

Ljiljana Pedišić, Stoja Rešković, Josip Topolovec

ISSN 0350-350X

GOMABN 53, 3, 236-247

Stručni rad / Professional paper

ISPITIVANJE UZROKA KOROZIJE ŠAVNIH CIJEVI

Sažetak

U procesu proizvodnje šavnih cijevi primjenjuje se tekućina za hlađenje, podmazivanje i ispiranje, koja osim funkcijskih svojstava ima i svojstva zaštite od korozije. Nakon procesa proizvodnje, cijevi se transportiraju u skladište. Tijekom skladištenja, nakon nekog vremena zamijećene su na određenim mjestima na cijevima korozijske pojave. Cilj ovoga rada je bio istražiti uzroke korozije šavnih cijevi. U tu svrhu su kao mogući uzročnici korozije detaljno ispitani kemijski sastav čelika za izradbu cijevi, tehnološki parametri pri njihovoj proizvodnji i mogućnost kontaminacije cijevi tijekom proizvodnje i skladištenja cijevi. Kako se u procesu proizvodnje cijevi rabila emulzija za obradbu metala, pretpostavljeno je da je jedan od mogućih uzročnika korozije i emulzija. Rezultati istraživanja su pokazali da emulzija nije uzrok korozije šavnih cijevi.

Cljučne riječi: čelik, šavne cijevi, korozija, emulzija

1. Uvod

Proces proizvodnje šavnih cijevi započinje rasijecanjem trake u lamele čija širina odgovara opsegu cijevi [1,2]. Lamele se nakon toga poprečno zavaruju u "beskonačnu" traku, iz koje se najprije s više valjaka u nizu oblikuje a zatim zavaruje u cijev, najčešće visokofrekventnim postupkom [1-3]. Kod proizvodnje preciznih šavnih cijevi, one se nakon zavarivanja ispituju sukladno zahtjevima norma za izradbu cijevi, zatim se obrađuju njihovi krajevi, te se cijevi pakiraju u snopove i skladište. Promjer cijevi definiran je širinom lamele, a debljina stijenke cijevi debljinom trake iz koje se cijevi proizvode [4]. Kod proizvodnje toplovaljanih šavnih cijevi lamele su uvijek jednake širine, pa su i zavarene cijevi jednakih dimenzija [5]. Nakon zavarivanja, cijevi se zagrijavaju na temperaturu normalizacije radi uklanjanja unutarnjih naprezanja u materijalu, a zatim se zagrijavaju na temperature tople plastične deformacije (iznad 950 °C). Pritom se dobivaju promjeri cijevi i debljine njihove stijenke koji se razlikuju od početnih dimenzija. Nakon toga se cijevi režu na propisanu duljinu, hlade, ispituju sukladno važećim normama, pakiraju i skladište [5-7]. Tijekom procesa proizvodnje i preciznih i toplovaljanih cijevi, u više faza procesa proizvodnje cijevi dolaze u doticaj s emulzijom, slika 1.

U željezari Mechel u Sisku, u valjaonicama toplovaljanih i preciznih šavnih cijevi, rabljena je emulzija koja u sebi sadrži sredstvo za zaštitu od korozije istog proizvođača. Kao uložak za proizvodnju cijevi rabe se toplovaljane trake različitih dimenzija i različite kvalitete. Trake su nabavljane od različitih dobavljača. Provjera kvalitete pojedine trake provodila se u propisanim rokovima (traka nabavljena od novog dobavljača na početku njezine uporabe i povremeno tijekom dužeg razdoblja valjanja), sukladno propisanim normama [8,9]. Kvaliteta cijevi provjerava se provođenjem mehaničkih, tehnoloških i strukturnih ispitivanja, sukladno vrsti i traženoj kvaliteti cijevi. Izvaljane toplovaljane i precizne šavne cijevi propisane kvalitete se skladište u različitim skladištima koja su fizički odvojena i udaljena jedno od drugog.



Slika 1: Hlađenje impедера rashladnom emulzijom kod zavarivanja cijevi

Posebna pozornost posvećuje se cijevima koje ne zadovoljavaju s obzirom na propisana svojstva. One se izdvajaju iz procesa i ne smiju doći do kupca. Svakom prigovoru ili reklamaciji kupca pridaje se posebna važnost. U radu su prikazani rezultati ispitivanja cijevi na koje su kupci imali reklamaciju zbog korozije. Detaljnim pregledom ustanovljena je korozija i na cijevima koje su još uvijek bile na skladištu, a valjane su u istim kampanjama valjanja kao i reklamirane cijevi. Sve korodirane cijevi izvaljane su iz šest talina trake kupljene od istog proizvođača i jednake kvalitete, različitih dimenzija. Ustanovljeno je da je korozija prisutna na preko 80 % cijevi valjanih iz iste isporuke trake u istom razdoblju. Korozija se pojavila trideset dana nakon valjanja cijevi [10]. To je svakako zahtijevalo iznimnu pozornost i tražilo hitne odgovore na pitanje zašto je došlo do korozije, sa svrhom da se uklone njezini uzroci.

