

REPAIR OF DUPLEX STEEL CARGO TANKS

SANACIJA TANKOVA TERETA IZRAĐENIH OD DUPLEX ČELIKA

Toni VIDOLIN¹, Florian SEDMAK¹, Dario KANIŽAI¹, Željko VUČKOVIĆ¹, Duško PAVLETIĆ²

¹*Brodogradilište „3. MAJ“ Liburnijska 3, Rijeka*

²*Tehničkifakultet, Vukovarska 58, Rijeka*

Ključne riječi: *chemical tanker, duplex čelik, sanacija, tank tereta, zavarivanje*

Key words: *chemical tanker, duplex steel, welding*

Sažetak:

Sve od svojeg prvog uvođenja, 1970. godine, duplex čelici neprestano nalaze svoju primjenu kod gradnje tankera za prijevoz kemikalija, posebice kao materijal za izradu tankova tereta. Duplex čelici svoju prednost u odnosu na druge nehrđajuće čelike, posebice čelike 316 ili 317 skupine, nalaze u svojoj boljoj otpornosti na različite korozivne utjecaje, svojim visokim mehaničkim svojstvima koja dopuštaju smanjenje mase samih tankova, te dobroj zavarljivosti. Unatoč poznatim smjernicama za uspješno zavarivanje duplex čelika, nije rijedak slučaj da prilikom zavarivanja dolazi do pojave pogrešaka kod ovih materijala. Sam popravak istih, ako nije ispravno izveden, može bitno narušiti svojstva materijala te dovesti do značajnih troškova. U radu je opisan postupak sanacije tankova tereta na dva tankera za kemikalije. Tankovi tereta su izrađeni od duplex čelika. Prilikom ispitivanja zavara korugiranih pregrada u tankovima tereta, metodama bez razaranja, utvrđena je pogreška neprovarenog korijena, u ukupnoj dužini od 379 metara. Opisano je određivanje pogreške metodama bez razaranja, uklanjanje pogreške iz zavara, priprema spoja za zavarivanje te ponovno zavarivanje.

Summary:

Since its first introduction in 1970, duplex steels have been used continuously in the construction of chemical tankers, particularly as a cargo tanks material. In comparison with other stainless steels, especially the 316 or 317 group, advantages of duplex steels are in its resistance to different corrosion mechanisms, high mechanical properties which allow the reduction of the tanks weight as well as good weldability. Although there are available guidelines for successful welding of duplex steel, it is not a rare case of defects in weldings. The welding repair, if not properly done, can significantly impair the properties of the material and lead to significant costs. This paper describes the process of duplex steel cargo tanks repair done on two chemical tankers. Non-destructive testing of cargo tanks corrugated bulkheads welds has shown insufficient penetration in welds roots, in a total length of 379 meters. In the paper are described defect detection method, repair weld preparation and welding process.

1. UVOD

BRODOGRADILIŠTE 3. MAJ preuzelo je zadatak izvršiti rade zatvaranja privremenih otvora na trupu te rade opremanja na dva nedovršena tankera za kemikalije, slika 1. Specifičnost preuzetih brodova je materijal gradnje tankova tereta. Svi tankovi tereta su u potpunosti izrađeni od duplex čelika. Karakteristike broda prikazane su u tablici 1.



Slika 1. Tanker za prijevoz kemikalija s tankovima izrađenim od duplex čelika

Tablica 1. Karakteristike broda

Dužina preko svega	129,00 m
Dužina između okomica	120,00 m
Širina	19,20 m
Visina	9,80 m
Nosivost	9500 dwt
Kapacitet tereta	107000 m ³

Tijekom vremena potreba za tankerima za prijevoz kemikalija neprekidno raste. Tereti koje ovi tipovi brodova prevoze su različiti. Od agresivnih kiselina do melase, ribljeg ulja, kemijskih proizvoda, maziva, alkohola pa i vina [1]. Tankovi tereta izvode se s ravnim opločenjima i ukrepama ili u izvedbi s tzv. naboranim (korugiranim) limovima, slika 2. Neke terete je potrebno i zagrijavati, pa se u tankove ugrađuju i sustavi cjevovoda te druga oprema za nadzor i upravljanje teretom, slika 3.



