet v posebni kopeli, kjer dobi grobo površino.

Groba površina je potrebna zaradi zaščitne plasti, ki se zaradi nje predmeta bolj prime. Šele tako pripravljen predmet lahko nato pokromamo. Kopel za kromanje sestoji iz kromove kisline z dodatki žveplene kisline in ima 32...42°C. Za kromanje uporabljamo električni tok jakosti 1000...1500 A/m² pri napetosti 2...3V. Pod vplivom električnega toka razpade kromova kislina in krom se useda na katodo v obliki tanke prevleke.

Kadmiziranje: s postopkom galvanskega kadmiziranja se dobi poleg cenejše zaščitne plasti še zelo dobro površinsko zaščito. Zaščitna plast iz kadmija nanescena z galvanskim postopkom, ima zelo veliko obstojnost pri višjih temperaturah, vlažnem zraku ali celo solni meglici. Za kadmiziranje uporabljamo kopel iz ciannatrija in kadmijevega oksida ter električni tok jakosti 150...250 A/m² pri napetosti 2...5 V.

Galvansko cinkanje: pri tem postopku se predmet namaka v kopeli, ki se sestoji iz cinkovega sulfata, aluminijevega sulfata in nekaj žveplene kisline ali ciancinka, ciannatrija in dodatkov. Za galvansko cinkanje uporabljamo električni tok jakosti 200...300 A/m². Predmeti dobijo zaščitno plast iz cinka, ki ima odlično obstojnost proti koroziji in ki je znatno trša od kadmijeve zaščitne plasti.

Galvansko bakrenje: pri tem postopku uporabljamo kopel iz cianbakra, ciankalija ali ciannatrija in sode z dodatkom nekaj žveplene kisline. Z delovanjem električnega toka dobimo na predmetu tanko plast iz elektrolitskega bakra. Predmete pobakrimo na mestih, kjer ne želimo predmeta površinsko obogatiti z ogljikom.

8.4.3 Difuzijski način prevlačenja

Zasnovan je na difuziji druge kovine ali zlitine v površinski sloj predmeta pri visoki temperaturi. Pri tem načinu tudi obstaja več vrst različnih načinov, ki so odvisni od kovine oz. zlitine, ki jo uporabljamo.

Difuzija kroma: postopek poteka tako, da izpostavimo predmet iz jekla delovanju kromovega klorida. Postopek poteka pri temperaturi 1000 °C in traja 5 do 6 ur. Na površini predmeta nastane železov klorid (FeCl₂), tako da se izločijo iz površine atomi železa. Pri tem se sproš-

čajo atomi kroma, ki difundirajo v površino in zamenjujejo atome železa. Nastala plast na površini vsebuje 35 % kroma in je odporna proti najmočnejšim kemičnim vplivom.

Alitiranje: pri tem postopku se zaščiti površino z aluminijem. Znanih je več različnih načinov, ki se razlikujejo med seboj po sestavi mešanice, v kateri se alitira, po temperaturi in atmosferi. Navadno uporabljamo okrog 49% Al_2O_3 v prahu, 49% Al ali zlitine FeAl v prahu in 2% salmiaka (NH_4Cl). Predmete se zakoplje v ta prah, ki je v pločevinastih posodah. Nato se vse skupaj segreje do temperature 975 do 1000°C in drži nekje od 5 do 6 ur in nato počasi hladi do temperature 400 do 500°C. Nato se predmet ohladi na okoliško temperaturo in ponovno zakoplje v zmes peska in lesenega oglja, ki je v posebni pločevinasti posodi in nato se segreje do temperature okrog 900°C. Pri tej temperaturi pustimo posode s predmeti 3 ure. Tako se dobi globlji in trdnjši difuzijski sloj.

Šerardiziranje: pri tem postopku se uporabi difuzija cinka v železu. Predmete se segreva v kremenovem pesku, ki se mu primeša cink v prahu, do temperature okrog 400°C.

Metaliziranje: je postopek nanašanja kovinskih prevlek na površino predmeta z razprševanjem raztaljene kovine s posebno razpršilno pištolo. Prašek ali žica kovine, ki naj površinsko zaščiti nek kovinski predmet, prihaja skozi šobo take pištole in se v plamenu plina ali električno raztali in s stisnjenim zrakom razprši po predmetu.

