

NAPETOSNA KOROZIJA

Horvat M.¹, Samardžić I.², Kondić V.¹

¹Veleučilište u Varaždinu, Varaždin, Hrvatska

²Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Slavonski Brod, Hrvatska

Sažetak: Napetosna korozija je vrlo neugodan lokalni korozijski proces koji do danas u cijelosti nije obrađen i razjašnjen. Radi se o korozijskom fenomenu koji najčešće vrlo lagano interkristalno ili transkristalno razara strukturu materijala i nerijetko iznenada dovodi postrojenja izvan upotrebe.

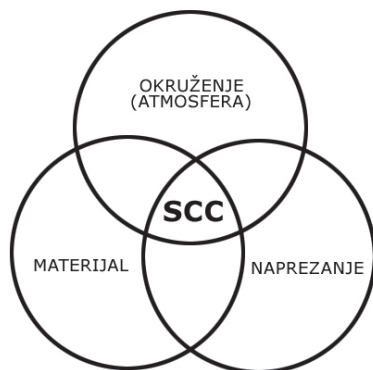
Ključne riječi: korozija, napetosna korozija, konstrukcijski materijali

Abstract: Stress corrosion cracking is a very troublesome local corrosion process that has still not been fully addressed and understood. It is a corrosion phenomenon, which usually quite easily destroys the structure of materials which show intergranular or transgranular crack patterns; this often results with plants out of service.

Key words: corrosion, stress corrosion cracking, construction materials

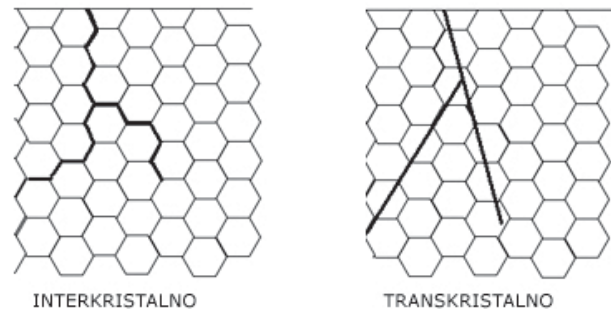
1. OPĆENITO O NAPETOSNOJ KOROZIJI

Napetosna korozija (eng. SCC – Stress Corrosion Cracking) je selektivni oblik korozije koji nastaje u tehničkim materijalima zbog istodobnog djelovanja okoline, eksploatacije, mehaničkih naprezanja te korozijskih reakcija [1, 2, 3].



Slika 1. Čimbenici koji utječu na pojavu napetosne korozije [3]

Napetosnu koroziju izazivaju vlačna naprezanja koja su češće unutarnja (zaostala) nego vanjska (nametnuta), a uglavnom su posljedica zaostalih naprezanja zbog hladne deformacije ili zavarivanja u okolini povišene temperature, tlaka i opasnih otopina koje sadrže halogenide, kloride alkalnih i zemnoalkalnih metala, sumporovodika i sl. Pukotine napreduju okomito na smjer vlačnog naprezanja, a šire se interkristalno i transkristalno (slika 3.).



Slika 2. Načini širenja pukotina kod napetosne korozije [4]

Iako se napetosna korozija najčešće veže uz nehrđajuće čelike, ovaj tip korozije javlja se i u drugim materijalima i njihovim legurama, ali i u tehničkim materijalima kao što su polimeri, staklo, keramika itd. [1, 3].

Vežano uz materijale kod kojih se pojavljuje te uz mehanizme u kojima nastaje, napetosna korozija dobila je i posebna imena kao što je npr. SSC – Sulphide Stress Cracking za napetosnu koroziju koja nastaje istodobnim djelovanjem sumporovodika (H_2S) i vlačnih naprezanja; "Season cracking" za napetosnu koroziju mjedi u agresivnoj okolini amonijaka ili "Caustic cracking" za kombinaciju čelika i jakih lužina.

2. POJAVA NAPETOSNE KOROZIJE

Korozijski procesi koji izazivaju napetosnu koroziju teško su uočljivi, a najčešće se javljaju tijekom eksploatacije. Rezultiraju velikim gubitkom mehaničke čvrstoće, kasnije i lomom, a sve to uz mali gubitak mase materijala. Srećom, za pojavu i nastanak napetosne korozije istodobno moraju biti ispunjena tri uvjeta (slika 3.) [3]:

1. Materijal sklon napetosnoj koroziji
2. Agresivni medij koji u kombinaciji s materijalom pogoduje nastanku napetosne korozije
3. Naprezanje

Napetosna korozija je relativno rijetka pojava (zbog uvjeta istovremenog djelovanja spomenutih faktora), ali štete koje nastaju njenim djelovanjem mogu biti velikih razmjera [3].