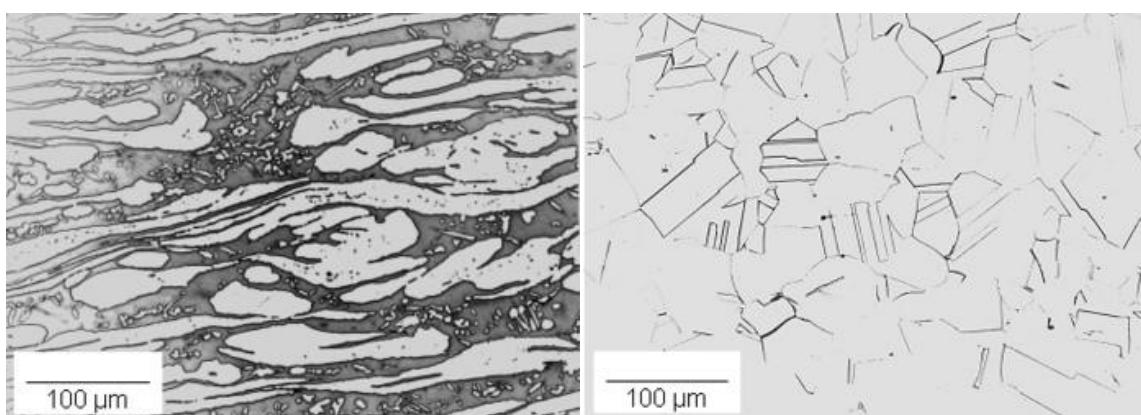
Slika 2. Korugirana pregrada na tankeru



Slika 3. Sustav cijevi za grijanje tereta u tanku

Čelik koji se koristi za ovakve tankove tereta mora biti otporan na više različitih mehanizama koroziskog djelovanja kako bi se izbjegla kontaminacija tereta kao i oštećenja takova.

Prvotno je najčešće korišteni materijal za tankove tereta bio austenitni nehrđajući čelik, najčešće serije 316. Uvođenjem duplex nehrđajućih čelika u proizvodnju tankova za tankere za prijevoz kemikalija, 1970. godine, kada su izgrađena prva tri tankera uz primjenu ovog materijala, počela je sve veća primjena duplex čelika u brodogradnji. Na slici 4 prikazana je mikrostruktura duplex čelika (a) i austenitnog nehrđajućeg čelika (b). Duplex čelik ima ujednačen omjer ferita i austenita (50:50) koji se postiže kontrolom kemijskog sastava čelika i toplinskom obradom[2].



a)duplex čelik

b)austenitničelik

Slika 3.Mikrostruktura duplex čelika (a) i austenitnognehrđajućegčelika (b)

Duplex čelici se danas mogu zavarivati gotovo svim konvencionalnim postupcima zavarivanja. Koristi se zavarivanje TIG postupkom, plazmatskim lukom, MIG postupak, REL postupak te EPP postupak. Osnovne smjernice za zavarivanje duplex čelika su poznate i one uključuju kontroliranje unosa topline koji je približno 10 kJ/cm te mora biti usklađen s obzirom na debljinu limova kako bi se postigla odgovarajuća mikrostruktura u samom zavaru ali i u ZUT-u. U svakom slučaju, unos topline bi trebao biti manji od 15 kJ/cm, a međuprolazna temperatura između 150°C i 200°C [3, 4, 5].

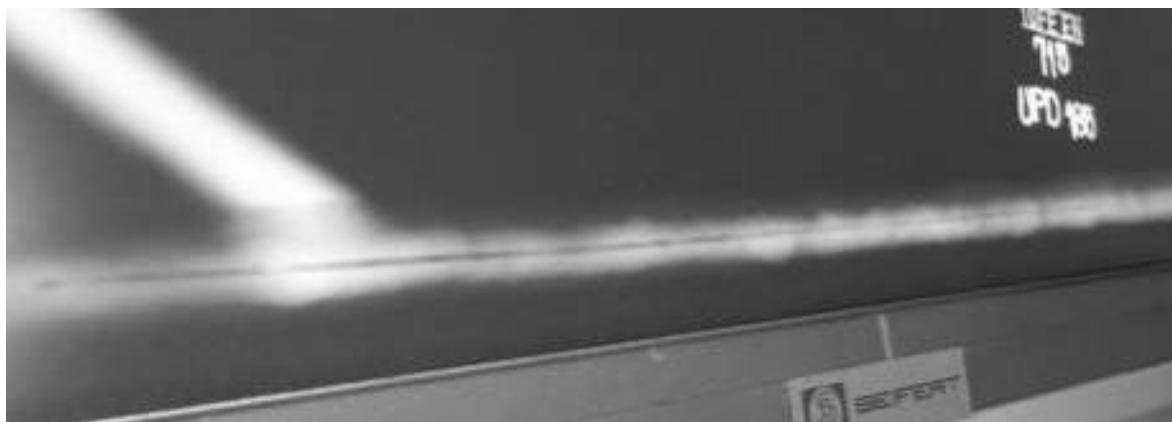
Predgrijavanje ili naknadna toplinska obrada se ne preporučuju.