U radu su prikazani rezultati istraživanja međusobne povezanosti svojstava cijevi i uzroka korozije na šavnim toplovaljanim i preciznim cijevima. Uporabljene su normirane metode ispitivanja cijevi. Posebna pozornost posvećena je ispitivanju korozijske postojanosti cijevi i uzroku korozije.

2. Eksperimentalni dio

Ispitivanja su provedena na toplovaljanim šavnim cijevima dimenzije 12,7 mm × 2,65 mm i 38,1 mm × 3,25 mm, te preciznim šavnim cijevima dimenzije 25 mm × 25 mm × 2,00 mm. Ispitivanja su provedena primjenom metoda za ispitivanje kemijskog sastava, mehaničkih svojstava, makro i mikro strukture zavara i osnovnog materijala, te primjenom metoda za ispitivanje tekućina za obradbu metala, osobito njihovih svojstava u smislu zaštite od korozije prema međunarodnim ISO, DIN i ASTM normama i internim metodama proizvođača maziva [11-13].

Kemijski sastav određen je na optičkom emisijskom kvantometru MA-ARL 8660. Mehanička svojstva cijevi ispitana su na Instron kidalici. Uzorci za ispitivanje makro i mikro strukture cijevi pripremani su standardnim metalografskim postupkom: brušenjem brusnim papirom različite finoće, poliranjem i nagrizanjem nitalom. Ispitivanja su provedena na optičkom mikroskopu pri različitim povećanjima.

Za ispitivanje antikorozijskog djelovanja emulzije primijenjene su tri metode. Jedna od najpoznatijih metoda za ispitivanje korozijskih svojstava je korozija po Herbertu: DIN 51360/1, a sastoji se u određivanju korozijskih pojava na ispitnoj ploči od lijevanog željeza u prisutnosti čeličnih čestica. Na ploču dimenzija 100 mm × 100 mm stavi se dva grama čeličnih čestica koje se preliju jednim mililitrom emulzije i ostave mirovati pri normalnoj temperaturi i definiranoj vlažnosti tijekom 24 sata. Nakon toga se uklone metalne čestice i ocjenjuju promjene ispitne ploče na mjestima dodira s česticama. Prema metodi rezultat se iznosi kao SXRY, gdje je S - jačina obojenja ($X = 0 - 6$), R - veličina korodirane površine ($Y = 0 - 6$).

Filtar papir test DIN 51360/2 sastoji se u ispitivanju mrlja koje na filtrirnom papiru ostavljaju korodirane čestice od lijevanog željeza. U tu svrhu se na papir određenih dimenzija stavlja dva grama čestica, prelije s dva mililitra ispitne emulzije i ostavi stajati dva sata pri sobnoj temperaturi. Intenzitet korozije čestica ocjenjuje se prema intenzitetu korozijskih mrlja koje ostavljaju na filtrirnom papiru, ocjenom od 1 do 6.

Test korozije, Interni test 11 [12] simulira uvjete u primjeni tako da se predmetni materijal izloži uvjetima korozije u prisutnosti radne emulzije, bilo da se uroni u emulziju ili da se njome premaže, te se bez sušenja izloži korozivnoj atmosferi u vlažnoj komori.

3. Rezultati ispitivanja i rasprava

Precizne šavne cijevi 25 mm × 25 mm × 2 mm izvaljane su iz čelične toplovaljane trake kvalitete S240, debljine 2 mm. Toplovaljane šavne cijevi dimenzija 12,7 mm × 2,65 mm i 38,1 mm × 3,25 mm valjane su iz toplovaljane trake kvalitete S240, debljine 3,8 mm. Na slici 2 prikazane su korodirane precizne šavne cijevi na skladištu valjaonice preciznih šavnih cijevi. Provedena je kontrolna analiza kemijskog sastava na uzorcima od svih šest talina cijevi na kojima se pojavila korozija. Dobiveni rezultati dani su u tablici 1. Iz tablice 1 se vidi da je sadržaj svih kontroliranih elemenata u čeliku, osim bakra, u propisanim granicama. Maseni udio bakra u ovoj kvaliteti čelika kreće se od 0,15 % do 0,20 %.