Slika 3. Čimbenici koji utječu na pojavu napetosne korozije [6]

Jedan od primjera je i rušenje mosta Silver Bridge preko rijeke Ohio koji se dogodio 1967. Godine, pri čemu je poginulo 46 ljudi koji su se u tome trenutku našli na mostu. Katastrofu je izazvala napetosna korozija spoja mosne konstrukcije i lanca mosta, a kao rezultat zaostalnih i vlačnih naprezanja, temperature i okoline. Nesreća je i dovela do inspekcije svih mostova u državi (slika 4.) [7].



Slika 4. Činitelji koji utječu na pojavu napetosne korozije[7]

Proces napetosne korozije možemo podijeliti u 4 glavne faze:

1. Inkubacija
2. Inicijacija pukotine
3. Prodiranje (propagacija) pukotine
4. Lom

Mnogo je mehanizama koji utječu na nastanak i razvoj napetosne korozije, ali ih možemo podijeliti u dvije glavne skupine [3]:

1. Anodni mehanizmi
2. Katodni mehanizmi

U samome procesu napetosne korozije oba mehanizma nastaju, a rezultat širenja pukotine povezujemo s jednim od njih. Mehanizmi koji u interakciji s materijalom uzrokuju napetosnu koroziju, a time i konačan lom kao posljednju fazu ovog tipa korozije, mogu biti sljedeći:

- apsorpcija medija u materijal
- reakcija površine materijala
- reakcije u pukotini materijala
- površinski slojevi i filmovi materijala

Spomenuti mehanizmi zasebno nisu dovoljni za nastanak i propagaciju napetosne korozije. Oni zahtijevaju međudjelovanje s raznim kemijskim procesima i reakcijama koji direktno utječu na brzinu širenja pukotine. Pojavom većeg broja mehanizama te procesa i reakcija koje pogoduju napetosnoj koroziji, brzina

propagacije napetosne korozije bit će veća neovisno o postojećem naprezanju [3]. Spomenute reakcije i procesi kojima je određena vrijednost i brzina propagacije pukotine u napetosnoj koroziji su:

- naprezanje
- reakcije otopina u blizini otopine
- površinska apsorpcija na pukotini ili u blizini pukotine
- površinska difuzija
- površinske reakcije
- volumenska apsorpcija
- volumenska difuzija u plastičnoj zoni prije nastanka pukotine
- kemijske reakcije
- veličina međuatomskih šupljina

Iz ovih procesa i reakcija vidljivo je da okolina eksploatacije ima veliki utjecaj na nastanak i širenje napetosne korozije preko sljedećih parametara:

- temperatura
- tlak
- vrsta otopine
- koncentracija otopine i njena aktivnost
- pH vrijednost
- elektrodni potencijal
- viskoznost otopine
- miješanje

Mijenjajući bilo koji od spomenutih parametara, proces nastanka i širenja napetosne korozije moguće je ubrzavati, usporavati ili zaustaviti [3]. Od mehanizama važno je istaknuti 3 koji su najčešći uzrok napetosne korozije:

1. Aktivno područje razaranja
2. Vodikova krhkost
3. Raspucavanje površinskog sloja (filma)

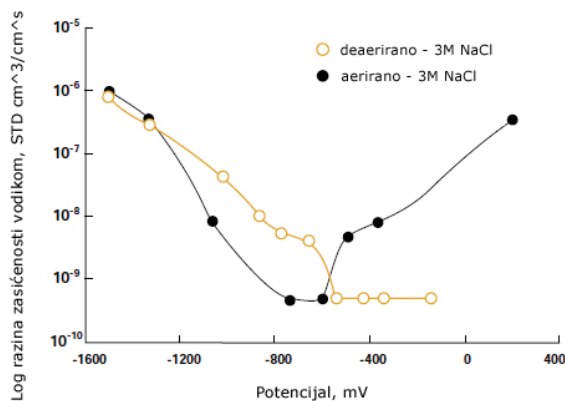
Napetosna korozija nije neizbježan proces, a za većinu metala u većini okruženja neće se ni pojaviti. Iz tog razloga moguće je identificirati specifične kombinacije metala i okoline (okruženja) koje mogu biti problem napetosne korozije [9].