2. DETEKCIJA POGREŠKE

Na preuzetim brodovima, u Brodogradilištu 3. MAJ, tijekom ispitivanja redovnih i dodatnih pozicija, prema odobrenom planu ispitivanja bez razaranja, uočena je indikacija nepotpunog provara korijena kod automatom zavarenog spoja, definirana prema HRN EN 26520 oznakom 402 (neprovareni korijen), slika 4. Pogreška je procijenjena neprihvatljivom po veličini i obliku prema kriteriju prihvatljivosti definiranom normom HRN EN 25817 klase B, koji je bio na snazi tijekom obavljanja ispitivanja bez razaranja za predmetnu novogradnju [6].

Predstavnici klasifikacijskog društva nadležnog za nadzor gradnje odmah su po saznanjima o uočenoj indikaciji zatražili povećanje opsega ispitivanja uz primjenu iste metode kao i kod prvog ispitivanja. Proširenim opsegom ispitivanja obuhvaćene su i ostale poprečne korugirane pregrade, te uzdužne korugirane pregrade i opločenja uzdužnih pregrada dvoboka u području tankova tereta.

Opseg obavljenih ispitivanja na ostalim korugiranim pregradama iznosio je 25% ukupne dužine zavarenog spoja, dok je samo područje „križa“, ukoliko nije bilo pokriveno redovnom pozicijom ispitivanja, moralo biti pokriveno radiografskom snimkom.

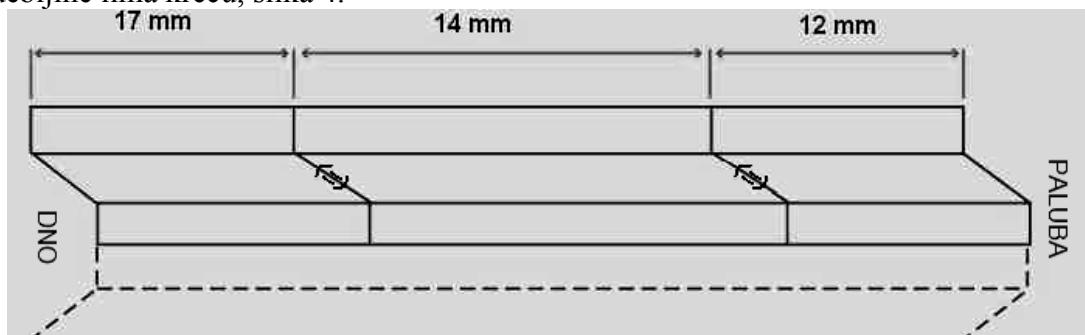


*Slika 4. Radiogram s indikacijom pogreške
Fig. 2.Radiograph with discontinuity indication*

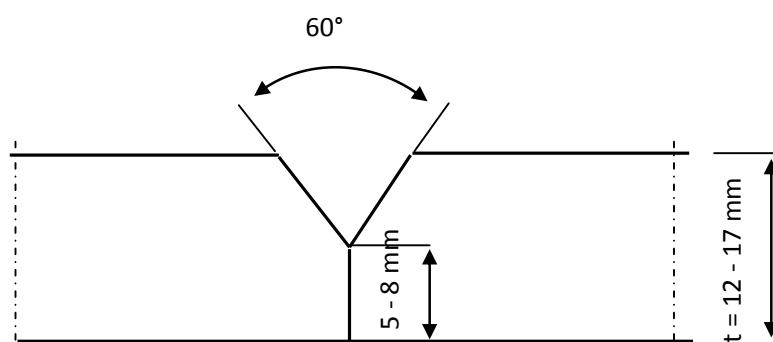
Ispitivanje je provedeno na ukupno 208 pozicija na uzdužnim i poprečnim korugiranim pregradama radiografskom metodom, dok je ultrazvučnim ispitivanjem ispitano ukupno 50 pozicija. Od ukupnog broja ispitanih zavarenih spojeva na približno 45% odnosno 379,6 m utvrđena je pogreška i bilo je potrebno izvršiti popravak.

Debljina lima korugiranih pregrada kreće se u rasponu od 12 do 17 mm, slika 5, a samo zavarivanje se izvodi sučeljnim Y spojem prikazanim na slici 6.

Zavareni spoj na korugiranim pregradama u tankovima tereta je sučeljeni Y –spoj, slika 3, dok sedebljine lima kreću, slika 4.