8.4.4 Platiranje

Je mehanski postopek pokrivanja ene kovine z drugo. Kovine platiramo zaradi zaščite kovine pred korozijo ali zaradi posebnih lastnosti, ki jih lahko dosežemo s spajanjem dveh kovin. Pri platiranju se navalja tanko plast iz proti koroziji odporne kovine ali zlitine na osnovo, ki je lahko manj odporna. Zaščitna plast je uvaljana na osnovo z močnimi pritiski, tako da sta med seboj zavarjeni in tvorita neločljivo celoto.

Kot osnovni material za platiranje se uporablja vsa legirana in nelegirana jekla, ki se dajo variti s talilniškimi postopki varjenja. Za platiranje pa se uporabljajo najrazličnejše kovine in zlitine (baker, nikelj, srebro, zlitine niklja in bakra, zlitine bakra in cinka, nerjavna jekla, proti visokim temperaturam odporna jekla, proti obrabi odporna jekla, itd.).

8.5 POVRŠINSKA ZAŠČITA Z NEKOVINSKIMI PREVLEKAMI

Nekovinske snovi, ki jih uporabljamo za površinsko zaščito kovin, delimo v dve skupini :

- a) *nekovinske prevleke anorganskega izvora*
- b) *nekovinske prevleke organskega izvora*

8.5.1 Nekovinske prevleke anorganskega izvora

Emajli: so najvažnejše prevleke te vrste. Zaradi razmeroma zelo visoke talilne temperature so uporabni samo za kovine z visokim tališčem. Poznani so emajli za lito železo in emajli za jekleno pločevino. Emajli so lahko barvni ali pa nebarvni. Njihove glavne sestavine so iz naravnih materialov. Tej materiali se delijo v minerale, ki tvorijo steklo in pomožne materiale. Steklo tvorijo SiO_2 , B_2O_3 , Al_2O_3 , Na_2O , CaO , MgO , PbO in boraks. Pomožni materiali se uporabljajo kot talila (CaF_2 in kreolit, barvila in sredstva za boljše spajanje emajla z jekleno pločevino ali litim železom).

Emajliramo lahko po vlažnem in suhem postopku.

Emajlirane prevleke imajo veliko obstojnost proti koroziji, so zelo odporne proti visokim temperaturam in kemičnim vplivom. Njihova slabost je v tem, da so zelo trde in krhke in zaradi tega zelo občutljive proti udarcem in rade pokajo.

Cementne prevleke: so prav tako organskega značaja in se jih uporablja za zaščito litih in jeklenih cevi in železobetonskih konstrukcij.

8.5.2 Nekovinske prevleke organskega izvora

Oljni premazi in premazi z mastmi: zaščitijo lahko kovine le prehodno. Uporabljajo se za zaščito pri vskladiščenju med posameznimi fazami obdelave ali med prevozom. Za zaščito uporabljamo le olja in masti, ki so mineralnega izvora. Masti in olja rastlinskega ali živalskega izvora postanejo kisla.

Barvni premazi: sestojijo iz barve in veziva. Za barve se uporabljajo lahko cinkov oksid, cinkov kromat ali železov oksid ter druga anorganska barvila. Za vezivo se uporablja laneno olje in firnež. Take barvne premaze se uporablja pred vsem za barvanje jeklenih konstrukcij.

Laki: za zaščito kovin se lahko uporabljajo najrazličnejši laki. Poznani so oljni laki, ki so sestavljeni iz olja, smole in topil ter se uporabljajo za zaščito lesa, konzerviranih škatel, pločevinaste posode itd.. Nitrocelulozni laki so sestavljeni iz nitroceluloze in topil. Drugi nitroceluloznih lakov so smole in omehčevalci, ki napravijo film prožen in odporen proti pokanju. Dobra stran takih lakov je hitro sušenje (uporabljajo se za barvanje avtomobilov in drugih transportnih sredstev).

8.6 ANODNA ZAŠČITA

Če se kovinska konstrukcija spoji s pozitivnim polom istosmernege toka, ali z neko drugo kovino, katere elektrokemični potencial je pozitivnejši od kovine konstrukcije, se tako formirana anoda v začetni fazi sicer odtaplja, kasneje pa prehaja v pasivno stanje. Hitrost nastajanja pasivnih filmov mora biti torej dovolj velika. Zato tako polarizirano kovinsko konstrukcijo pravimo, da je anodno zaščitena.