3. UTJECAJ OKOLINE

Pojava vodikove krhkosti je proces koji nije čvrsto vezan uz utjecaj okoline (okoline koja izaziva napetosnu koroziju), već ga smatramo katodnom korozivskom reakcijom. Za razliku od vodikove bolesti, druga dva mehanizma nastajanja napetosne korozije (aktivno područje razaranja i raspucavanje površinskog sloja) ovise o utjecaju okoline (okruženja), te je ona osnovni uvjet za pojavu napetosne korozije. To je zato što nastajanje i širenje napetosne korozije direktno ovisi o specifičnim reakcijama okoline u samom vrhu pukotine i reakcijama unutar pukotine. Sa samo malim promjenama okoline jednu od ovih reakcija moguće je izbjeći, a samim time možemo izbjeći nastanak ili širenje napetosne korozije. Stoga ove zahtjeve smatramo korisnima jer pokazuju da napetosna korozija nije čest oblik korozije, ali istodobno otežavaju njeno otkrivanje [3, 8].

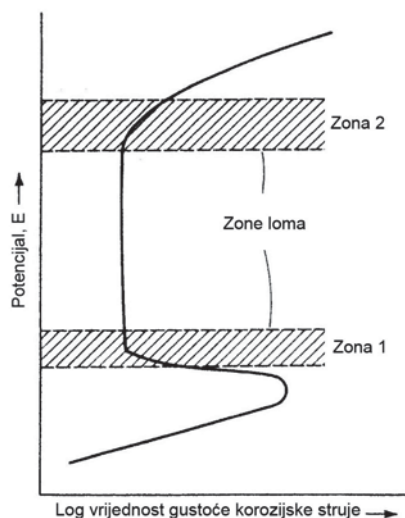
4. UTJECAJ ELEKTRODNOG POTENCIJALA

Elektrodni potencijal može imati važan utjecaj na nastanak napetosne korozije. Kod visokočvrstih čelika veći negativni potencijal pridonosi većoj topivosti vodika u metalu. Manje je poznato, no i potencijal veći od tipičnog slobodnog korozijskog potencijala također može povećati topivost vodika. Ovisnost vrijednosti elektrodnoeg potencijala i otapanja vodika u kristalnoj rešetki prikazana je slikom 5.



Slika 5. Utjecaj elektrodnoeg potencijala na ulazak vodika u kristalnu rešetku [8]

Elektrodni potencijal ima također značajan utjecaj kod materijala koji sami formiraju zaštitni sloj (npr. nehrđajući čelici, aluminij). Kod takvih procesa koroziju može pospješiti elektrodni potencijal veće vrijednosti od granične. Pukotina tada nastaje u zonama prijelaza potencijala (slika 6.). Zona 1 i 2 su zone u kojima nastaje transkristalna napetosna korozija, dok interkristalna napetosna korozija može nastati u širem rasponu vrijednosti potencijala. Zona 1 je zona prijelaza aktivne korozije u formiranje pasivnog sloja (filma), dok je zona 2 zona prijelaza iz pasivnog sloja u područje gdje pukotina može biti inicirana "pittingom" [8, 11].



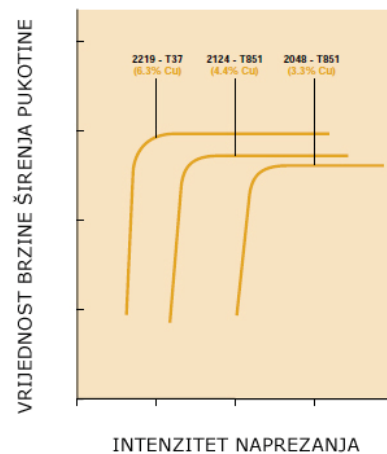
Slika 6. Utjecaj elektrodnoeg potencijala na osjetljivost prema napetosnoj koroziji [11]

Utjecaj elektrodnoeg potencijala u praksi najčešće ne kontroliramo direktno, već njegov utjecaj smanjujemo posredno utjecajem na okolinu.

