

KOROZIJA ZAVARENIH SPOJEVA CORROSION OF WELDED JOINTS

Originalni naučni rad / Original scientific paper
UDK /UDC: 620.193: 621.791.052
Rad primljen / Paper received: 24.04.2007

Adresa autora / Author's address:
IHIS Istraživačko razvojni institut, Batajnički drum 13,
Zemun, Beograd, borejegdic@yahoo.com

Ključne reči

- zavareni spojevi
- piting korozija
- interkristalna korozija
- naponska korozija

Izvod

U radu su prikazani najčešći oblici korozije zavarenih spojeva: galvanska, piting, interkristalna i naponska korozija i vodonična krtost. Opisane su metode ispitivanja prikazanih oblika korozije zavarenih spojeva i dati su postupci sprečavanja korozije zavarenih spojeva.

UVOD

Zavareni spoj najčešće nastaje topljenjem osnovnog metala i njegovim očvršćavanjem ili popunjavanjem pripremljenog žleba rastopljenim dodatnim materijalom. Kod zavarenih spojeva se, pored strukturnih promena i dejstva naponskog i termičkog gradijenta, javlja i hemijska nehomogenost. Navedene promene znatno utiču na mehaničke karakteristike i korozijsko ponašanje zavarenih spojeva.

U zavarenom spoju postoji više zona, /1-3/. Zona topljenja je zona metala šava (MŠ), koja nastaje očvršćavanjem rastopljenog dodatnog materijala. Posle očvršćavanja metal šava ima karakterističnu strukturu livenja. Sloj koji poslednji očvršćava ima izrazito dendritnu strukturu. U zoni uticaja toplote (ZUT), koja je tokom zavarivanja u čvrstom stanju, ali izložena temperaturnom gradijentu od temperature topljenja pri zagrevanju i hlađenju, dolazi do značajnih faznih i strukturnih transformacija. Tako kod nerđajućih čelika i aluminijumskih legura, sklonih pojavi interkristalne korozije, dolazi do izdvajanja nekih faza po granicama zrna. Strukturna i hemijska heterogenost je često uzrok lokalne pojave raznih vidova korozije u zavarenom spoju.

Pri zavarivanju dobijen zavareni spoj je kontinualna celina sa osnovnim metalom, u kome se pri zagrevanju i hlađenju javlja značajno polje naprezanja. Zaostali naponi u zavarenom spoju mogu da budu uzrok promene dimenzija zavarenog spoja, pojave naponske korozije i vodonične krtosti tokom eksploatacije (hladne prsline). U cilju uklanjanja zaostalih napona se često posle zavarivanja izvodi termička obrada žarenjem.

OPŠTA KOROZIJA

Opšta korozija se karakteriše ravnomernim smanjenjem debljine metala. Brzina razvoja ovog vida korozije se predstavlja dubinom prodiranja procesa korozije u metal u određenom vremenskom periodu i najčešće se izražava u $\mu\text{m/god}$, ili u mg/dm^2 na dan. Ovaj oblik korozije je manje opasan za zavarene spojeve od lokalne korozije, jer je lako moguće predvideti vek trajanja konstrukcije.

Keywords

- welded joints
- pitting corrosion
- intercrystalline corrosion
- stress corrosion

Abstract

The paper presents most often types of corrosion in welded joints: galvanic, pitting, intercrystalline, stress corrosion, and hydrogen embrittlement. Testing methods of the presented types of corrosion in welded joints are described with procedures for prevention.

GALVANSKA KOROZIJA

Osnovni uslovi pojave ovog vida korozije su: električni kontakt između različitih metala, prisustvo elektrolita i razlika potencijala metala u kontaktu, /4/. Ulogu elektrolita mogu da igraju i slojevi atmosferske vlage ili higroskopne soli i nečistoće prisutne na površini metala. Za odvijanje kontaktne korozije neophodno je da postoji dovoljna razlika potencijala između metala u kontaktu. Ako je razlika potencijala veća, kontaktna korozija je intenzivnija. Na osnovu galvanskog niza metala, /ASTM G82/, može se predvideti ponašanje različitih metala u kontaktu, u određenoj korozijskoj sredini. Pri kontaktnoj koroziji veliki značaj ima odnos anodnih i katodnih površina. Ako je površina metala koji se ponaša anodno manja od površine metala koji se ponaša katodno, biće korozija anodnog metala intenzivnija. Više podataka o kontaktnoj koroziji se može naći u /4-8/.