Prema literaturnim podacima poznato je da čelik s vrlo malim sadržajem bakra ima malu otpornost prema atmosferskoj koroziji. Na koroziju ima utjecaj sadržaj Cu veći od 0,13 % [14]. Potom su ispitana mehanička svojstva cijevi. Dobiveni rezultati su dani u tablici 2.



Slika 2: Korodirane precizne šavne cijevi 25 mm × 25 mm × 2 mm

Tablica 1: Kemijski sastav cijevi

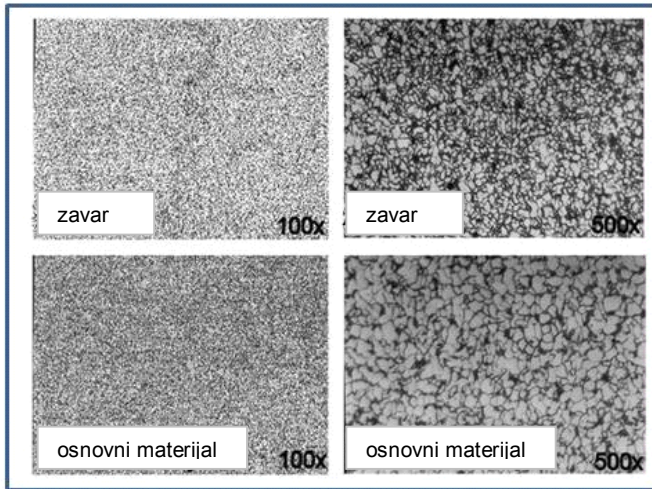
Tali na	Dimenzije cijevi / mm	Maseni udio komponenata u čeliku, w / %								
		C	Mn	P	S	Si	Cu	Al	Cr	Ni
1	25x25x2	0,15	0,50	0,012	0,012	0,13	0,08	0,040	0,040	0,040
2	25x25x2	0,18	0,49	0,014	0,012	0,10	0,06	0,030	0,040	0,040
3	12,7x2,65	0,18	0,50	0,016	0,013	0,12	0,06	0,020	0,020	0,020
4	12,7x2,65	0,18	0,50	0,012	0,009	0,12	0,06	0,020	0,020	0,020
5	38,1x3,25	0,15	0,49	0,011	0,012	0,11	0,08	0,020	0,040	0,030
6	38,1x3,25	0,18	0,50	0,012	0,010	0,13	0,08	0,040	0,040	0,040
Ugovoreni sastav		Maks. 0,19	-	Maks. 0,060	Maks. 0,060	-	-	-	-	-

Tablica 2: Mehanička svojstva cijevi

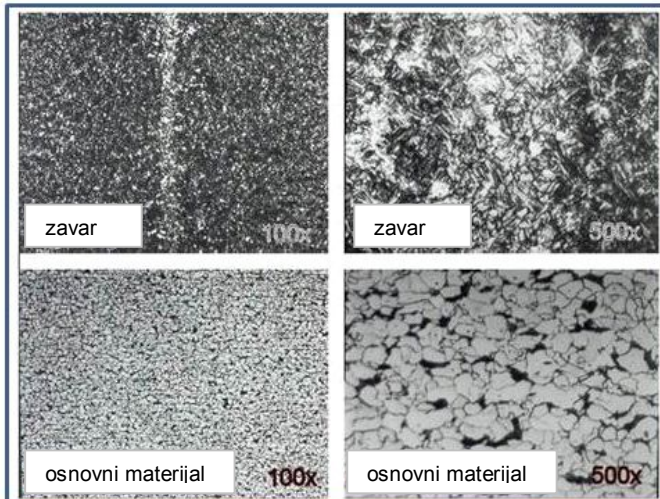
Talina	Dimenzije cijevi / mm	R_e / MPa	R_m / MPa	A_5 / %
1	25x25x2	336 do 360	390 do 415	26,3 do 30,5
2	25x25x2	342 do 360	370 do 410	30,0 do 30,5
3	12,7x2,65	430 do 440	430 do 450	26,9 do 30,0
4	12,7x2,65	440 do 430	440 do 450	30,3 do 32,0
5	38,1x3,25	395 do 405	450 do 470	29,3 do 30,0
6	38,1x3,25	435 do 440	460 do 475	28,3 do 30,5
Ugovorena svojstva cijevi		Min 235	360 do 480	Min 26,00