Anodna zaščita ima precej omejene uporabe. Njena uporabnost je možna v oksidativnih medijih in v odsotnosti različnih ionov, ki rušijo pasivni film. Pomanjkljivost te zaščite je tudi v tem, da se razmeroma enostavno preide v transpasivno stanje, ki pelje do rušenja pasivnosti in pojava korozije.

8.7 KATODNA ZAŠČITA

Če spajamo konstrukcijo z negativnim polom istosmernega toka, katerega producira nek zunanji izvor, govorimo o katodni zaščiti (elektrozaščiti), če pa spajamo konstrukcijo z galvanskimi anodami, potem govorimo o protektorski zaščiti.

Princip katodne zaščite :

Če se na površini kovine, ki je v kontaktu z elektrolitom, pojavijo lokalne razlike v potencialih se bo formiral galvanski člen, pri katerem teče korozijski tok od anode k katodi. Na anodni površini kovina prehaja v ionsko stanje (oksidacija). Jakost električnega toka tako nastalega galvanskega člena I_L je odvisna od velikosti elektrodnih potencialov in omskega upora člena.:

$$I_L = (\phi_K - \phi_A) / (R_K + R_A)$$

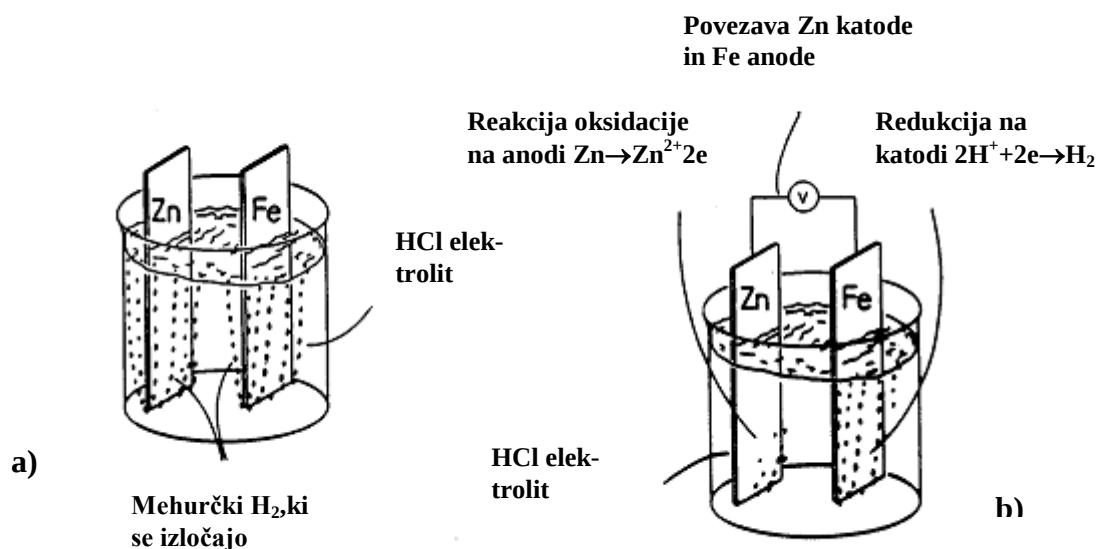
ϕ_K in ϕ_A : predstavljata elektrodni potencial katode in anode

R_K in R_A : predstavljata omsko upornost na katodi in anodi

Iz enačbe je razvidno, da bo jakost toka lokalnega galvanskega člena tem večja, čim večja bo potencialna razlika med katodo in anodo in čim večja bo upornost na obeh elektrodni površinah. V času korozijskega procesa se potenciali spreminjajo. Če je prisotna tendenca k izenačevanju, potem korozija zamira. V praksi pogosto nikoli ne pride do popolne izenačitve

potencialov, kar pomeni, da korozija stalno napreduje z večjo ali manjšo hitrostjo. Izenačevanje potencialov se lahko doseže z katodno zaščito.

Slika 31: shema konstrukcije, ki lokalno korodira zaradi lokalnega galvanskega člana in katodno zaščitene konstrukcije, z zunanjim izvorom istosmernege toka, oz. z žrtevno anodo (protektorjem).