5. UTJECAJ MATERIJALA

Sastav materijala (legure), mikrostruktura i toplinska obrada također utječe na razvoj napetosne korozije. Postoji nekoliko općih pravila koja određuju utjecaj čvrstoće materijala na napetosnu koroziju. Kada je mehanizam nastanka napetosne korozije vodikova krhkost, tada s povećanjem čvrstoće materijala raste i osjetljivost na napetosnu koroziju. Na materijalima kod kojih primjenjujemo plastičnu deformaciju, osjetljivost na napetosnu koroziju veća je ako je čvrstoća materijala manja.

Sasvim male promjene u kemijskom sastavu materijala mogu imati značajan utjecaj na osjetljivost prema napetosnoj koroziji. Slika 7. prikazuje utjecaj bakra (Cu) na vrijednost rasta pukotine u Al-Cu-Mg leguri. Male promjene u postotku koncentracije bakra imat će za posljednicu promjenu osjetljivosti legure prema koroziji, ali važno je napomenuti da će se isto tako promijeniti reakcija legure prilikom toplinske obrade [3, 8].



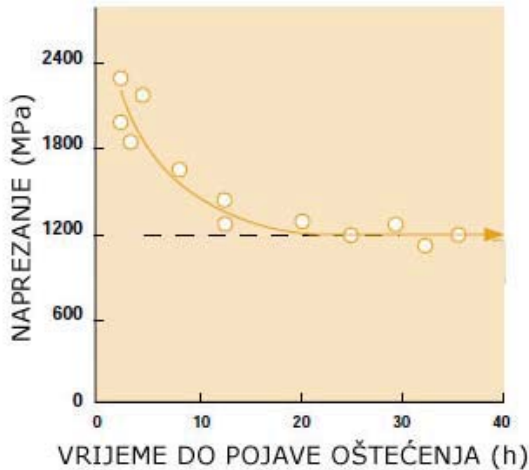
Slika 7: Utjecaj sadržaja bakra (Cu) na vrijednost brzine širenja pukotine [8]

Isto tako, primjena pojedinih legiranih elemenata ne znači nužno bolju otpornost na koroziju, jer dodavanje pojedinih elemenata može povećati osjetljivost prema nekom drugom obliku korozije (npr. legiranje molibdenom niskolegiranih čelika povećava sklonost prema kaustičnoj napetosnoj koroziji, a smanjuje osjetljivost prema karbonatnoj/bikarbonatnoj napetosnoj koroziji) [8].

Na napetosnu koroziju utječe i toplinska obrada. Najbolji primjer za to je austenitni nehrđajući čelik koji je podložan nastanku napetosne korozije u kloridnim okruženjima. Ovisno o termomehaničkim promjenama koje su izazvane na ovom materijalu, u istom agresivnom okruženju lom može biti transkristalni (normalni termomehanički tretman), interkristalni (senzibilizacija) ili pojava vodikove krhkosti (valjanje) [3, 8].

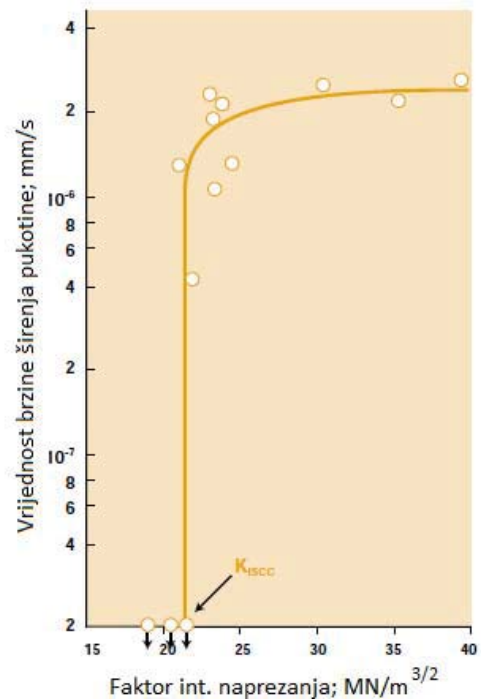
6. UTJECAJ NAPREZANJA

Naprezanje je jedan od nužnih čimbenika u napetosnoj koroziji. Čest je slučaj da je veličina narinutog naprezanja manja od veličine naprezanja koje može izazvati pukotinu i lom. Slika 8. prikazuje takvu pojavu na primjeru "maraging" čelika u okruženju 3,5% NaCl otopine. U primjeru je vrijednost rasta pukotine, pa u najgorem slučaju će biti takva da se konačan lom neće dogoditi u realnom vremenu.