(R_e = granica razvlačenja, R_m = vlačna čvrstoća, A_5 = relativno produljenje)

Mehanička svojstva svih cijevi odgovaraju svojstvima propisanim standardom i zahtjevu kupca. Za metalografsku analizu pripremljeni su izbrusci s poprečnog presjeka cijevi. Napravljena je strukturna analiza na osnovnom materijalu i na mjestu zavora toplovaljane i precizne šavne cijevi, slika 3. Rezultati strukturne analize provedene na većem broju uzoraka svih cijevi nisu pokazali nikakva odstupanja u strukturi, koja bi se mogla povezati s korozijom cijevi. I toplovaljane i precizne šavne cijevi imale su homogenu strukturu, bez vidljivih uključaka i oštećenja na granicama zrna [1,2].

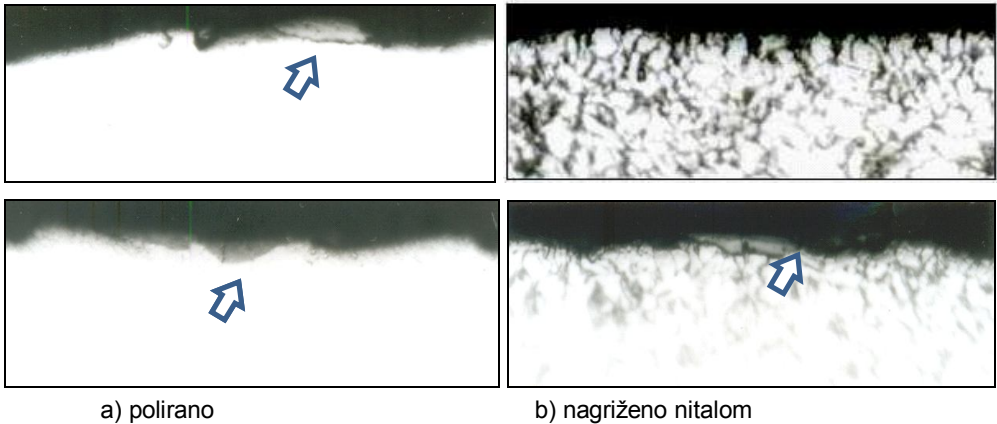


Slika 3a) Struktura cijevi - toplovaljana šavna cijev



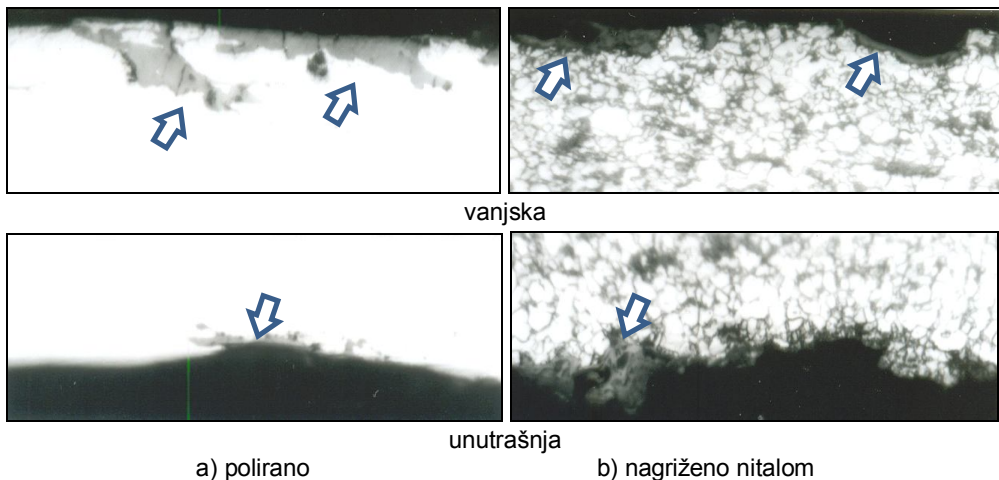
Slika 3b) Struktura cijevi - precizna šavna cijev

Na karakterističnim korodiranim uzorcima učinjena je detaljna analiza strukture, slike 4-6. Na vanjskoj površini cijevi 25 mm x 25 mm x 2 mm otkriveni su jedva uočljivi tragovi korozije dubine 0,006 mm, a na unutrašnjoj površini cijevi na ispitivanim presjecima nema tragova korozije [10]. Karakteristični snimci vanjske i unutrašnje površine cijevi prikazani su na slici 4.