Vir: Maribor[19]

slika 32: korozijska zaščita z žrtevno anodo

Če je stikalo izklopljeno ($I = 0$), bo kovina korodirala zaradi omenjenega lokalnega galvanskega člana. Če pa je tokokrog sklenjen, bo stekel tok proti pomožni anodi in od tod skozi elektrolit na kovino, katero je potrebno zaščititi. Minimalna jakost zaščitnega toka, ki je potrebna za polarizacijo, to je za izenačenje potenciala anode in katode, mora biti enaka ali večja od maksimalne jakosti toka sistema, ki korodira.

Pri katodni zaščiti so prisotne določene omejitve, ki vplivajo na kvaliteto. Te omejitve so :

- Obvezno je potreben elektrolit, ki mora biti v direktnem kontaktu s celotno površino, ki se ščiti
- Sloj elektrolita mora omogočiti enakomerno porazdelitev zaščitnega toka po celotni površini
- Geometrijska oblika konstrukcije naj bo takšna, da omogoča enakomerno gostoto toka po površini
- Katodna zaščita mora biti ekonomična in pravilno izvedena, da bi bila učinkovita in ne nevarna za ljudi

Zaščitni potencial polarizacije kovine katero želimo katodno zaščititi, se nahaja v negativnem področju potencialov. Vsa anodna področja, pri katerih poteka odtapljanje kovine, se torej v takšnem primeru polarizirajo do teh negativnih potencialov.

Zaščitni potencial katodne polarizacije se določa glede na statični potencial konstrukcije, katera se ščiti. Ta statični potencial pa je odvisen od vrste materiala, konstrukcije, njene oblike, stanja površine in predvsem od vrste temperature elektrolita.

Katodna zaščita na osnovi galvanskih anod (protektorji) temelji na istih principih. V tem primeru je protektor kratko stično spojen s kovino, ki se ščiti. Ker ima protektor nižji korozijski potencial kot konstrukcija, ki se ščiti, intenzivno korodira in oddaja elektrone, kateri povzročijo negativno zunanjo polarizacijo konstrukcije in s tem katodno zaščito.

Magnezijske galvanske anode so najbolj razširjeni protektorji. Pogosto se uporabljajo tudi cinkove anode, medtem ko aluminijeve anode še niso našle svoje pravo mesto.

9 ZAKLJUČEK

Korozija lahko povzroča prekinitev proizvodnje, zmanjšanje varnostni in zanesljivosti pri uporabi ter rokovanju z toksičnimi, eksplozivnimi, vnetljivimi ali radioaktivnimi snovmi, neprijeten estetski izgled proizvoda in opreme ter je tudi lahko krivec za velike ekološke katastrofe. Vse to po se da preprečit z pravilnim vzdrževanjem in kontrolo.

Smisel korozijskih raziskav in testiranja je, da se ugotovi dejanska korozijska odpornost različnih kovin in njihovih zlitin v različnih korozijskih medijih. Takšno selekcioniranje materiala omogoča pravilno konstruiranje in dimenzioniranje različnih izdelkov, z definirano življenjsko dobo.

Vzporedno z razvojem raziskav, testiranja in metalurgije, ki razvija nove uporabniške zlitine se razvija tudi premazna industrija . Slednja se je cepila v več močno specializiranih področji, med katerimi je eno najpomembnejših področje protikorozijskih premazov. Z dobro izbranim sistemom protikorozijske zaščite, kvalitetno pripravljene površine in ustrezne aplikacije premazov.

10 LEITERATURA:

KNJIGE:

1. Faganelli, Jadran: Kemija v pomorstvu, Fakulteta za pomorstvo in promet,1997 .
2. I. Esih, Z.Dugi: Tehnologija zaštite od korozije, Vježbe iz konstrukcijskih materijala i zaštite,1991.
3. Leskovar, Polde: Tehnologija gradiv 1 in 2, Fakulteta za strojništvo,1971.
4. Vehovar, Leopold: Korozija kovin, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo,1989.

