



B. Bobić, B. Jegdić

KOROZIJA ZAVARENIH SPOJEVA DEO V: METODE ISPITIVANJA I POSTUPCI SPREČAVANJA KOROZIJE

CORROSION OF WELDED JOINTS

PART V: TESTING METHODS AND PROCEDURES OF CORROSION PROTECTION

Stručni rad / Professional paper

UDK/UDC: 620.19:621.791.05

Rad primljen / Paper received:

April 2005.

Ključne reči: Zavareni spojevi, korozija, metode ispitivanja, interkristalna korozija, naponska korozija, piting i korozija u zazorima, selektivna korozija.

Izvod

U ovom radu su opisane osnovne metode ispitivanja korozije zavarenih spojeva. Detaljno su prikazane metode za ispitivanje naponske, piting i interkristalne korozije, uz navođenje odgovarajućih standarda za njihovo izvođenje. Takođe su opisani postupci za sprečavanje korozije zavarenih spojeva.

Adresa autora / Author's address:

Biljana Bobić, dipl.ing, Bore Jegdić, dipl.ing.
Vojnotehnički institut VSCG, Katanićeva 15,
Beograd, SCG

Keywords: Welded joints, corrosion, testing methods, intergranular corrosion, stress corrosion cracking, pitting and crevice corrosion, dealloying.

Abstract

Testing methods of welded joints corrosion are presented in this paper. Methods of testing stress corrosion cracking, pitting and intergranular corrosion are described in detail, according to related standards. Procedures for corrosion protection of welded joints are described as well.

UVOD

Korozija predstavlja destrukciju metala i legura usled hemijske ili elektrohemijske reakcije sa okolnom sredinom [1-4]. Elektrohemijska korozija je posledica odigravanja elektrohemijskih reakcija i podleže zakonitostima elektrohemijske kinetike. Svi slučajevi korozije u vlažnoj atmosferi, kao i korozija metala u rastvorima elektrolita, su elektrohemijskog karaktera.

Poznato je da je brzina korozije mnogih metala mala, iako bi sa termodinamičke tačke gledišta trebalo očekivati znatno veću brzinu korozije. Tako se ponašaju nerđajući čelici, aluminijumske legure, titan itd. To stanje metala se naziva pasivnim stanjem [1-4]. Pri promeni spoljnih uslova metal može preći iz pasivnog stanja u aktivno stanje. Taj proces se naziva aktivacijom i najčešće se odvija lokalno (piting korozija, korozija u zazorima itd.). U svojstvu aktivatora korozije najčešće se javljaju hloridni joni.

U zavarenom spoju, pri zagrevanju i hlađenju tokom zavarivanja, dolazi do različitih faznih i strukturnih transformacija [5-8]. Na primer, kod nerđajućih čelika i aluminijumskih legura u ZUT-u često dolazi do izdvajanja određenih faza po granicama zrna i pojave interkristalne korozije.

Zaostali naponi u zavarenom spoju mogu da budu uzrok pojave hladnih prslina, naponske korozije i vodonične krtosti tokom eksploatacije itd. Iz tih razloga se, obično posle zavarivanja, izvodi termička obrada žarenjem, u cilju uklanjanja zaostalih napona.

U prethodnim delovima ovog rada opisani su vidovi korozije zavarenih spojeva kod određenih

konstrukcionih materijala, kao što su ugljenični i niskolegirani čelici, nerđajući čelici, aluminijumske legure, legure bakra itd. U ovom delu će biti detaljnije opisane metode ispitivanja korozije zavarenih spojeva uopšte i osnovni postupci sprečavanja korozije zavarenih spojeva.

Ispitivanje opšte korozije

Ispitivanja na atmosferskim korozionim stanicama

Poželjno je da se ispitivanja otpornosti prema koroziji zavarenih spojeva izvode u realnim uslovima eksploatacije ili na atmosferskim korozionim stanicama. To su posebno odabrana mesta, najčešće sa primorskom, industrijskom ili seoskom atmosferom, gde se vrši izlaganje uzoraka i praćenje nastalih promena na njima, usled korozije.

Na atmosferskim korozionim stanicama se vrše ne samo ispitivanja otpornosti metala, legura i njihovih zavarenih spojeva prema opštoj koroziji, već i ispitivanja drugih vidova korozije (piting, selektivna korozija, naponska korozija itd.)

Ispitivanja na korozionim stanicama su dugotrajna, pa se često primenjuju ubrzana laboratorijska ispitivanja, tokom kojih dolazi do korozionih razaranja za relativno kratko vreme. Ubrzanje korozionih procesa se postiže dejstvom agresivnih komponentata, nametanjem određenog elektrodnog potencijala, povećanjem temperature i stepena vlažnosti itd. Rezultate ubrzanih laboratorijskih ispitivanja neophodno je uporediti sa podacima dobijenim tokom eksploatacije, kako bi se dobila odgovarajuća korelacija sa korozionim ponašanjem u realnim uslovima.



Ispitivanja u komorama

U komorama za koroziona ispitivanja se ubrzanje korozionog procesa vrši povećanjem temperature i relativne vlažnosti vazduha, uz uvođenje agresivnih komponenata u atmosferu komore. Najvažnija su ispitivanja u vlažnoj komori, u komori sa SO₂ i u slanoj komori (NSS, ASS i CASS metoda). Sve navedene metode se koriste za ispitivanje ne samo opšte korozije metala i legura i njihovih zavarenih spojeva, već i za ispitivanje drugih vidova korozije, kao što je piting, korozija u zazorima, naponska korozija itd.

Ispitivanja kontinualnim i naizmjeničnim potapanjem

Prilikom ovih ispitivanja ubrzanje korozionog procesa se ostvaruje kontinualnim ili naizmjeničnim potapanjem uzoraka u rastvore određenog sastava, na određenoj temperaturi. Ispitivanja se najčešće izvode u rastvorima hlorida (NaCl, FeCl₃), obično uz dodavanje nekog oksidacionog sredstva (H₂O₂, KCrO₄). Na ovaj način se ispituje ne samo opšta korozija metala, legura i njihovih zavarenih spojeva, već se ispituju i drugi vidovi korozije (piting, naponska korozija itd).