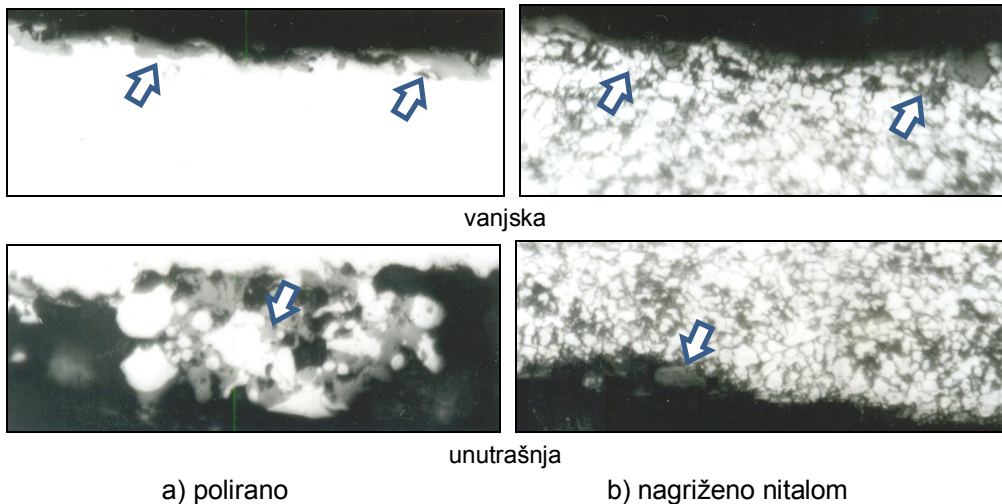
Slika 4: Korozija na vanjskoj površini precizne šavne cijevi 25 mm × 25 mm × 2 mm (strelicom je označena korozija na površini cijevi)

Korozija se javila i na toplovaljanim cijevima dimenzije 12,7 mm × 2,65 mm i 38,1 mm × 3,25 mm [10]. Detaljnom metalografskom analizom više karakterističnih uzoraka s korodiranom vanjskom površinom utvrđeno je da je korozija prisutna na vanjskoj i na unutrašnjoj površini cijevi, slike 5 i 6.



Slika 5: Korozija na vanjskoj i unutrašnjoj površini cijevi 12,7 mm × 2,65 mm (strelicom je označena korozija na površini cijevi)

Na vanjskoj površini cijevi 12,7 mm × 2,65 mm, slika 5, korozija je nešto više izražena, dubine do 0,028 mm, a na unutrašnjoj površini korozija je prisutna samo na pojedinim mjestima u vrlo tankom sloju, maksimalne dubine do 0,001 mm. Na cijevima 38,1 mm × 3,25 mm korozija je utvrđena samo na vanjskoj površini, do maksimalne dubine od 0,01 mm.



Slika 6: Korozija na vanjskoj i unutrašnjoj površini cijevi 38,1 mm × 3,25 mm (strelicom je označena korozija na površini cijevi)

Provedena analiza je pokazala da cijevi imaju propisani kemijski sastav i zadovoljavajuća mehanička svojstva. Sadržaj bakra se u ovoj kvaliteti ne propisuje, ali je kao i kod svih čelika ograničen njegov maksimalni maseni udio koji ne bi trebao prelaziti 0,3 %. Manji sadržaj bakra ukazuje na manju korozivnu otpornost čelika, ali se bez potrebnih konkretnih ispitivanja ne može zaključiti da je na ovim cijevima bakar odgovoran za koroziju cijevi. Moguće je da neki drugi procesni parametri potenciraju utjecaj malog sadržaja bakra, što može uzrokovati koroziju. To se posebno odnosi na zimsko razdoblje u kojem je atmosferska korozija pojačana zbog veće vlažnosti zraka i nepovoljnih temperatura.

Prvi od faktora koji se mogao povezati s pojavom korozije je utjecaj rashladnih tekućina koje se rabe u procesu proizvodnje cijevi. Primijenjene su emulzije, koje se spravljaaju izravno u tvornici dodavanjem koncentrata emulgirajuće tekućine za obradbu metala u vodu. U obje valjaonice korišten je isti koncentrat emulgirajuće tekućine za obradbu metala. Zbog toga je bilo razumljivo pretpostaviti da je upravo taj koncentrat, odnosno njegove emulzije, razlog pojave korozije na cijevima.

Provedena su detaljna ispitivanja industrijske vode, sastava emulzije koja nije redovito mijenjana u diskontinuiranom radu valjaonica, te posebno utjecaj emulzije na koroziju cijevi.