Galvanska korozija se često javlja kod zavarenih spojeva, /3/. Kada je sastav dodatnog metala različit od sastava osnovnog metala dolazi do galvanske korozije usled razlike elektrohemijskih potencijala. Neke oblasti u zavarenom spoju postaju anodne i korozijski aktivnije. Galvanska korozija se javlja u zavarenim spojevima nekih aluminijumskih legura, ako dodatni materijal nije bio odgovarajući.

Često se za reparaciju elemenata od niskolegiranih čelika visoke čvrstoće (HSLA) koriste topljive elektrode od austenitnog nerđajućeg čelika, /8/. Ovaj postupak dovodi u električni kontakt nerđajući čelik, koji se ponaša katodno, sa HSLA čelikom. U prisustvu korozijske sredine na nerđajućem čeliku se obrazuje vodonik, koji izaziva obrazovanje prsline u ZUT HSLA čelika. Razlika u temperaturnim koeficijentima širenja ferita i austenita izaziva unutrašnja naprezanja u zavarenom spoju, koja mogu izazvati prsline.

Laboratorijska ispitivanja galvanske korozije se mogu izvesti primenom elektrohemijskih i neelektrohemijskih metoda. Kada je potrebna samo informacija o ponašanju različitih materijala u kontaktu (ili u zavarenom spoju), može se koristiti galvanski niz metala i legura u odgovarajućoj korozijskoj sredini (standard ASTM G82). Međutim,

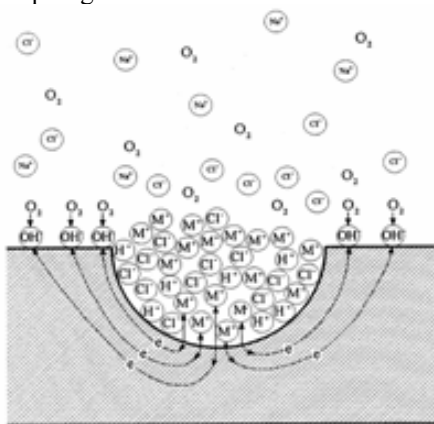
na osnovu galvanskog niza ne mogu se dobiti informacije o brzini korozije, pa je potrebno razmatrati krive polarizacije metala i legura koji su u kontaktu da bi se dobili podaci o brzini galvanske korozije.

Za elektrohemijska ispitivanja galvanske korozije zavarenih spojeva razrađene su posebne tehnike. Za ispitivanje galvanske korozije u uslovima potpunog potapanja uzoraka u rastvore elektrolita se primenjuje standard ASTM G71, a za ispitivanje u atmosferskim uslovima standard ISO 7441.

PITING KOROZIJA

Piting korozija se definiše kao izrazito lokalizovan korozijski napad pri kome dolazi do stvaranja korozijskih jami (pitova). Pitovi se formiraju na mestima razaranja pasivnog filma na površini metala, posebno u prisustvu halogenih jona (sl. 1). U slučaju nerđajućih čelika obrazovanje pitova se odvija skoro isključivo u zonama neposredno oko MnS uključaka, /6/.

Sa povećanjem temperature raste sklonost metala i legura prema obrazovanju pitova. Do obrazovanja stabilnih pitova na nerđajućem čeliku neće doći ukoliko je temperatura niža od neke kritične vrednosti koja se naziva kritična temperatura pitinga.



Slika 1. Shematski prikaz obrazovanja pita

U slučaju zavarenih spojeva pitovi se često obrazuju na mestima sa određenom mikrostrukturom, /3/, odnosno na mestima metalurške heterogenosti metala. U hromu osiromašene oblasti koje nastaju kada se austenitni nerđajući čelik zagreva do temperature senzibilizacije su podložne pitingu. Pitovi takođe mogu da se obrazuju na granicama faza austenit-ferit u zavarenim spojevima nerđajućih čelika.