Slika 8. Utjecaj naprezanja na vrijeme do pojave oštećenja za "maraging" u 3,5% otopini NaCl [8]

I kod ovako niskih vrijednosti narinutih naprezanja dolazi do napetosne korozije. Razlog tome su realni materijali koji sadržavaju pogreške u strukturi, loše dizajnirane konstrukcijske detalje, zaostala naprezanja zbog hladne deformacije ili zavarivanja te ostale pogreške koje mogu izazvati koncentraciju naprezanja. U tim zonama lokalno će razina naprezanja biti mnogo veća od nominalne koja izaziva nastanak i propagaciju pukotina. Zbog toga, umjesto mjerenja i određivanja vremena do nastanka kvara (pukotine) na nekom primjeru, određujemo vrijednost rasta pukotine (postojeće) u funkciji faktora intenziteta naprezanja pri vrhu pukotine. Slika 9. pokazuje rezultate takvog postupka. Rezultat grafa je granica ispod koje se pukotina neće širiti. Tu granicu nazivamo faktor intenziteta naprezanja i označavamo je s K_{ISSC} . Jednom kada vrijednost naprezanja premaši vrijednost K_{ISSC} , vrijednost rasta pukotine naglo se povećava sve do gornje granične vrijednosti (eng. the plateau crack growth or velocity) rasta pukotine poslije koje se daljnjim naprezanjem pukotina širi manjom brzinom. Kada naprezanje prijeđe granicu K_{IC} (kritična intezivnost naprezanja), pojavu više ne smatramo korozijskom reakcijom već čistim mehaničkim procesom [8, 11].



Slika 9. Odnos brzine širenja pukotine i faktora intenziteta naprezanja [8]

U principu K_{ISSC} pruža vrlo dobru osnovu za upravljanje napetosnom korozijom. Osiguravanjem da kombinacija vrijednosti naprezanja i veličine pogreške (pukotine) u materijalu ne prelazi K_{ISSC} rezultira stagnacijom širenja pukotine i sprečavanjem napetosne korozije. Međutim, valja biti oprezan kod odabira vrijednosti K_{ISSC} jer treba uzeti u obzir i okruženje u kojem se nalazi materijal.

7. NAPETOSNA KOROZIJA OSNOVNIH KONSTRUKCIJSKIH MATERIJALA

7.1. Napetosna korozija ugljičnih čelika

Napetosna korozija ugljičnih i niskolegiranih čelika je česti problem koji se javlja u različitim industrijama kao što su kemijska, naftna i plinska, proizvodnja papira, rafinerije, elektrane i sl. Narinuta naprezanja često su vrlo mala, a agresivna okolina može biti tako blaga da ju je ponekad i teško detektirati.

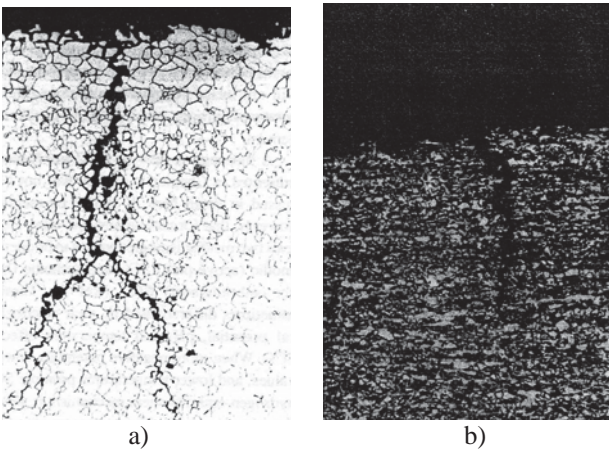
Najčešći mehanizmi nastajanja napetosne korozije kod ovih materijala su vodikova krhkost (katodni mehanizam) i aktivno područje razaranja (anodni mehanizam).

Interkristalni lom zbog napetosne korozije najčešće se javlja kada su ovi materijali izloženi neutralnim ili kiselim okruženjima. Najčešće su to vodene otopine klorida, hidroksida te otopine koje sadržavaju amonijak ili bikarbonate [3].