Elektrohemijske metode

Za primenu elektrohemijjskih metoda u cilju ispitivanja korozionih karakteristika zavarenog spoja, potrebno je izvršiti određene modifikacije tih metoda. Na primer, zbog heterogenosti zone uticaja toplote i metala šava, potrebno je izraditi mikroelektrode iz različitih oblasti zavarenog spoja. Takođe je potrebno primeniti specijalno konstruisane elektrohemijjske ćelije, koje omogućavaju ispitivanje tačno određenih oblasti zavarenog spoja, ili posebne monitore korozije, koji se postavljaju na odabranim mestima zavarenog spoja itd.

Registrowanje krivih polarizacije se široko primenjuje za izučavanje mehanizama i kinetike elektrohemijjskih korozionih procesa. Registrowanje krivih polarizacije vrši se najčešće stacionarnom potenciostatskom i potenciodinamičkom metodom [1,9-11]. Krive polarizacije u mnogim slučajevima predstavljaju polaznu osnovu pri ispitivanju naponske i drugih vidova korozije elektrohemijjskim i neelektrohemijskim metodama.

Kod potenciodinamičke metode radnoj elektrodi se zadaje ulazni signal u obliku linearno rastućeg potencijala, koji se kontinualno menja određenom brzinom. Istovremeno se registruje odgovarajuća struja, tj. odziv sistema se dobija u obliku $E-j$ ili $E-\log j$ zavisnosti. Potenciodinamička metoda omogućava brzo upoznavanje kvalitativnih osobina složenih elektrohemijjskih sistema, pa se često koristi za preliminarna ispitivanja u cilju dobijanja podataka koji upućuju na izbor adekvatnih metoda za proučavanje kinetike i mehanizama određenog elektrohemijjskog, odnosno korozionog procesa. Potenciodinamička metoda se od svih elektrohemijjskih metoda najviše primenjuje pri izučavanju naponske i drugih vidova korozije.

Metoda AC-impedanse se zasniva na saopštavanju naizmeničnog napona (ili naizmenične struje) male amplitude radnoj elektrodi i merenju impedanse elektrode. Metoda omogućava određivanje vrednosti i strukture impedanse granice dodira faza metal/elektrolit pri odvijanju elektrohemijjskih reakcija. Metoda se u novije vreme sve šire primenjuje za izučavanje lokalizovanih vidova korozije, a posebno naponske korozije.

Korozioni potencijal je svojstvo svakog korozionog sistema. Izmerena vrednost E_{kor} je koristan pokazatelj stanja metalnih materijala (sastav i struktura), pa se pri ispitivanju različitih vidova korozije često vrši praćenje i registrovanje promene E_{kor} u zavisnosti od vremena. Na osnovu vrednosti E_{kor} može da se odredi da li će se neka reakcija spontano odigravati, ali se ne mogu dobiti informacije o brzini korozionih reakcija.

Ispitivanje galvanske korozije

Galvanska korozija je jedan od vidova korozije, mada galvanski efekti mogu da utiču na brzinu bilo kog drugog vida korozije [12-14]. Za ispitivanja galvanske korozije mogu se primeniti, uz određene modifikacije, metode ispitivanja drugih vidova korozije kao što su metode ispitivanja opšte korozije, pitinga ili naponske korozije.

Laboratorijska ispitivanja galvanske korozije se mogu izvršiti primenom elektrohemijjskih 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 korozionoj sredini. Standard ASTM G 82 daje preporuke za primenu galvanskog niza u cilju smanjenja mogućnosti pojave galvanske korozije različitih metala i legura u morskoj vodi. Za pojedine metale i njihove legure u različitim termičkim stanjima (npr. za aluminijumske legure) formirani su odgovarajući galvanski nizovi u različitim korozionim sredinama. Legura sa najnegativnijim korozionim potencijalom podleže ubrzanju koroziji kada je u električnom kontaktu sa legurom čiji je potencijal pozitivniji. Međutim, na osnovu galvanskog niza ne mogu se dobiti nikakve informacije o brzini korozije.

Razmatranjem krivih polarizacije metala i legura koji su u kontaktu mogu se dobiti korisne informacije o brzini galvanske korozije. Snimanje krivih polarizacije može se izvršiti potenciostatskom ili potenciodinamičkom metodom. Za elektrohemijjska ispitivanja galvanske korozije zavarenih spojeva razrađene su posebne tehnike.

Za ispitivanje galvanske korozije u uslovima potpunog potapanja uzoraka u rastvore elektrolita mogu se primeniti preporuke standarda ASTM G 71, a za ispitivanje galvanske korozije u atmosferskim uslovima preporuke standarda ISO 7441.

Ispitivanje selektivne korozije

Reakcije koje dovode do selektivne korozije su relativno spore, pa je za ispitivanja u realnim uslovima



potreban duži vremenski period. Potreba za ispitivanjima koja bi se realizovala u relativno kratkom vremenskom periodu i koja bi omogućila da se oceni sklonost legura prema selektivnoj koroziji dovela je do razvoja ubrzanih laboratorijskih ispitivanja. Primenjuju se različiti načini za ubrzavanje procesa selektivne korozije. Tako se za ubrzanje selektivne korozije Cu-Zn legura (decinkacija) koristi zasićen rastvor bakar(II)-hlorida. Takođe se primenjuje i elektrohemijsko ubrzavanje korozionih procesa pri selektivnoj koroziji [3].

Standard JUS C.A5.015, odnosno ISO 6509, daje detaljna uputstva za ispitivanje otpornosti prema decinkaciji legura bakra sa cinkom. Ispitivanja se izvode u rastvoru koji sadrži bakar(II)-hlorid, na povišenoj temperaturi, u toku 24 h. Posle toga, na poprečnom preseku uzorka vrši se mikroskopsko ispitivanje karaktera decinkacije (slojevita ili lokalna), kao i određivanje maksimalne i srednje dubine decinkacije. Metoda opisana u navedenom standardu se može primeniti u cilju istraživanja ili kontrole kvaliteta različitih proizvoda i njihovih zavarenih spojeva, u slatkim ili slanim vodama.

Za ispitivanje selektivne korozije drugih legura takođe su razrađene ubrzane laboratorijske metode, ali korelacija rezultata koji su dobijeni primenom tih metoda, sa ponašanjem legura u realnim uslovima eksploatacije, još uvek nije jednoznačno utvrđena [15].

Ispitivanje piting korozije

Za ocenu otpornosti prema pitingu metala i legura sa pasivnim filmom razvijene su posebne ubrzane metode. Ove metode mogu biti neelektrohemijske i elektrohemije, a neke od njih su i standardizovane.