Dupleks nerđajući čelici se često koriste kao dodatni materijal da bi se smanjila sklonost austenitnih Cr-Ni nerđajućih čelika prema naponskoj koroziji. Kombinacijom niskog sadržaja ugljenika i odgovarajućeg sadržaja azota u austenitnom nerđajućem čeliku povećava se otpornost prema pitingu i naponskoj koroziji zavarenog spoja.

Za ispitivanje piting korozije neelektrohemijskim metodama primenjuju se postupci potapanja u rastvore različitog sastava ili ispitivanja u komorama, /9/. Oksidaciono-redukcioni potencijal rastvora za ispitivanje mora da bude pozitivniji od vrednosti piting potencijala metala koji se ispituje. Gvožđe(III)-hlorid se široko koristi za ispitivanje piting korozije nerđajućih čelika, jer je njegov oksidaciono-redukcioni potencijal pozitivniji od piting potencijala za te čelike.

Standard ASTM G48 propisuje postupke (A, B, C i D) za određivanje otpornosti prema pitingu i koroziji u zazorima u rastvoru gvožđe(III)-hlorida. Postupci C i D su namenjeni za određivanje kritične temperature pitinga i kritične temperature korozije u zazorima.

Pokazatelji piting korozije se određuju elektrohemijskim metodama. To su potencijal pri kome pitovi počinju stabilno da rastu (piting potencijal E_{pit}), potencijal kada se zaustavlja rast pitova (zaštitni potencijal E_{prot}) i najniža temperatura pri kojoj dolazi do obrazovanja pitova (kritična temperatura pitinga T_{pit}). Standard ASTM G61 opisuje postupak za izvođenje cikličkih potenciodinamičkih polarizacijskih merenja u cilju određivanja otpornosti prema lokalnim vidovima korozije (piting i korozija u zazorima). Standard ASTM G150 opisuje postupak za procenu otpornosti prema piting koroziji zasnovan na elektrohemiskom određivanju T_{pit} . Nagli porast struje pri određenoj temperaturi koja se smatra kritičnom temperaturom pitinga ukazuje da je došlo do stabilnog rasta pitova.

KOROZIJA U ZAZORU

Ovaj vid korozije najčešće se javlja na mestima dodira konstrukcijskih elemenata pri zazoru reda veličine 0,1 mm. Osnova korozije u zazorima je diferencijalna aeracija. U oblastima sa većom koncentracijom kiseonika odvija se katodna reakcija, a na mestima sa manjom koncentracijom kiseonika anodno rastvaranje metala. Zbog otežanog pristupa kiseonika čelik se unutar zazora depasivira i ubrzano anodno rastvara. Takođe, usled hidrolize jona metala u zazorima se formira kisela sredina, odnosno smanjuje se pH vrednost, što dodatno ubrzava proces razaranja metala, /5/.

Fizičke i mehaničke greške u zavarenom spoju, kao što su mikropsrline, tople i hladne prsline, zazoru nepotpunog provara, ili troska, su mesta na kojima se može zadržavati elektrolit. Ta mesta su pogodna za pojavu korozije u zazorima, naročito u sredinama koje sadrže hloridne jone. U slučaju austenitnih nerđajućih čelika, korišćenje dodatnog materijala od legura na bazi nikla (na pr. Inconel 625), znatno smanjuje osetljivost prema koroziji u zazorima, /8/. Nerđajući čelici sa većim sadržajem hroma, a naročito molibdena, znatno su otporniji prema ovom vidu korozije.

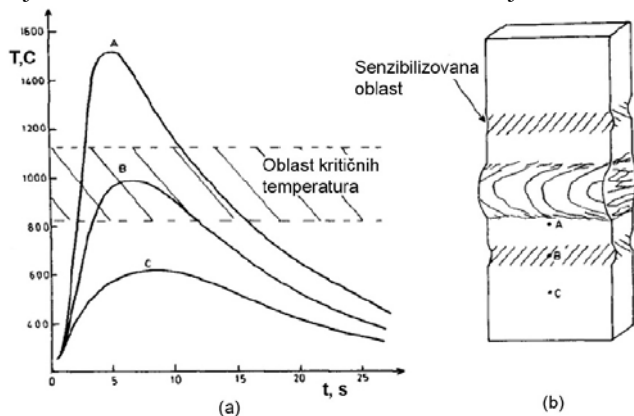
Ispitivanje korozije u zazorima se izvodi hemijskim ili elektrohemijskim metodama, /5/. Standard ASTM G 78 propisuje oblik uzoraka i sastav rastvora za ispitivanje korozije u zazorima.