Slika 10. Primjer napetosne korozije ugljičnog čelika – interkristalni karakter loma [5]

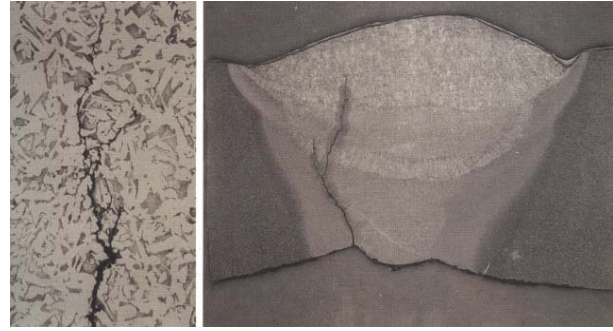
Transkristalni lom najčešće je posljedica djelovanja sumporovodika. To je ujedno i jedna od najopasnijih vrsta napetosne korozije. Nazivamo je još i sulfidna napetosna korozija (SSC – Sulphide Stress Cracking). Nastupa ako je vlačno napregnuta konstrukcija u dodiru sa sumporovodikom (H_2S). Reakcijom željeza i sumporovodika stvara se atomarni vodik koji difundira u kristalnu rešetku, uzrokuje izvitoperenje i napetost rešetke što dovodi do pojave mikronapuklina. Čelici su osjetljiviji na sulfidnu napetosnu koroziju što im je viša čvrstoća (tvrdoća). Prihvatljivim se smatraju vrijednosti $R_{p0,2} < 660 \text{ N/mm}^2$, odnosno tvrdoće $HRC < 22$ [3].



Slika 11. Napetosna korozija ugljičnog čelika: a) interkristalan lom (100x), b) transkristalan lom (100x) [3]

Osim agresivnog okruženja potrebno je naglasiti ostale čimbenike koji utječu na napetosnu koroziju ugljičnih i niskolegiranih čelika, a to su:

- kemijski sastav materijala
- mikrostruktura i toplinska obrada
- mehanička svojstva
- hladno oblikovanje
- zavarivanje



Slika 12. Primjer napetosne korozije ugljičnog čelika u zoni zavarenog spoja – interkristalan lom [5]

U prevenciji napetosne korozije ugljičnih i niskolegiranih čelika najvažniji je pravilan odabir materijala. Iako područje napetosne korozije ovih materijala nije temeljito istraženo, postoje vodiči koji jako olakšavaju odabir materijala u ovim slučajevima. Jedan od njih je i NACA MR-01-75 standard koji je izrađen za agresivno okruženje sumporovodika. Ovaj standard uzima u obzir koncentraciju legiranih elemenata, stupanj plastične deformacije i toplinsku obradu materijala, kao i preporuke za toplinsku obradu dijela nakon zavarivanja [3].

Iako ne pripadaju ovoj skupini materijala, važno je istaknuti i utjecaj napetosne korozije na visokocvrste čelike. To su čelici s vrijednostima granice razvlačenja $R_{p0,2} > 1000 \text{ N/mm}^2$. Vodikova krhkost dominantan je mehanizam nastajanja napetosne korozije ovih čelika, a utjecaj okruženja u većini slučajeva je gotovo zanemariv. Iz ove skupine materijala uz napetosnu koroziju najčešće povezujemo nisko i visoko legirane te "maraging" čelike [1, 3, 8].

7.2. Napetosna korozija legura na bazi bakra

Fenomen napetosne korozije prvi je put istraživan na bakrenoj leguri (mjedi – leguri bakra i cinka) prije više od 80 godina u Indiji. Napetosna korozija javljala se na uskladištenom streljivu (čahurama) tijekom sezone monsunskih kiša, koje je bilo uskladišteno blizu konjušnica (izvor amonijaka) - slika 13.



Slika 13. Napetosna korozija čahura streljiva nastala u agresivnom okruženju amonijaka [12]

Radilo se o hladno oblikovanim α -mjedima kod kojih se tijekom hladnog oblikovanja dislokacije nakupljaju na granicama zrna radi čega ta mjesta poprimaju stanja s višom energijom. Korozija se može javiti u prisutnosti manjih količina amonijaka i vlage, prodire interkristalno budući da su područja uz granice zrna "anodna" prema njihovoj okolini. Zbog korozije oslabljuju veze po granicama zrna i pojavljuju se napukline zbog prisutnosti zaostalih napreznja. Ovu vrstu napetosne korozije još nazivamo "season cracking" budući da se javljala u sezonama monsunskih kiša [1, 3, 8 9, 12].