Najprije je ispitana industrijska voda koja se rabi u procesu proizvodnje cijevi. Rezultati ispitivanja vode dani su u tablici 3. U tablici 4 dani su rezultati ispitivanja koncentrata emulgirajuće tekućine za obradbu metala i emulzija, te metode ispitivanja uobičajene za ovu vrstu tekućina [15]. Za pripremu emulzija upotrijebljena je tvrda voda T.V. iz vodovoda.

Tablica 3: Rezultati ispitivanja vode

Svojstvo	Izmjerena vrijednost
Tvrdoća vode / °dH, ASTM D 1126	14,12
pH vrijednost, ASTM D 1293	8,2

Emulgirajuća tekućina za obradbu metala, EM-BU je sastavljena od parafinskog mineralnog ulja, približno 70 %, prirodnih ulja te površinsko aktivnih tvari i korozivskih inhibitora bez aromatske jezgre [12]. Ne sadrži štetne spojeve kao što su nitriti, nitriti ili spojevi klora [16]. Također ne sadrži spojeve bora. Pomiješana s vodom tvori stabilne bijele emulzije, koje ne djeluju nepoželjno na radnike. Odlično štiti od korozije materijale koji se obrađuju, od željeza do obojenih metala. Također ima odlična svojstva podmazivanja.

Tablica 4: Rezultati ispitivanja koncentrata i emulzija tekućine za obradbu metala

SVOJSTVA	EM-BU, svježa	METODE ISPITIVANJA
Koncentrat		
Izgled i boja	bistro, smeđe ulje	vizualno
Viskoznost, 40 °C / mm ² s ⁻¹	55	ISO 3104
Stabilnost, 0, 20, 50, 70 °C / 24 h	stabilan	Interni test 1
Emulzija, 5 % u T.V.		
Izgled i boja	bijela	vizualno
Stabilnost, 20 °C / 24 h	stabilna	Interni test 1
Rezerve alkalija, ml 0,1 M HCl	2,5	ASTM D 1121
pH vrijednost	8,9	ASTM D 1287
Korozija, Herbert test, 1,2 % em. T.V.	SOR0	DIN 51360/1
Korozija, Filtar test, 2 % em. T.V.	0	DIN 51360/2
Korozija / Cu, Al, mjed, SiAl, 3 i 5 % em.	nema	Interni test 11
Pjenjenje, volumen / mL	30	Interni test 2
/ nakon 5 min / mL	0	(ASTM D 3601)
Svojstva podmazivanja:		
Srednji promjer istrošenja / mm	0,58	ASTM D 4172
Površina istrošenja / mm ²	30,4	Reichert vaga
Točka zavarivanja / N	1260	ASTM D 2783

Tijekom primjene emulzije dolazi do zagađenja emulzije izvana, npr. zaštitnim sredstvima s izvornih materijala, mikroorganizmima, prašinom i sl. Zagađenja uzrokuju smanjenje radnih svojstava emulzije, odnosno radni vijek, a mogu biti uzročnici i neželjenih pojava, i u sustavima emulzije i na obrađenim materijalima [17]. U tablici 5 dani su rezultati ispitivanja radnih emulzija iz pogona, uzetih s četiri mjesta proizvodnje cijevi.

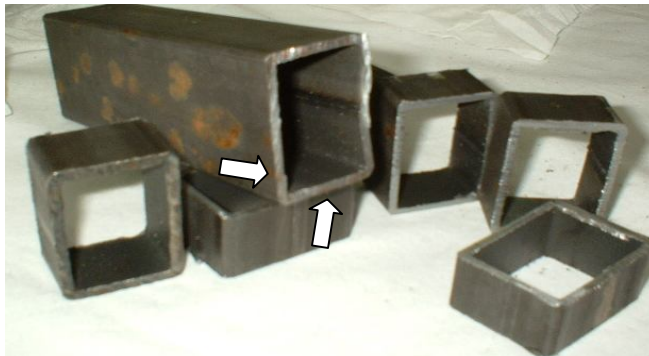
Tablica 5: Rezultati ispitivanja radnih emulzija