INTERKRISTALNA KOROZIJA

Interkristalna korozija je vid lokalne korozije koji se manifestuje rastvaranjem oblasti granica zrna, što dovodi do znatnog pogoršanja mehaničkih karakteristika metala. Najčešće se javlja kod austenitnih nerđajućih čelika. Pri laganom hlađenju ili zagrevanju ovih čelika, u temperaturnom intervalu od 420 do 820°C, izdvajaju se karbidi hroma po granicama zrna, što izaziva osiromašenje u hromu graničnih oblasti zrna. Ako sadržaj hroma opadne ispod 12%, što je neophodno za održavanje zaštitnog pasivnog filma, oblast postaje senzibilizovana i podložna interkristalnoj koroziji. Granične oblasti, siromašne hromom, imaju veću brzinu rastvaranja u odnosu na ostale oblasti zrna.

Do senzibilizacije austenitnih nerđajućih čelika najčešće dolazi u ZUT, tokom zavarivanja ili pri žarenju. Interkristalna

korozija se odvija u zoni paralelnoj metalu šava. Ovaj vid interkristalne korozije se naziva "weld decay" /10,11/. Žarenjem na temperaturi na kojoj su karbidi hroma potpuno rastvoreni, uz brzo hlađenje kroz kritični temperaturni interval, može se smanjiti osetljivost austenitnih nerđajućih čelika prema ovom vidu interkristalne korozije. Senzibilizacija se može izbeći i smanjenjem sadržaja ugljenika u nerđajućem čeliku (obično ispod 0,03% C), kao i dodavanjem elemenata koji grade stabilnije karbide od hroma. To su obično titan ili niobijum.



Slika 2. Senzibilizacija zavarenog spoja

Stabilizovani nerđajući čelici (sa dodatkom Ti ili Nb) mogu postati skloni lokalizovanom obliku interkristalne korozije poznatom kao „nožasta korozija“ (*knife-line attack*), koja se javlja neposredno uz zavareni spoj, /10,11/.

Za ispitivanje otpornosti prema interkristalnoj koroziji nerđajućih čelika primenjuje se više postupaka: ispitivanje u ključaloj HNO_3 , ispitivanje u ključalom rastvoru H_2SO_4 uz dodatak CuSO_4 ili $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, prema ASTM A262, odnosno ISO 3651. Za određivanja otpornosti prema senzibilizaciji stabilizovanih čelika (sa Ti i Nb) ili čelika sa niskim sadržajem ugljenika, potrebno je izvršiti termičku obradu, tzv. senzibilizaciju. Zavarene spojeve pre ispitivanja nije potrebno senzibilizovati.

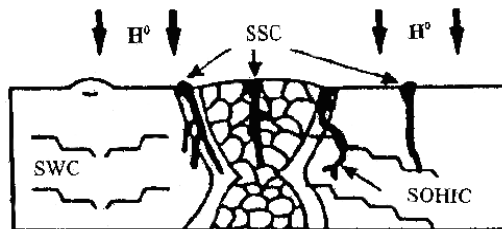
Metoda elektrohemijske potenciokinetičke reaktivacije (EPR), opisana u standardima ASTM G108 i ISO 12732, se često primenjuje za ispitivanja interkristalne korozije. Zasniva se na ponovnoj aktivaciji metala iz pasivnog stanja. Rezultati dobijeni EPR metodom su u direktnoj vezi sa otpornošću prema naponskoj koroziji. Ako je čelik sklon interkristalnoj koroziji, on je sklon i naponskoj koroziji.

Za ispitivanje interkristalne korozije aluminijumskih legura i njihovih zavarenih spojeva mogu se koristiti odgovarajući standardi, /12/, na pr. ASTM G67 za 5000 seriju i ASTM G110 za 2000 i 7000 seriju aluminijumskih legura.