Neelektrohemijske metode

Za ispitivanje piting korozije neelektrohemijskim metodama primenjuju se postupci potapanja u rastvore različitog sastava ili ispitivanja u komorama [16]. Oksidaciono-redukcioni potencijal rastvora za ispitivanje mora da bude pozitivniji od vrednosti piting potencijala metala koji se ispituje. Železo(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 G 48 propisuje postupke za određivanje otpornosti prema pitingu i koroziji u zazorima, u rastvoru železo(III)-hlorida. Razrađena su četiri postupka ispitivanja (A, B, C i D). Postupak A se sastoji u potapanju uzoraka u rastvor FeCl₃ u toku određenog vremena, na sobnoj ili povišenoj temperaturi. Koristi se za određivanje otpornosti prema piting koroziji nerđajućih čelika, kao i drugih legura (na bazi Ni, Cr itd.). U istom rastvoru vrši se i ispitivanje korozije u zazorima, na uzorcima odgovarajućeg oblika (postupak B).

Postupci C i D su namenjeni za određivanje kritične temperature pitinga (postupak C) i kritične temperature korozije u zazorima (postupak D). Izvode se u kiselom

rastvoru FeCl₃. Temperatura se povećava po 5 °C, u temperaturnom intervalu od 0 do 85 °C. Temperatura na kojoj dolazi do obrazovanja pitova smatra se kritičnom temperaturom piting korozije. Navedeni postupci se mogu koristiti za određivanje uticaja legirajućih elemenata, termičke obrade, kao i površinske obrade, na otpornost prema pitingu i koroziji u zazorima nerđajućih čelika i njihovih zavarenih spojeva.

Elektrohemijske metode

Skлонost prema piting koroziji nerđajućih čelika se često ispituje elektrohemijским metodama. Određuje se 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}). Vrednosti ovih pokazatelja piting korozije se određuju u zavisnosti od sastava i strukture nerđajućeg čelika ili sastava, pH vrednosti i temperature korozione sredine.

Standard ASTM G 61 opisuje postupak za izvođenje cikličnih potenciodinamičkih polarizacionih merenja, u cilju određivanja otpornosti prema lokalnim vidovima korozije (piting i korozija u zazorima). Pored vrednosti E_{pit} , moguće je odrediti i vrednost E_{prot} primenom navedenog standarda. Osnovni nedostatak potenciodinamičke metode je uticaj brzine promene potencijala na dobijene vrednosti E_{pit} i E_{prot} . Taj nedostatak se može prevazići primenom potenciostatske metode. Određivanje vrednosti E_{pit} može se izvesti i galvanostatskom metodom.

Veliki uticaj temperature na odvijanje procesa piting korozije doveo je do razvoja metoda za određivanje kritične temperature na kojoj dolazi do obrazovanja pitova. Pored hemijske metode, za određivanje kritične T_{pit} primenjuju se i elektrohemije metode.

Standard ASTM G 150 opisuje postupak za procenu otpornosti prema piting koroziji zasnovan na elektrohemijском određivanju kritične T_{pit} . Primenom potenciostatske tehnike određuje se kritična T_{pit} koja ne zavisi od potencijala. Uzorku se nameće određena vrednost anodnog potencijala, iz oblasti potencijala u kojoj kritična temperatura pitinga T_{pit} ne zavisi od potencijala (700 mV vs ZKE za nerđajuće čelike).

Povećanje temperature vrši se od 0 °C, postepeno, brzinom od 1 °C min⁻¹, uz istovremeno merenje gustine struje na uzorku. Nagli porast struje pri određenoj temperaturi ukazuje da je došlo do stabilnog rasta pitova. Temperatura pri kojoj gustina struje dostigne vrednost veću od 100 μA cm⁻² smatra se kritičnom temperaturom pitinga. Standard ASTM G 150 preporučuje izvođenje ispitivanja u rastvorima NaCl.

Drugi postupak određivanja kritične T_{pit} zasniva se na snimanju potenciodinamičkih krivih polarizacije na različitim temperaturama, sa kojih se određuju vrednosti E_{pit} . Sa dijagrama zavisnosti E_{pit} od temperature dobija se vrednost kritične T_{pit} .



Temperatura na kojoj dolazi do naglog pada vrednosti E_{pit} se smatra kritičnom temperaturom pitinga [17].

Ispitivanje korozije u zazorima

Ispitivanje korozije u zazorima se vrši hemijskim ili elektrohemijskim metodama [3]. Pri ispitivanju potapanjem u rastvor određenog sastava koriste se specijalni držači (za uzorke) koji se izrađuju od inertnog materijala (najčešće teflona). Oblik uzoraka i sastav nekih rastvora za ispitivanje korozije u zazorima dati su u standardu ASTM G 78.

Ispitivanje interkristalne korozije

Za ispitivanje otpornosti prema interkristalnoj koroziji nerđajućih čelika primenjuje se veći broj postupaka [18-20]. Ispitivanje austenitnih i feritno-austenitnih (dupleks) nerđajućih čelika može se vršiti u ključalom rastvoru HNO_3 (Huey test), prema standardu ISO 3651-1, (odnosno ASTM A 262, postupak C ili GOST 6032, postupak DU). Kao kriterijum za određivanje otpornosti prema interkristalnoj koroziji služi gubitak mase uzorka, posle svakog od pet predviđenih perioda ispitivanja od 48 h. U cilju određivanja otpornosti prema senzibilizaciji stabilizovanih (sa Ti i Nb) čelika ili čelika sa niskim sadržajem ugljenika, potrebno je izvršiti termičku obradu, tzv. senzibilizaciju. Zavarene spojeve pre ispitivanja nije potrebno senzibilizovati.

Za ispitivanje nerđajućih čelika koji su namenjeni za korišćenje u blago oksidacionim kiselim sredinama (npr. H_2SO_4 , H_3PO_4), primenjuje se jedna od tri metode navedene u standardu ISO 3651-2, u zavisnosti od sastava i strukture nerđajućeg čelika. Metoda A (Monypeny-Strauss test) se sastoji u ispitivanju čelika u ključalom rastvoru H_2SO_4 sa dodatkom $CuSO_4$. Tokom ispitivanja u navedenom rastvoru uzorci su u kontaktu sa opiljcima Cu.