UZORAK RADNE EMULZIJE	RE 16	RE 17	RE 18	RE 19	Granične vrijednosti
Izgled i boja radne emulzije, vizualno	mliječna, prljava emulzija	prljava emulzija, plivajuće ulje	mliječna emulzija s tragovima nečistoća	mliječna emulzija s tragovima nečistoća	promjena boje, izdvajanje ulja, talog
pH vrijednost, ASTM D 1287	7,25	7,15	8,35	8,05	8 - 10
Rezerve alkalija / mL 0,1 M HCl, ASTM D 1121	0,31	0,13	1,51	0,80	± 25 % od početne
Koncentracija, refraktometrom, Interni test 9 / %	1	1	4,3	2,8	± 1 od početne
Korozija - Herbert, DIN 51360/1 - Filtar test, DIN 51360/2	ne zadovolj. 4-jaka	ne zadovolj. 4-jaka	zadovoljava 0-nema	zadovoljava 0-nema	korozija vidljiva
Broj mikroorganizama, br.k. / mL, deep slide - Ukupni broj / 24 h • Gljivice, plijesni / 72 h	100 000 • umjerena infekcija	10 000 000 • umjerena infekcija	100 000 • umjerena infekcija	100 000 • lagana infekcija	neugodan miris, najviše 10 ⁶
Sadržaj Fe, X-zr. / ppm	8	53	4	13	-
Mjesto uzorkovanja / pogon	Hidroproba VŠC*, ispod ulja	Hidroproba VŠC*, crpka	PŠC** linija Voest	PŠC** linija Somenor	-

*VŠC= valjane šavne cijevi (toplo), ** PŠC= precizne šavne cijevi

Radne emulzije iz procesa hidroprobe RE 16 i RE 17 uzete su s dva mjesta spremnika u kojemu se nalazi oko 60 tona tekućine koja se sastoji od emulzije i plivajućeg ulja. Ulje je prekrilo cijelu površinu emulzije koja nije mijenjana dulji niz godina. Uzorak RE 16 je uzet ispod uljnog sloja, a RE 17 iz blizine crpke za cirkulaciju. Radni uvjeti za emulziju su jako nepovoljni, bez doticaja sa zrakom, što daje povoljne uvjete za razvitak mikroorganizama. Kakvoće uzoraka RE 16 i 17 ne zadovoljavaju, jer je premali udio koncentrata u vodi, koji bi trebao biti najmanje 2 % da bi emulzija štitila od korozije. Znači, treba osvježiti emulziju povećanjem udjela koncentrata.

Ipak, radi velike količine slobodnog ulja i drugih nečistoća, bilo bi mnogo bolje promijeniti emulziju uz potrebno čišćenje spremnika i ostalih elemenata sustava optoka emulzija. Uzorci RE 18 i 19 imaju zadovoljavajuća svojstva, iako ima nečistoća. Te emulzije mogu nastaviti rad uz normalni postupak nadolijevanja, s naglaskom na to da bi u emulziji RE 19 ipak trebalo povećati maseni udio koncentrata, na 3 %, jer je to zadana vrijednost za proces proizvodnje cijevi. Analize uzoraka emulzija uzetih iz obje valjaonice cijevi su pokazale da udio koncentrata prilično varira, od 1 do 4,3 %. Emulzije s većim udjelom koncentrata zadovoljavaju tražene granične vrijednosti, dok emulzije s 1 % koncentrata, uz prisutnost velikog zagađenja ne zadovoljavaju. Za daljnja istraživanja uzeti su uzorci cijevi i emulzije. Uzorci cijevi su narezani i ispitani u emulziji uzetoj iz valjaonice i u čistoj, svježe pripremljenoj, emulziji (1 i 3 %), u uvjetima povećane vlažnosti, različitih temperatura (-20, 4, 20 i 40 °C) i u različitim vremenima (1, 3, 7, 30 i 100 dana), slike 7 i 8.



Slika 7: Svježe izrezani dijelovi cijevi za ispitivanje korozije (strelice pokazuju koroziju na rezu)



Slika 8: Ispitivanje korozije na dijelovima cijevi u 1 %-tnoj emulziji, uronjeno, i samo premazano emulzijom, bez uranjanja

Cijevi koje su tretirane uranjanjem u emulziju i izlaganjem pri različitim temperaturama nisu korodirale niti u tragovima. U uvjetima povećane vlažnosti nije bilo korozije na površini cijevi. Rezultati svih ispitivanja su pokazali da korozijskih pojava nije bilo niti u jednoj od ispitivanih emulzija različite kvalitete, pa čak niti uz najmanji udio koncentrata od 1 %. Neznatna korozija, koja se pojavila na rezu pri rezanju dijelova cijevi za ispitivanje na suho, nije se proširila tretiranjem u emulziji s 1 % EM-BU. U procesu proizvodnje cijevi emulzija dolazi u dodir s površinama stijenki cijevi. Zadatak radnih emulzija za obradbu metala jest zaštita tijekom samog procesa i u međufaznim vremenima. Za zaštitu materijala tijekom skladištenja ili transporta potrebna su dodatna zaštitna sredstva, da bi se osjetljivi materijali zaštitili od korozije [18].