NAPONSKA KOROZIJA I VODONIČNA KRTOST

Naponska korozija je proces vremenski zavisnog rasta prslina, kada su ispunjeni neophodni elektrohemijski, mehanički i metalurški uslovi. Ako se na vrhu prsline izdvaja vodonik kao proizvod korozijskih reakcija, rast prslina se može odvijati procesom lokalne vodonične krtosti. Naponska korozija obično započinje na mestima grešaka tipa prslina, koji nastaju pri mašinskoj obradi, zavarivanju, pri eksploataciji ili pri čišćenju metala, na mestima gde uključci narušavaju homogenost površine ili gde Cl^- joni razaraju

zaštitni pasivni film. Naponska korozija može početi i na površinskim greškama od piting ili interkristalne korozije. Naponska korozija se obično odvija u vodenim sredinama (rastvori ili apsorbovani slojevi vlage), najčešće u prisustvu specifičnih jona, /13/. Tako, u prisustvu NH_4^+ jona odvija se naponska korozija mesinga dok hloridni joni izazivaju lom aluminijumskih legura i nerđajućih čelika.



Slika 3. Naponska korozija i vodonična krtost zavarenog spoja

Zavareni spojevi mogu biti skloni naponskoj koroziji u specifičnoj korozionoj sredini, ako su izloženi dejstvu zaostalih ili aktivnih naprežanja visokog nivoa. Parametri zavarivanja utiču na veličinu i raspodelu zaostalih unutrašnjih naprežanja, značajnih za iniciranje i širenje naponsko-korozijske prslina. Zaostala naprežanja su proporcionalna veličini šava, što direktno zavisi od unosa toplote pri zavarivanju, /3/. Primena šavova malih dimenzija smanjuje naprežanje, a time i osetljivost prema naponskoj koroziji. Termičkom obradom posle zavarivanja se može smanjiti pojava naponsko-korozijskih prslina u eksploataciji, zbog preraspodele i smanjenja unutrašnjih naprežanja u zavarenom spoju.

Senzibilizovani 18Cr-8Ni austenitni nerđajući čelici podležu naponskoj koroziji u prisustvu hlorida, pri čemu prslina raste interkristalno. U slučajevima kada čelik nije senzibilizovan, prslina raste transkristalno. Povećanje sadržaja ferita u metalu šava smanjuje sklonost nerđajućeg čelika prema naponskoj koroziji. Približno 50% ferita obezbeđuje optimalnu otpornost prema naponskoj koroziji.

Vodonična krtost je posledica kombinovanog dejstva vodonika i zateznih naprežanja, zaostalih ili aktivnih, /14-16/. Manifestuje se obrazovanjem i rastom prslina ili pora, formiranjem hidrida, smanjenjem duktilnosti. Vodonik ima veću rastvorljivost u rastopljenom metalu šava nego u čvrstom metalu, /3/. U toku očvršćavanja postiže se zasićenje metala šava vodonikom. Jedan deo vodonika odlazi u okolnu atmosferu, a znatna količina vodonika difunduje u ZUT. Oblast neposredno uz rastopljeni metal šava (linija stapanja) ima najveću brzinu hlađenja, što kod nekih metala može dovesti do mikrostruktura osetljivih prema lomu (na primer martenzit). Kombinacija visokog sadržaja vodonika i krte mikrostrukture može da bude uzrok nastajanja prslina. Do pojave vodonične krtosti u zavarenim spojevima često dolazi tokom eksploatacije. Vodonik koji izaziva vodoničnu krtost može da nastane kao produkt korozijskih reakcija, ili pri nekim postupcima obrade metala (elektrolitičke prevlake, dekapiranje).

Metode ispitivanja naponske korozije i vodonične krtosti na statički opterećenim glatkim uzorcima se primenjuju pri različitim konstantnim nivoima naprežanja, /13,15,17/. Meri se vreme do pojave prslina ili loma uzoraka u odgovarajućoj korozijskoj sredini, i određuje kritično naprežanje. Nekada se ispitivanje izvodi pri konstantnoj deformaciji. Tada se meri vreme do obrazovanja prve vidljive prslina ili

do loma. Standardi ASTM G58 i ISO 7539-8 su namenjeni za ispitivanje naponske korozije zavarenih spojeva. Ispitivanja se izvode spoljnim opterećenjem, ili na uzorcima sa zaostalim naprezanjima u zavarenim spojevima.