Metoda B, slično kao prethodna metoda se sastoji u ispitivanju čelika u ključalom, nešto koncentrovanijem rastvoru H_2SO_4 , sa dodatkom $CuSO_4$ i Cu opiljaka. Ispitivanje po metodi C se izvodi u ključalom rastvoru H_2SO_4 sa dodatkom $Fe_2(SO_4)_3$, bez opiljaka Cu. Po završetku ispitivanja (koja traju 20 h), uzorci se savijaju pod odgovarajućim uglom i na savijenoj površini posmatra prisustvo ili odsustvo prslina nastalih usled interkristalne korozije.

U aneksu A navedenog standarda ISO 3651-2 definisana je primena određenog postupka ispitivanja (A, B, C) u zavisnosti od sastava i strukture nerđajućeg čelika. U standardima ASTM A 262 i GOST 6032 opisani su postupci ispitivanja interkristalne korozije nerđajućih čelika, od kojih su većina identična sa ISO postupcima.

Pre ispitivanja otpornosti prema interkristalnoj koroziji, standard ASTM A 262 preporučuje hemijsko nagrizanje nerđajućih čelika u oksalnoj kiselini, u cilju klasifikacije njihovih struktura s obzirom na otpornost prema interkristalnoj koroziji. Uzorci nerđajućeg čelika koji imaju prihvatljivu strukturu posle nagrizanja u oksalnoj

kiselini, smatraju se potpuno otpornim prema interkristalnoj koroziji i dalje se ne ispituju. Ako uzorci imaju neprihvatljivu strukturu, to još uvek ne znači da su neotporni prema interkristalnoj koroziji u određenim uslovima primene. Ovi uzorci se podvrgavaju daljem ispitivanju, prema nekoj od gore navedenih metoda, u cilju određivanja otpornosti prema interkristalnoj koroziji. Primeri prihvatljivih i neprihvatljivih struktura, posle nagrizanja u oksalnoj kiselini, dati su u navedenom standardu ASTM A 262.

Pored elektrohemijskih metoda za ispitivanja interkristalne korozije, koje su navedene u tabeli 1, veliku primenu ima metoda elektrohemijske potenciokinetičke reaktivacije (EPR metoda). Metoda je opisana u standardu ASTM G 108. Zasniva se na reaktivaciji (ponovnoj aktivaciji) metala iz pasivnog stanja i određivanju količine naelektrisanja proteklog u toku reaktivacije.

Kao mera sklonosti nerđajućeg čelika prema interkristalnoj koroziji i naponskoj interkristalnoj koroziji (stepen senzibilizacije) uzima se količina naelektrisanja generisanog pri korozionom napadu u toku reaktivacije.

U toku procesa reaktivacije dolazi do mnogo bržeg rastvaranja metala na senzibilizovanim nego na nesenzibilizovanim površinama. Hromom osiromašene lokalne oblasti generišu mnogo veću korozionu struju.

Postoje dve varijante EPR metode. Kod prve varijante, koja je opisana u ASTM G 108, promena potencijala započinje iz pasivne oblasti, a bilo kakvo reaktivaciono naelektrisanje koje se javi u toku ovog procesa uzima se kao merilo stepena senzibilizacije, koji se izražava preko normalizovanog naelektrisanja $P_a = Q/X$. Q je količina naelektrisanja protekla kroz granicu faza metal/elektrolit, a X površina granica zrna sa koje se vrši elektrohemijsko rastvaranje i izračunava se na osnovu površine uzorka i veličine zrna, u skladu sa standardom ASTM G 108.

Kod druge varijante EPR metode, promeni potencijala iz pasivne oblasti u katodnu oblast, prethodi promena potencijala u obratnom smeru, počev od korozionog potencijala. Kao merilo stepena senzibilizacije koristi se količnik I_r/I_a , gde I_r i I_a predstavljaju vrednost struje pika, na dijagramu koji je dobijen pri promeni potencijala u anodnom smeru (I_a) i pri reaktivaciji (I_r). Na ovaj način izbegnuta je potreba za određivanjem veličine zrna. Ova varijanta EPR metode opisana je u [10].

Prema standardu ASTM G 108, ispitivanje interkristalne korozije EPR metodom se vrši u rastvoru $H_2SO_4 + KSCN$, na temperaturi od 30 °C. U navedenom standardu su dati kriterijumi otpornosti prema interkristalnoj koroziji za nerđajuće čelike. Metoda je nerazarajuća, brza i kvantitativna, što su njene osnovne prednosti u odnosu na ostale standardizovane neelektrohemijske metode za ispitivanje interkristalne korozije. Rezultati dobijeni primenom EPR metode su u direktnoj vezi sa otpornošću prema naponskoj koroziji. Obično, ako je čelik sklon interkristalnoj koroziji, on je sklon i naponskoj koroziji.



Tabela 1: Pregled metoda za ispitivanje interkristalne korozije prema ISO, ASTM i GOST standardima.

Table 1: Methods of intergranular corrosion testing according to ISO, ASTM and GOST standards.

Metoda / Standard	ISO	ASTM	GOST 6032
65% HNO ₃ (Huey test)	3651-1	A 262 Postupak C	Metoda DU
16% H ₂ SO ₄ + CuSO ₄ (Monypenny-Strauss test)	3651-2 Metoda A	A 262 Postupak E	Metoda AM
35% H ₂ SO ₄ + CuSO ₄	3651-2 Metoda B	-	-
40% H ₂ SO ₄ + Fe ₂ (SO ₄) ₃	3651-2 Metoda C	-	-
Elektrohemijsko nagrizanje u H ₂ C ₂ O ₄	-	A 262 Postupak A	Metoda TŠK
50% H ₂ SO ₄ + Fe ₂ (SO ₄) ₃	-	A 262 Postupak B	Metoda VU
10% HNO ₃ + 3% HF	-	A 262 Postupak D	-
50% H ₂ SO ₄ + CuSO ₄	-	A 262 Postupak F	-
100 cm ³ H ₂ SO ₄ (ρ=1,84) + 100 g CuSO ₄ + H ₂ O do 1000 cm ³	-	A 708	-
250 cm ³ H ₂ SO ₄ (ρ=1,83) + 50 g CuSO ₄ + 1000 cm ³ H ₂ O	-	-	Metoda AMU
250 cm ³ H ₂ SO ₄ (ρ=1,83) + 50 g CuSO ₄ + 128gNaF+1000 cm ³ H ₂ O	-	-	Metoda AMUF
55 cm ³ CuSO ₄ (ρ=1,83) + 110 g CuSO ₄ + 1000 cm ³ H ₂ O	-	-	Metoda V
Anodno nagrizanje u H ₂ SO ₄ (inhibitor urotropin)	-	-	Metoda B
Hemijsko nagrizanje u H ₂ SO ₄ + HCl	-	-	Tabela 5 (GOST 6032)
Hemijsko nagrizanje u HCl + HNO ₃	-	-	Tabela 5 (GOST 6032)
Elektrohemijsko nagrizanje u limunskoj kiselini	-	-	Tabela 5 (GOST 6032)

Za ispitivanje interkristalne korozije aluminijumskih legura i njihovih zavarenih spojeva mogu se koristiti odgovarajući standardi [21], npr. ASTM G 67 za 5000 seriju i ASTM G 110 za 2000 i 7000 seriju aluminijumskih legura.