Povećanje 100×

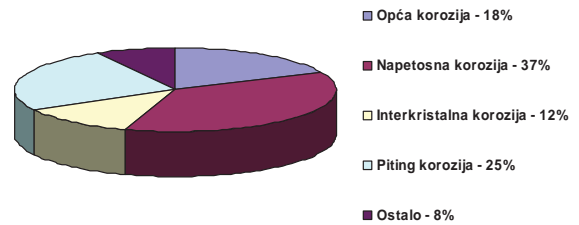


Povećanje 500×

Slika 14: Napetosna korozija legure na bazi bakra s udjelom Zn od 15% [12]

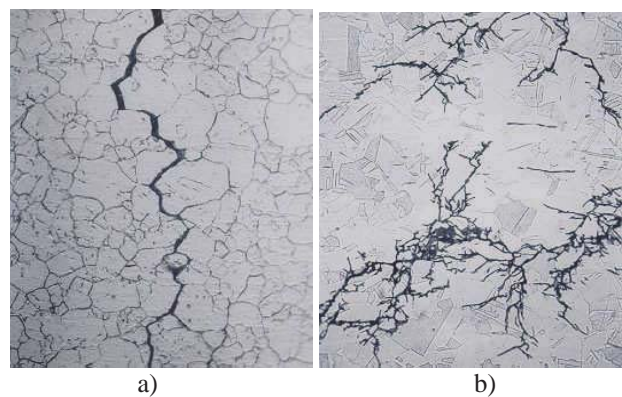
7.3. Napetosna korozija nehrđajućih čelika

Napetosna korozija nehrđajućih Cr-Ni čelika je lokalni korozijski proces koji ni do danas u cijelosti nije obrađen i razjašnjen. Radi se o korozijskom fenomenu koji transkristalno ili interkristalno razara strukturu materijala i nerijetko iznenada dovodi postrojenja izvan upotrebe. Na nastanak i razvoj napetosne korozije djeluje više čimbenika te ju je najčešće teško predvidjeti i otkriti prije njene završne faze – loma. Ovaj oblik selektivne korozije ujedno je i najčešći korozijski proces koji zahvaća ovu skupinu materijala - slika 15. [2, 9].



Slika 15: Raspodjela korozije nehrđajućih čelika u kemijskoj i procesnoj industriji [9]

Napetosna korozija nehrđajućih čelika najčešće se javlja u opasnim elektrolitima koji sadrže Cl^- i OH^- (visoka pH vrijednost) ili H_2S . Napreznja koja su uvjet za nastajanje ovog oblika korozije najčešće su zaostala napreznja (unutarnja) koja su posljedica plastične deformacije materijala, zavarivanja ili nekih drugih tehnoloških procesa. S povećanjem koncentracije elektrolita, za pojavu napetosne korozije dovoljne su manje vrijednosti napreznja. Osim već spomenutih utjecajnih faktora, za pojavu napetosne korozije nehrđajućih čelika važnu ulogu ima i temperatura. Ispod 55°C ovaj oblik korozije se ne pojavljuje. Transkristalni lom nastupa najčešće na temperaturama većim od 80°C , dok je na nižim temperaturama češći slučaj interkristalnog loma. Prema NiDI (Nickel Development Institute) koji je na 80 uzoraka istražio napetosnu koroziju nehrđajućih austenitnih čelika serije 300, pokazalo se da je u 76% slučajeva (61 uzorak) priroda loma bila transkristalna (TGSCC) [1, 2, 9].



Slika 16. a) Interkristalna napetosna korozija AISI304 čelika, b) Transkristalna napetosna korozija AISI 316 čelika [3]

Gledajući s aspekta utjecaja okoline na razvoj i propagaciju napetosne korozije, u većini slučajeva koroziju ove skupine materijala izazvalo je kloridno okruženje (32% slučajeva).

Mehanizam nastajanja napetosne korozije ponajviše ovisi o vrsti legure (kemijski sastav, mikrostruktura, toplinske promjene itd.) i o agresivnom mediju u kojem se nalazi. Isti materijali u različitim agresivnim sredinama ne moraju biti skloni napetosnoj koroziji i obrnuto. Dodatni je problem što se napetosna korozija nehrđajućih čelika može inicirati zasebno, ali kao klice za njen razvoj mogu poslužiti žarišta jamičaste i interkristalne korozije.

Iz ovih razloga ponekad je vrlo teško definirati mehanizam nastajanja i propagacije napetosne korozije pa se zbog toga i često koriste dodatni termini kao što su kloridna napetosna korozija, kaustična napetosna korozija, politionska napetosna korozija itd. Oni direktno povezuju napetosnu koroziju s agresivnim medijem u kojem je nastala.