SPLETNE STRANI:

5. spletna stran šolskega centra Celje, www.s-sc.ce.edus.si/igor_lah/graslide5.ppt
6. spletna enciklopedija Wikipedia, sl.wikipedia.org
7. spletna stran Povhe navtika , www.povhenavtika.4mg.com
8. spletna stran podjetja Hermi, www.hermi.si
9. spletna stran akademske in raziskovalne mreže Slovenije, www2.arnes.si
10. spletna stran podjetja Helios,www.helios.si
11. spletna stran fakultete za strojništvo maribor, <http://fs-server.uni-mb.si>
12. spletna stran revija Navtika Kapital, www.revijakapital.com
13. spletna stran fakultete strojarstva i brodogradnje Zagreb, www.fsb.hr
14. spletna stran kataloga standardnih odljevaka, <http://dang.hr>
15. spletna stran podjetja Belzona, www.belzona.hr
16. spletna stran podjetja Chemcolor, www.chemcolor.si
17. spletna stran pomorske fakultete v Rieki, www.pfri.hr
18. spletna stran podjetja American Iron & steel institute , www.autosteel.org
19. spletna stran učenja na daljavo Maribor, <http://qube.s-gess.tb.edus.si>
20. spletna stran corrosionclinic, www.corrosionclinic.com

11 SEZNAM SLIK

<i>Slika 1: potopitev potniške ladje Herald</i>	<i>1</i>
<i>slika 2: Potopitev platforme P-36</i>	<i>1</i>
<i>slika 3: potopitev ladje zaradi korozije.....</i>	<i>2</i>
<i>slika 4: osnovna oblika galvanskega elementa</i>	<i>8</i>
<i>slika 5: krivulja anodne polarizacije</i>	<i>9</i>
<i>slika 7: prikaz splošne oz. enakomerne korozije</i>	<i>14</i>
<i>slika 8: prikazuje različne vrste korozije</i>	Error! Bookmark not defined.
<i>slika 10: prikaz korozije v špranji</i>	<i>17</i>
<i>slika 14: interkristalna korozija</i>	<i>24</i>
<i>slika 17: razporeditev kroma v bližini kristalnih mej</i>	<i>26</i>
<i>slika 19 : prikaz različnih vrst razcinkanja</i>	<i>29</i>
<i>slika 20: prikazuje korozijsko poškodbo kolena zaradi delovanja curka tekočine</i>	<i>30</i>
<i>slika 21: prikaz erozijske korozije</i>	<i>31</i>
<i>slika 22: prikaz napetostnega korozijskega pokanja</i>	<i>33</i>
<i>slika 23: prikazuje različne korozijske medije, značilni za korozijo kovin in njihovih zlitin.....</i>	<i>34</i>
<i>slika 24: prikazuje vpliv relativne vlažnosti zraka na hitrost korozije železa</i>	<i>36</i>
<i>slika 25: prikazuje vpliv različnih legirnih elementov na hitrost korozije malogljčenega jekla .</i>	Error!
Bookmark not defined.	
<i>slika 26: prikazuje korozijske poizkuse v morski vodi za preiskovana jekla</i>	<i>40</i>
<i>slika 27: prikazuje izgubo mase korozijskih vzorcev</i>	<i>40</i>
<i>Slika 28: Korozija jekla v morski vodi.....</i>	Error! Bookmark not defined.
<i>slika 29: prikazuje da z naraščanjem vsebnosti kroma v jeklu pada korozijska hitrost zaradi tvorbe pasivnega filma</i>	<i>47</i>
<i>slika 30: prikazuje da z naraščanjem vsebnosti kroma v jeklu pada korozijska hitrost zaradi nižanja temperature.....</i>	<i>49</i>
<i>slika 31: korozijska zaščita z žrtveno anodo</i>	<i>75</i>

12 SEZNAM TABEL

<i>Tabela 1: najbolj poznane konstrukcijske kovine</i>	<i>7</i>
<i>Tabela 2: zlitine testirane glede na odpornost proti koroziji v špranji</i>	<i>17</i>
<i>Tabela 3: koncentracija Cl ionov</i>	<i>20</i>
<i>Tabela 4: vpliv legirnih elementov v nerjavnih jeklih na pitting korozijo</i>	<i>22</i>
<i>Tabela 5: korozijski mediji, ki povzročajo interkristalno korozijo</i>	<i>27</i>
<i>Tabela 6: koncentracija soli v morjih</i>	<i>41</i>
<i>Tabela 7: raztapljanje kisika v morski vodi</i>	<i>42</i>
<i>Tabela 8: hitrost korozije pri različnih globinah izpostave</i>	<i>43</i>
<i>Tabela 9: tipi in kemična sestava nerjavnih jekel za včelenje</i>	<i>45</i>
<i>Tabela 10: maksimalna delovna temperatura za različna nerjavna jekla</i>	<i>53</i>