Ispitivanje naponske korozije i vodonične krtosti

Za ispitivanje otpornosti zavarenih spojeva prema naponskoj koroziji i vodoničnoj krtosti primenjuju se iste metode kao i za ispitivanje naponske korozije uopšte, uz određene modifikacije.

Metode ispitivanja statički opterećenih glatkih uzoraka

Ove metode se obično primenjuju pri različitim konstantnim nivoima naprezanja [22-24]. Meri se vreme do pojave prsline ili loma uzoraka u odgovarajućoj korozionoj sredini. Kritično naprezanje se određuje za

beskonačno dugo vreme do loma, odnosno za dovoljno dug period ispitivanja. Ukupno vreme do loma, pri datom naprezanju, se sastoji od vremena potrebnog za obrazovanje prsline (inkubaciono vreme) i vremena potrebnog za rast prsline.

Inkubaciono vreme obično obuhvata vreme za obrazovanje pitova i njihov rast do veličine pri kojoj se transformišu u naponsko-korozionu prslinu. Pri naprezanjima većim od kritičnog dolazi do obrazovanja i rasta pitova i njihove transformacije u naponsko-korozionu prslinu. Prsline može nastati i pri interkristalnoj koroziji, ukoliko je metal sklon ovom vidu korozionog razaranja. Takođe, prsline može nastati na mestima različitih defekata na površini metala, kao što su zavareni spojevi. Nekada se ispitivanja izvode pri konstantnoj deformaciji uzorka. Tada se meri vreme do obrazovanja prve vidljive prsline ili vreme do loma.

Za izvođenje ispitivanja primenom ove metode mogu se koristiti ASTM, ISO, GOST ili neki drugi standardi:



ASTM G 30 i ISO 7539-3 (za uzorke U oblika), ASTM G 38 i ISO 7539-5 (C prstenovi), ASTM G 39 i ISO 7539-2 (savijanje), ASTM G 49 i ISO 7539-4 (direktno zatezanje).

Navedeni standardi definišu oblik uzoraka, dok uslove ispitivanja u različitim korozionim sredinama definišu ostali standardi. Za ispitivanje naponske korozije nerđajućih čelika primenjuju se:

ASTM G 35 (politionske kiseline), ASTM G 36 ($MgCl_2$), ASTM G 41 (rastopi soli), ASTM G 44 (NaCl), ASTM G 123 (kiseli rastvor NaCl) i ISO 15324 (kapi NaCl). Standardi ASTM G 47 i ISO 9591 daju preporuke za ispitivanje naponske korozije aluminijumskih legura i njihovih zavarenih spojeva u različitim korozionim sredinama. U standardima ISO 6957 i ASTM G 37 opisan je postupak za ispitivanje naponske korozije legura Cu-Zn (mesing) u prisustvu zaostalih naprezanja, u amonijačnim rastvorima (Matsonov rastvor).

Standardi ASTM G 58, ISO 7539-8, GOST 26294 i DIN 50915 su posebno namenjeni za ispitivanje naponske korozije zavarenih spojeva. Ispitivanja se izvode pri spolja nametnutom naprezanju, ili na uzorcima sa zaostalim naprezanjima, koja su nastala usled prisustva zavarenih spojeva. U standardima su navedeni uslovi ispitivanja, kao i odgovarajući sastavi rastvora za ispitivanje, što omogućava predviđanje ponašanja zavarenih spojeva različitih konstrukcionih materijala u uslovima eksploatacije (morski uslovi, industrijska i seoska atmosfera i uslovi u hemijskoj procesnoj industriji).

Metoda male brzine zatezanja (SSRT test)

Ispitivanja naponske korozije metodom male brzine zatezanja se izvode pri sporom povećanju opterećenja ili deformacije, na glatkim uzorcima, ili na uzorcima sa zarezom ili prslinom. Obično, mašine za ispitivanje na zatezanje (kidalice), "vuku" uzorak, koji je u kontaktu sa korozionom sredinom, na suprotne strane malom brzinom. Metodu je razradio Parkins [22] sedamdesetih godina dvadesetog veka pod nazivom metoda male brzine deformacije (Slow Strain Rate Test, SSRT).

Navedena metoda je kvalitativna i primenjuje se za određivanje relativne sklonosti različitih metala i legura i njihovih zavarenih spojeva prema naponskoj koroziji. Njena prednost je velika brzina dobijanja rezultata. U poređenju sa ostalim metodama, vreme ispitivanja ovom metodom po jednom uzorku iznosi od nekoliko časova do nekoliko dana, dok se kod ostalih metoda vreme ispitivanja meri mesecima.

Postoji određeni kritični interval brzina zatezanja pri kojima dolazi do naponske korozije. Za izvođenje serijskih ispitivanja eksperimentalno se odabere jedna vrednost brzine zatezanja iz kritičnog intervala brzina zatezanja i sva naredna ispitivanja se izvode pri toj odabranoj brzini zatezanja. Određivanje sklonosti metala i legura i njihovih zavarenih spojeva prema naponskoj koroziji primenom SSRT metode se vrši u skladu sa standardima ASTM G 129 ili ISO 7539-7.

Metode mehanike loma

Za ispitivanje naponske korozije metala i legura i njihovih zavarenih spojeva često se primenjuju metode mehanike loma. Pri ispitivanju zavarenih spojeva potrebno je prethodno odrediti mesto u oblasti zavarenog spoja gde će se naneti zarez i zamorna prslina.