Ispitivanje naponske korozije malom brzinom zatezanja izvodi se sporim povećanjem opterećenja ili deformacije. Uzorci koji su u kontaktu sa korozivskom sredinom se zatežu u kidalici. Metoda je kvalitativna i koristi se i za određivanje relativne sklonosti legura i zavarenih spojeva prema naponskoj koroziji. Njena prednost je u brzini dobijanja rezultata, ispitivanja jednog uzorka traje od nekoliko časova do nekoliko dana. Za određivanje sklonosti prema naponskoj koroziji primenom SSRT metode koriste se standardi ASTM G129 i ISO 7539-7.

I metode mehanike loma se primenjuju i za ispitivanje naponske korozije zavarenih spojeva, standardi ASTM G168 ili ISO 7539-6. Za ispitivanje je potrebno prethodno naneti zarez i zamornu prslinu na odabranom mestu u zavarenom spoju. Ispitivanja se izvode pri konstantnom naprezanju ili pri konstantnom otvaranju prsline, a meri se brzina rasta prsline. Da bi došlo do rasta naponsko-korozivske prsline, faktor intenziteta napona mora da bude veći od kritične vrednosti, kritičnog faktora intenziteta napona za rast naponsko-korozivske prsline $K_{I_{sc}}$. Prednost ispitivanja mehanike loma je što se dobijaju kvantitativni podaci o sklonosti legure prema naponskoj koroziji, /13/.

SPREČAVANJE KOROZIJE ZAVARENIH SPOJEVA

Korozija zavarenih spojeva se može sprečiti kroz, /3/:

Pravilan izbor osnovnog metala i dodatnog materijala. Pažljivim izborom osnovnog metala i topljive elektrode mogu se smanjiti razlike u sastavu zavarenog spoja, odnosno smanjiti opasnost od pojave galvanske korozije.

Priprema površine. Pravilno odabran postupak čišćenja površine može da smanji pojavu grešaka, koje su često mesta korozivskog napada u agresivnim sredinama.

Projektovanje zavarenog spoja. Šav zavarenog spoja treba da bude niskog profila, sa ravnim ivicama, kako bi se onemogućilo zadržavanje troske na površini. Nepravilno projektovan zavareni spoj može da izazove zazor u kojima se zadržava elektrolit, pa se obrazuju pitovi i javlja korozija u zazoru. Nepravilan oblik šava može u cevima da izazove turbulentan tok fluida, odnosno pojavu erozijske korozije.

Postupak zavarivanja. Tokom zavarivanja potrebno je ostvariti potpun provar, da ne bi došlo do stvaranja zazora ispod metala šava. Pri višeprolaznom zavarivanju trosku treba uklanjati posle svakog prolaza. Ako se zavaruje pod prahom, geometrija zavarenog spoja mora da omogućiti uklanjanje praha zato što neki njegovi sastojci mogu da budu hidrofilni ili korozivni.

Površinska obrada zavarenog spoja. Najbolja otpornost prema koroziji se postiže ako je površina metala šava glatka, ravnomerno oksidovana, bez nečistoća. Hrapavost šava se obično smanjuje naknadnim brušenjem.

Zaštitne površinske prevlake. Kada razlika u sastavu zavarenog spoja može da prouzrokuje lokalnu koroziju, potrebno je primeniti zaštitne prevlake. Zaštitna prevlaka treba da prekriva metal šava i osnovni metal. Za nanošenje zaštitnih prevlaka neophodna je posebna priprema površine.

Termička obrada. Termička obrada posle zavarivanja je često efikasan način za povećanje otpornosti prema koroziji zavarenog

spoja. Termičkom obradom se postiže smanjenje unutrašnjih naprezanja, koji utiču na rast naponsko-korozivske prsline. Naknadna termička obrada (žarenje) olakšava uklanjanje vodonika iz zavarenog spoja i smanjuje opasnost od vodonične krstosti. Naknadna termička obrada može da smanji i razlike u sastavu, što sprečava obrazovanje mikrogalvanskih spregova.