Napetosna korozija, baš kao i ostale vrste selektivne korozije, nastaje zbog djelovanja aktivno–pasivnih članaka, ali u ovom slučaju uz prisutnost vlačnih naprezanja. Sam proces korozije vrijedi kao i za ostale materijale: inkubacija-inicijacija pukotine-propagacijom [1, 2, 9]



Slika 17. Kloridna napetosna korozija AISI 316 čelika – transkristalan lom [5]

7. ZAKLJUČAK

Napetosna korozija je oblik korozije koji nije čest, ali njena pojava može imati nesagledive posljedice. Nastaje istodobnim djelovanjem triju faktora (osjetljivi materijal, agresivno okruženje, naprezanje), pa postoji više pristupa koje možemo upotrijebiti za njeno sprečavanje.

U idealnim uvjetima sprečavanje napetosne korozije počinje već u fazi projektiranja. Pravilnim odabirom materijala, kontrolom okruženja i naprezanja možemo izbjeći napetosnu koroziju. No, to nije uvijek moguće. Postoje konstrukcije gdje rizik od pojave napetosne korozije mora biti minimalan (npr. nuklearni reaktor) ili konstrukcije gdje je nemoguće izbjeći ovaj oblik korozije (cjevovodi za transport agresivnih medija). U ovakvim slučajevima ne govorimo o prevenciji napetosne korozije već o upravljanju napetosnom korozijom (kontrola procesa u svrhu izbjegavanja većih šteta).

Ako je to moguće, napetosnu koroziju je najlakše izbjeći pravilnim konstrukcijskim rješenjima te odabirom materijala koji u kombinaciji s agresivnim okruženjem nije podložan ovom obliku korozije. To nije uvijek moguće jer postoje agresivna okruženja koja u kombinaciji s gotovo svim materijalima izazivaju napetosnu koroziju, a ponekad izbor materijala diktira i njegova cijena.

Sljedeća mogućnost je uklanjanje naprezanja. Najčešće se radi o uklanjanju zaostalih naprezanja koja su posljedica tehnoloških postupaka (zavarivanje, deformacija, toplinska obrada...). Uklanjanje zaostalih naprezanja žarenjem najčešće se koristi kod ugljičnih

čelika jer je razina naprezanja za pojavu napetosne korozije kod ove skupine materijala relativno visoka. Kod austenitnih čelika u kloridnom okruženja ta je razina naprezanja mnogo manja te je ova metoda rijetko uspješna. Osim toga, ovakva metoda je nemoguća za velike konstrukcije. Osim toplinske obrade moguće je primijeniti i mehaničke obrade koje smanjuju zaostala naprezanja (sačmarenje).

Najizvravniji način kontrole napetosne korozije je kontrola agresivnog okruženja. To je i metoda koja je vrlo rijetko moguća jer često same konstrukcije služe za transport agresivnih medija ili se nalaze u agresivnom okruženju koje ne možemo izbjeći. U tom slučaju moguća je primjena prevlaka na materijalima, izmjena elektrodnog potencijala, a vrlo učinkovita može biti primjena inhibitora korozije.

8. LITERATURA

- [1] Filetin, T.; Kovačiček, F.; Indof, J. (2002), *Svojstva i primena materijala*, FSB, Zagreb
- [2] Brkić, S. (2007), *Priručnik – nehrđajući čelici u farmaceutskoj, prehrambenoj i kemijskoj industriji*, Hrvatsko društvo za materijale i tribologiju, Zagreb
- [3] Jones, R.H. (1992), *Stress corrosion cracking*, ASM International, Materials Park
- [4] www.octane.nmt.edu, 02.11.2009.
- [5] Durin, E. (1997), *Corrosion Atlas – a collection of illustrated case history*, Elsevier
- [6] www.fsb.hr/korozija, 02.11.2009.
- [7] www.en.wikipedia.org, 10.09.2009.
- [8] National Physical Laboratory; *Stress Corrosion Cracking – guides to good practise in corrosion control*, Queens Road, Teddington
- [9] Marcus, P.; Oudar, J. (1995), *Corrosion Mechanisms in Theory and Practise*, New York
- [10] www.felmi-zfe.tugraz.at, 02.11.2009.
- [11] ASM International, (2000), *Corrosion fundamentals, testing, and protection*, ASM handbook – Volume 13, Materials Park
- [12] www.answers.com, 02.11.2009.