Stanje naprezanja na vrhu prsline mehanika loma definiše pomoću koeficijenta intenziteta napona K_I :

$$K_I = Y \cdot R \cdot \sqrt{\pi \cdot a}$$

gde je Y - geometrijski član, R - primenjeno naprezanje, a - dužina prsline.

Da bi došlo do rasta naponsko-korozione prsline, koeficijent intenziteta napona K_I mora da bude veći od neke kritične vrednosti $K_{I,SCC}$, koja se naziva kritični koeficijent intenziteta napona za rast naponsko-korozione prsline.

Osnovna prednost ispitivanja po metodologiji mehanike loma je u tome što se direktno dobijaju kvantitativni podaci o sklonosti legure prema naponskoj koroziji, kao što je kritični koeficijent intenziteta napona za rast naponsko-korozione prsline i brzina njenog rasta. Ti rezultati se mogu direktno koristiti za različite inženjerske proračune, kao što je npr. proračun radnog veka neke konstrukcije [22]. Osnovni zahtev za primenu mehanike loma je da debljina uzorka za ispitivanje bude veća od neke minimalne vrednosti, koja se proračunava na osnovu poznate žilavosti loma na vazduhu K_{IC} i granice tečenja $R_{0.2}$ te legure.

Ispitivanja se obično izvode pri konstantnom naprezanju ili pri konstantnom otvaranju prsline (COD), pri čemu se meri brzina rasta prsline $v = da/dt$. U poslednjem slučaju formira se dijagram zavisnosti brzine rasta prsline $\log da/dt$ od koeficijenta intenziteta napona K_I . U cilju merenja brzine rasta prsline moraju se primeniti uzorci veće dužine. Najpogodniji za te potrebe su DCB i T-WOL uzorci. DCB uzorci se obično naprežu pomoću zavrtnjeva (COD metodologija) i izlažu dejstvu korozione sredine. Merenje dužine prsline se vrši sve dok brzina rasta prsline ne postane dovoljno niska. Posle ispitivanja izvrši se dodatni mehanički lom uzoraka. Na površini loma meri se dužina mehaničke prsline (obrazovane pri dejstvu naprezanja izazvanog pomoću zavrtnjeva), kao i ukupna dužina prsline (mehanička i naponsko-koroziona prslina).

Na osnovu dužine mehaničke prsline a_C i odgovarajuće COD vrednosti određuje se vrednost žilavosti loma K_{IC} za ispitivani materijal, na osnovu jednačine date u standardu ASTM G 168. Izračunata vrednost žilavosti loma predstavlja početnu vrednost K_I za dalje ispitivanje naponske korozije. Na analogan način određuje se vrednost koeficijenta intenziteta napona pri zaustavljanju prsline $K_{I,SCC}$. Podaci o dužini prsline se prikazuju u zavisnosti od vremena ispitivanja u korozionoj sredini i koriste se za proračun brzine rasta



prslina $v = da/dt$, kao i za proračun odgovarajućih vrednosti K_I .

Za ispitivanje naponske korozije po metodologiji mehanike loma mogu se primeniti standardi ASTM G 168 ili ISO 7539-6 (za DCB uzorke), ili ASTM E 1681 ili ISO 7539 7539-6 (za T-WOL uzorke, kompaktne i druge uzorke).

Ispitivanje korozionog zamora

Korozione sredine mogu da izazovu formiranje zamornih prslina u metalima i legurama, kao i da povećaju brzinu njihovog rasta. Dok je naponska korozija ograničena na specifične kombinacije metal/koroziona sredina, to nije slučaj sa korozionim zamorom. Korozioni zamor izazivaju sredine koje izazivaju naponsku koroziju, ali i mnoge druge sredine [25].

Laboratorijaka ispitivanja korozionog zamora se mogu podeliti na ispitivanja do obrazovanja prslina ili loma i na ispitivanja brzine rasta prslina.

Određivanje broja ciklusa do loma

Pri ispitivanju broja ciklusa do loma koriste se glatki uzorci ili uzorci sa zarezom. Dobijeni podaci se mogu koristiti u cilju sprečavanja lomova inženjerskih konstrukcija, koji su izazvani korozionim zamorom u različitim korozionim sredinama.

U prisustvu korozione sredine dinamička čvrstoća metala ili legure S_N se smanjuje do nivoa koji zavisi od prirode sredine i uslova ispitivanja. Na primer, dobro definisana granica dinamičke čvrstoće na vazduhu za čelik, u korozionoj sredini praktično ne postoji.

Ova ispitivanja se koriste za određivanje uticaja korozione sredine, strukture i sastava materijala i njihovih zavarenih spojeva, kao i geometrije, stanja površine i naprezanja, na otpornost prema korozionom zamoru. Faktori korozione sredine kao što su elektrodni potencijal, temperatura, pH vrednost rastvora za ispitivanje itd, moraju se strogo kontrolisati. Frekvencija primenjenog naprezanja ima veliki uticaj pri ispitivanjima korozionog zamora, zbog vremenske zavisnosti korozionih procesa. Pri ispitivanju u inertnoj sredini, frekvencija nema većeg uticaja na otpornost metala i legura prema zamoru. Oblik talasa primenjenog naprezanja takođe ima značajan uticaj na odvijanje procesa korozionog zamora. Često se primenjuju talasi oblika sinusoide, trougla, stepenice, testerasti itd., da bi se simulirali uslovi opterećenja u eksploataciji.

Internacionalni standard ISO 11782-1 daje detaljne preporuke i uputstva za izvođenje ispitivanja korozionog zamora metala i legura i njihovih zavarenih spojeva.

Određivanje brzine rasta koroziono-zamorne prslina

Za ova ispitivanja koriste se uzorci sa prethodno nanetom zamornom prslinom, u cilju određivanja kritičnog opsega intenziteta napona ΔK_{th} i brzine-rasta

koroziono-zamorne prslina da/dN . Ova ispitivanja su od velikog značaja za proračun radnog veka konstrukcija koje su izložene istovremenom dejstvu korozione sredine i cikličnih naprezanja. Relativno tanki uzorci nisu pogodni za ovakva ispitivanja, zato što je potrebno održati troosno stanje naprezanja na vrhu prslina, pa se primenjuju uzorci većih debljina (ploče, šipke, otkovci, zavareni spojevi itd.).

Kao i kod određivanja broja ciklusa do loma, rezultati ispitivanja brzine rasta koroziono-zamorne prslina su pogodni za direktnu primenu jedino kada uslovi ispitivanja odgovaraju uslovima eksploatacije.