Predgrevanje i međuprolazno zagrevanje. Primena predgrevanja i međuprolaznog zagrevanja može da spreči pojavu vodonične krstosti ugljeničnih i niskolegiranih čelika.

Sprečavanje obrazovanja zazora. Pravilnim izborom dodatnog materijala, postupka zavarivanja i pažljivim uklanjanjem troske posle zavarivanja može se izbeći obrazovanje zazora, odnosno lokalne korozije.

Uklanjanje izvora vodonika. Pažljivim izborom topljive elektrode sa oblogom, njenim sušenjem, kao i eliminisanjem nečistoća i vlage sa površina koje se zavaruju, može se znatno smanjiti rizik od pojave vodonika odnosno vodonične krstosti (hladne prsline).

LITERATURA

1. Šijački-Žeravčić, V., Milosavljević, A., Sedmak, A., Priručnik za mašinske materijale, zavarivanje, lemljenje i livenje, Mašinski fakultet, Beograd, 1996.
2. Sedmak, A., Šijački-Žeravčić, V., Milosavljević, A., Đorđević, V., Vukićević, M., Mašinski materijali, drugi deo, Mašinski fakultet, Beograd, 2000.
3. Wahid, A., Olson, D.L., Matlock, D.K., *Corrosion of Weldments*, ASM Handbook, Vol. 6, Welding, Brazing and Soldering, Ohio, 1997, pp.1065-1069.
4. Hack, H.P., Taylor, D., *Evaluation of Galvanic Corrosion*, ASM Handbook, Vol. 13, Corrosion, Ohio, 1998, pp.234-238.
5. Chandler, K.A., *Marine and Offshore Corrosion*, Butterworths, London, 1985.
6. Bohni, H., *Localized Corrosion of Passive Metals*, Uhlig's Corrosion Handbook, Second Edition, Ed. R.W. Revie, John Wiley and Sons Inc., New York, 2000, pp.173-190.
7. Uhlig, H.H., Revie, R.W., *Corrosion and Corrosion Control, An Introduction to Corrosion Science and Engineering*, Third Edition, John Wiley and Sons, New York, 1985.
8. Krysiak, K.F., *Corrosion of Weldments*, ASM Handbook Vol. 13, Corrosion, Ohio, 1998, pp.344-368.
9. Bobić, B., *Elektrohemijske metode za ispitivanje naponske korozije i korozionog zamora metalnih materijala*, TS 004-01-0074, VTI Beograd, 1993.
10. Jarman, R.A., *Design in Relation to Welding and Joining*, Corrosion, Vol. 2, Corrosion Control, Ed. L.L. Shreir, J.A. Jarman, D.T. Burstein, Butterworth, Oxford, 2000, pp.9:85-9:104.
11. Procter, R.P.M., *Effects of Metallurgical Structures on Corrosion*, Corrosion, Vol. 1, Metal/Environment Reactions, Eds. L.L. Shreir, R.A. Jarman, G.T. Burstein, Butterworth, Oxford, 2000, pp.1:36-1:54.
12. Davis, J.R., *Corrosion of Aluminum and Aluminum Alloys*, ASM, Ohio, 1999.
13. Jones, R.H., *Stress Corrosion Cracking*, ASM Handbook, Vol. 13, Corrosion, Ohio, 1998, pp.145-163.
14. Roberge, P.R., *Handbook of Corrosion Engineering*, McGraw-Hill, New York, 2000.
15. Craig, B., *Hydrogen Damage*, ASM Handbook, Vol. 13 Corrosion, Ohio, 1998, pp.163-171.
16. Kobrin, G., *Materials Selection*, ASM Handbook, Vol. 13, Corrosion, Ohio, 1998, pp.321-337.
17. Dražić, D., Jegdić, B., *Corrosion and Stress Corrosion Cracking, IFMASS8—From Fracture Mechanics to Structural Integrity Assessment*, Eds. S. Sedmak, Z. Radaković, Belgrade, 2004, pp.255-276.