4. Zaključak

Provedena ispitivanja kemijskog sastava i mehaničkih svojstava cijevi su pokazala da su vrijednosti svih parametara u granicama propisanih. Normom nije propisan sadržaj bakra u čeliku, ali je detaljnim ispitivanjima utvrđeno da je njegov sadržaj manji od uobičajenog, tj. onog koji pridonosi korozijskoj postojanosti cijevi.

Temeljem sumnje u nedovoljna svojstva zaštite od korozije radnih emulzija EM-BU, izvršena su detaljna ispitivanja emulzija bez prisutnosti i u prisutnosti odrezanih dijelova cijevi. Nisu uočene nikakve pojave korozije na površini cijevi, pa se može zaključiti da emulzija nije uzrokovala koroziju cijevi tijekom skladištenja.

Korozija cijevi moguća je zbog smanjenog sadržaja bakra u čeliku. To potvrđuje pojava korozije na svježem rezu u vrlo kratkom vremenu, dok se na istom uzorku na površini cijevi i nakon dužeg vremena korozija ne javlja.

Literatura

1. Rešković S., Unapređenje procesa proizvodnje toplovaljanih šavnih cijevi, Elaborat, Mechel Željezara, Sisak, 2004.
2. Rešković S., Optimalizacija procesnih parametara u procesu proizvodnje preciznih šavnih cijevi, Elaborat, Mechel Željezara, Sisak, 2003.
3. Rešković S., Fried Ž., Brković V., Gotal D., Welded Steel Tubes «Željezara Sisak», 3. International Symposium of Croatian Metallurgica, SHDMI – State and Development of Plastic Metal Processing, Šibenik, 1998, Summaries of Lectures of Metallurgy, vol. 37 (1998) 2, 114.
4. Rešković S., Optimalizacija parametara visokofrekventnog zavarivanja preciznih šavnih cijevi, Zavarivanje, 31 (1988) 1, 15-23.
5. Križanić R., Metalurgija, 26 (1987) 4, 109-116.
6. Križanić R., Metalurgija, 27 (1987) 1/2, 3-11.
7. Rešković S., Križanić R., Vodopivec F., Numerical design of hot-stretch-reducing process for welded tubes, Materiali in tehnologije, 44 (2010) 5, 243-250.

8. Rešković S., Utjecaj kvalitete uloška na procesne parametre i svojstva toplovaljanih šavnih cijevi, Mechel Željezara, Sisak, 2005.
9. Križanić R., Đurić K., Rešković S., Ivančan A., Ocjena kvalitete uloška za traku, šavne i bešavne cijevi (Trinecke željezarny, A. S. Trinec, ČSFR), Elaborat, "IRI" d.o.o., Željezara Sisak, Sisak, 1992.
10. Rešković S., Preliminarno izvješće o koroziji na šavnim cijevima, Mechel Željezara, Sisak, 2004.
11. Mang T., Wassermischbare Kühlschmierstoffe für die Zerspanung, Band 61, Expert Verlag GmbH, 7031 Grafenau 1/Wuertt, 1980.
12. INA Interne norme i tehničke informacije.
13. Međunarodni standardi ISO, DIN, ASTM.
14. Oruč M., Babahmetović H., Pihura D., Metalurgija 43 (2004) 2, 135-139.
15. Kray L.R., Kane P.T., Studies on coolant degradation and development of a laboratory test method for predicting soluble oil emulsion oxidation stability, Lubr. Eng., 54, 1, 1998.
16. Mang T., Schmierstoffe und Umwelt - Die Schmierstoffentwicklung im Einfluss der Umweltgesetzgebung, Mineralöl Technik, 5-6, 1990.
17. Pedišić Lj., Polenus I., Contamination influences on metalworking fluid properties, 11th International scientific conference on production engineering, CIM 2007, June, 13-17, 2007 Biograd, Croatia, Proceedings, ISBN 978-953-97181-9-8, 261-266.
18. Stupnišek-Lisac E., Korozija i zaštita konstrukcijskih materijala, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, ISBN 978-953-6470-31-0, Zagreb, 2007.

Autori

Ljiljana Pedišić¹, Stoja Rešković², Josip Topolovec¹

¹INA MAZIVA d.o.o., Član INA Grupe, Zagreb, Hrvatska

²Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet, Sisak, Hrvatska

e-adresa: ljiljana.pedisic@ina.hr

Primljeno

12.5.2014.

Prihvaćeno

16.6.2014.