Internacionalni standard ISO 11782-2 daje preporuke za primenu metoda mehanike loma za određivanje brzine rasta prethodno nanete zamorne prslina, pri cikličnom opterećenju u određenoj korozionoj sredini, kao i za određivanje vrednosti kritičnog opsega intenziteta napona. Pri vrednostima opsega intenziteta napona nižim od kritične, brzina rasta koroziono-zamorne prslina postaje zanemarljivo mala.

Ispitivanje brzine rasta koroziono-zamorne prslina se vrši u korozionoj sredini, pod uslovima koji su relevantni za određenu primenu. Tokom ispitivanja prati se promena dužine prslina u zavisnosti od broja proteklih ciklusa ispitivanja da/dN . Ovi podaci se podvrgavaju numeričkoj analizi, tako da se brzina rasta prslina da/dN izražava u funkciji opsega intenziteta napona ΔK . Parisova jednačina, koja opisuje tu zavisnost, se takođe često primenjuje u slučaju korozionog zamora, ali ne u slučajevima kada ne postoji linearna zavisnost između $\log da/dN$ i $\log \Delta K$.

Interesantno je da vrednost ΔK_{th} može biti viša ili niža od vrednosti određene u inertnoj sredini, što je posledica uticaja korozione sredine na oblik vrha koroziono-zamorne prslina. Ako dođe do zaobljavanja vrha prslina pod dejstvom korozione sredine, vrednost ΔK_{th} će biti veća od one dobijene na vazduhu. Vrednost ΔK_{th} se određuje pri kontrolisanom smanjenju opsega intenziteta napona, sve dok brzina rasta koroziono-zamorne prslina ne postane zanemarljivo mala (da/dN manje od 10^{-8} m/ciklus).

Merenje dužine rasta koroziono-zamorne prslina se može izvršiti primenom neke od uobičajenih metoda, kao što su vizuelna metoda (primenom mikroskopa), merenjem električne otpornosti (primenom jednosmerne ili naizmernične struje) i merenjem veličine otvaranja prslina. Ove metode su detaljno opisane u naverenom ISO standardu.

Ispitivanja se mogu izvoditi pri uslovima otvorenog kola, ili pri spolja nametnutom elektrodnom potencijalu. Uticaj frekvencije je veoma izražen na brzinu rasta koroziono-zamorne prslina, kao i kod ispitivanja broja ciklusa do loma. Veliki uticaj na korozioni zamor ima oblik talasa primenjenog naprezanja, koji pri datoj frekvenciji određuje brzinu razaranja pasivnog filma, pa prema tome i brzinu rasta koroziono-zamorne prslina.

Opisana metoda je prikazana u standardu ISO 11782-2.



Postupci sprečavanja korozije zavarenih spojeva

Postoji više postupaka za sprečavanje pojave korozije zavarenih spojeva, od kojih su najvažniji sledeći [7]:

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

Priprema površine. Pravilno odabran postupak čišćenja može da smanji pojavu defekata koji su često mesta korozionog napada u agresivnim sredinama. Međutim, postupak čišćenja može da bude i uzrok pojave korozije. Na primer, mehanički tretirana površina (peskarenjem ili brušenjem) ostavlja nečistoće na površini zavarenog spoja, koje mogu da utiču na pojavu korozije.

Projektovanje zavarenog spoja. Šav zavarenog spoja treba da bude niskog profila, sa ravnim ivicama, kako bi se onemogućilo zadržavanje troske na površini. Nepravilno projektovanje zavarenog spoja može da izazove pojavu zazora u kojima dolazi do zadržavanja elektrolita, odnosno do obrazovanja pitova i pojave korozije u zazorima. Takođe, nepravilan oblik šava može u cevima da izazove turbulentan protok fluida, odnosno pojavu eroziona 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 u postupku zavarivanja upotrebljava prah, geometrija zavarenog spoja mora biti takva da omogući jednostavno uklanjanje praha, zato što neki njegovi sastojci mogu da budu hidrofilni ili korozivni.

Površinska obrada zavarenog spoja. Maksimalna otpornost prema koroziji se postiže ako je površina metala šava glatka, ravnomerno oksidisana, bez stranih čestica i drugih nepravilnosti. Površinska hrapavost šava se obično smanjuje naknadnim brušenjem. Za glatke šavove dovoljna je primena metalnih četki. Međutim, u slučaju nerđajućih čelika četkanje može da naruši postojeći pasivni film i tako omogućiti intenzivniji korozioni napad.

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. Termičkom obradom se postiže smanjenje gradijenta unutrašnjih naprezanja, koji utiču na rast naponsko-koroziona prsline. Naknadna termička obrada (žarenje) olakšava uklanjanje vodonika iz zavarenog spoja i smanjuje opasnost od pojave vodonične krtosti. Naknadna termička obrada može

takođe da smanji razlike u sastavu, tj. mikrosegregacije, što sprečava obrazovanje mikrogalvanskih spregova.

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

Pasivacija površine. Postupkom pasivacije može da se poveća otpornost prema koroziji zavarenih delova od nerđajućih čelika.

Sprečavanje obrazovanja zazora. Pravilnim izborom topivih elektroda, postupka zavarivanja i pažljivim uklanjanjem troske posle zavarivanja može se izbeći obrazovanje zazora, odnosno pojava nekog od lokalnih vidova korozije.

Uklanjanje izvora vodonika. Pažljivim izborom topive 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 krtosti (hladne prsline).

ZAKLJUČAK

U ovom radu, koji je peti i poslednji u nizu tematski povezanih radova koji se odnose na koroziju zavarenih spojeva, opisane su osnovne metode ispitivanja i najvažniji postupci za sprečavanje korozije zavarenih spojeva. Detaljno su prikazane metode za ispitivanje naponske, piting i interkristalne korozije, uz navođenje odgovarajućih standarda za njihovo izvođenje. Manje detaljno su opisane metode za ispitivanje opšte korozije, galvanске korozije i korozije u zazorima, kao i korozionog zamora. Različiti postupci za sprečavanje korozije zavarenih spojeva su takođe detaljnije razmatrani.

U predhodnim delovima ovog rada razmatrani su oblici korozije zavarenih spojeva uopšte (deo I), osnovni vidovi korozije koji se sreću u praksi kod ugljeničnih i niskolegiranih čelika (deo II), austenitnih, martenzitnih, feritnih i duplex nerđajućih čelika (deo III), kao i kod aluminijumskih legura, legura bakra i legura Ti (deo IV).

LITERATURA

- [1] A. R. Despić, D. M. Dražić i O. Tatić-Janjić, Osnovi elektrohemije, Naučna knjiga, Beograd, 1970.
- [2] S. Mladenović, M. Petrović i G. Rikovski, Korozija i zaštita materijala, IRO »Rad«, Beograd, 1985.
- [3] K. A. Chandler, Marine and Offshore Corrosion, Butterworths, London, 1985.
- [4] C. P. Dillon, Corrosion Control in the Chemical Process Industries, McGraw-Hill Book Company, New York, 1986.
- [5] V. Šijački-Žeravčić, A. Milosavljević i A. Sedmak, Priručnik za mašinske materijale, zavarivanje, lemljenje i livenje, Mašinski fakultet, Beograd, 1996.
- [6] A. Sedmak, V. Šijački-Žeravčić, A. Milosavljević, V. Đorđević i M. Vukićević, Mašinski materijali, drugi deo, Mašinski fakultet, Beograd, 2000.



- [7] A. Wahid, D. L. Olson and D. K. Matlock, Corrosion of Weldments, in ASM Handbook, Vol. 6, Welding, Brazing and Soldering, Ohio, 1997., 1065-1069.
- [8] K. G. Budinski, Engineering Materials, Properties and Selection, Prentice-Hall Company, Virginia, 1979.
- [9] J. R. Scully, Electrochemical Methods of Corrosion Testing, in ASM Handbook, Vol. 13, Corrosion, Ohio, 1998, 212-220.
- [10] B. Bobić, Elektrohemijske metode za ispitivanje naponske korozije i korozionog zamora metalnih materijala, TS 004-01-0074, VTI Beograd, 1993.
- [11] P. R. Roberge, Handbook of Corrosion Engineering, McGraw-Hill, New York, 2000.
- [12] H. P. Hack and D. Taylor, Evaluation of Galvanic Corrosion, in ASM Handbook, Vol. 13, Corrosion, Ohio, 1998., 234 – 238.
- [13] H. H. Uhlig and R. W. Revie, Corrosion and Corrosion Control, An Introduction to Corrosion Science and Engineering, Third Edition, John Wiley and Sons, New York, 1985.
- [14] H. Kaesche, Die Korrosion der Metalle, physicalisch-chemische Prinzipien un aktuelle Probleme, Berlin, 1979.
- [15] R. Steigerwald, Metallurgically Influenced Corrosion, in ASM Handbook, Vol. 13, Corrosion, Ohio, 1998, 123-135.
- [16] H. Bohni, Localized Corrosion of Passive Metals, in Uhlig's Corrosion Handbook, Second Edition, Ed. R. W. Revie, John Wiley and Sons, Inc., New York, 2000. 173-190.
- [17] M. H. Moayed, N. J. Laycock and R. C. Newman, Dependence of the Critical Pitting Temperature on Surface Roughness, Corrosion Science, Vol. 45, 2003., 1203-1216.
- [18] K. F. Krysiak, Corrosion of Weldments, in ASM Handbook Vol. 13, Corrosion, Ohio, 1998., 344-368.
- [19] R. A. Jarman, Design in Relation to Welding and Joining, in Corrosion, Vol. 2, Corrosion Control, Ed. L. L. Shreir, J. A. Jarman and D. T. Burstein, Butterworth, Oxford, 2000., 9:85-9:104.
- [20] R. P. M. Procter, Effects of Metallurgical Structures on Corrosion, in Corrosion, Vol. 1, Metal/Environment Reactions, Ed., L. L. Shreir, R. A. Jarman and G. T. Burstein, Butterworth, Oxford, 2000., 1:36-1:54.
- [21] J. R. Davis, Corrosion of Aluminum and Aluminum Alloys, ASM, Ohio, 1999.
- [22] R. H. Jones, Stress Corrosion Cracking, in ASM Handbook, Vol. 13, Corrosion, Ohio, 1998., 145-163.
- [23] D. Dražić and B. Jegdić, Corrosion and Stress Corrosion Cracking, in IFMASS8, From Fracture Mechanics to Structural Integrity Assessment, Ed. S. Sedmak and Z. Radaković, Belgrade, 2004, 255-276.
- [24] B. Craig, Hydrogen Damage, in ASM Handbook, Vol. 13 Corrosion, Ohio, 1998., 163-171
- [25] D. O. Sprowls, Evaluation of Corrosion Fatigue, in ASM Handbook, Vol. 13, Corrosion, Ohio, 1998., 291-302.



SAVETOVANJE SA MEĐUNARODNIM UČEŠĆEM “ZAVARIVANJE 2006”

Zlatibor, 25-28. april 2006.

Po prvi put je organizovano zajedničko savetovanje sa Srpskim društvom za ispitivanje bez razaranja – SDIBR, tako da je uz “Zavarivanje 2006” održano i savetovanje “IBR-2006”.

Savetovanje je održano u hotelu “Ratko Mitrović”.

Za ovo savetovanje prijavljeno je i poslato 36 radova podeljenih u 4 tematske celine:

1. Postupci zavarivanja
Prijavljeno 20, izloženo 17 radova
2. Osnovni, dodatni i pomoćni materijali za zavarivanje
Prijavljeno 4, izloženo 4 radova
3. Osiguranje kvaliteta i integritet konstrukcija
Prijavljeno 8, izloženo 7 radova
4. Tehnička regulativa, obrazovanje i zaštita
Prijavljeno 4, izloženo 4 radova

Ukupno je prijavljeno i narezano na CD-romu (zborniku radova) 36, a izložena su 32 rada.

Autori radova su iz 9 zemalja (BiH, Hrvatska, Nemačka, Ukrajina, Slovačka, Slovenija, Makedonija, Rumunija i SCG).

Autori ili koautori iz inostranstva pojavljuju se na ukupno 20 radova sa, 20 imena. Izlagali su autori iz 7 zemalja. Gosti-autori su bili iz 5 zemalja (BiH 2, Hrvatska 2, Slovačka 2, Slovenija 1 i Rumunija 1).

Pored toga, bilo je 22 (izloženo 18) rada iz područja IBR od čega je bar polovina bila u vezi sa zavarivanjem.