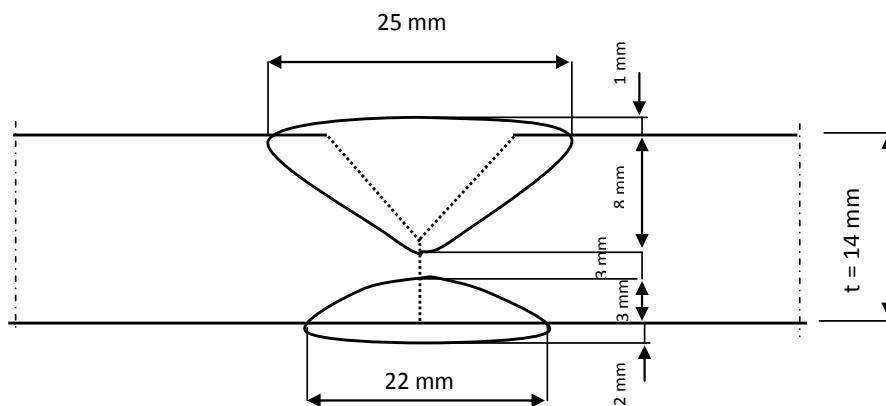


Slika 5. Promjena debljine lima po visini korugirane pregrade
Fig. 5. Changes of plate thickness



Slika 6. Priprema zavarenog spoja
Fig. 6. Welded joint preparation

Prilikom ispitivanja duplex zavarenih spojeva ultrazvučnom metodom najveći problem je predstavljalo definiranje vremenske skale i točno pozicioniranje indikacije. Kako se nije uspijevalo sa prihvatljivom preciznošću definirati veličinu i poziciju neprovarenog korijena pomoću ultrazvučnog uređaja, dubina se uspjela precizno definirati pomoću ultrazvučnog mjerača debljine (demetra) tako da se locirala i očitala dubina indikacije sa lica i korijenske strane zavarenog spoja, a zatim se računski došlo do visine indikacije neprovarenog korijena. Metoda i način definiranja pozicije i veličine (dubine) neprovarenog korijena pokazala se dovoljno točnom i jednostavnom, te je korištena pri definiranju strane izvođenja popravka zavarenog spoja, slika 7.



Slika 7. Položaj pogreške u spoju
Fig. 7. Position of discontinuity within joint

3. POSTUPAK POPRAVKA ZAVARENIH SPOJEVA

Nakon što je utvrđeno koji zavareni spojevi zahtijevaju popravak, te uz suglasnost klasifikacijskog društva, predložen je postupak popravka zavarenih spojeva kao i opseg naknadnih ispitivanja metodama bez razaranja. Postupkom je definirano postupanje s osnovnim i dodatnim materijalom te su definirane faze rada prije zavarivanja i žlijebljenja, metoda i detalji pripreme spoja, postupak i parametri zavarivanja, međuslojna temperatura te ostali podaci za zavarivanje. U sklopu postupka popravka napravljene su specifikacije popravka zavarenog spoja (WPS). Kao podloga za izradu WPS-a korišteni su isti atesti postupaka kao i za samo zavarivanje.

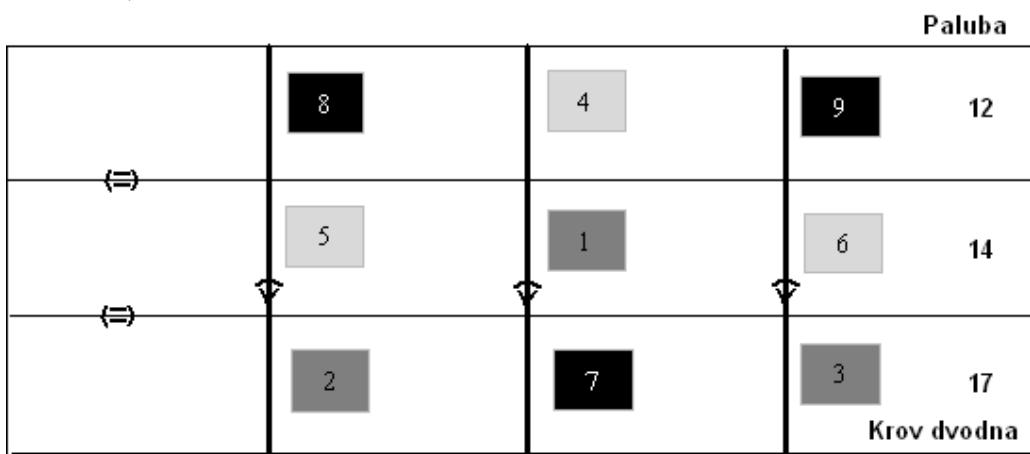
Specifičnosti zavarivanja duplex čelika

Prilikom zavarivanja duplex čelika potrebno je kontrolirati količinu unesene topline koja se mora kretati u rasponu od 0,5 – 2,5 kJ/mm. Također, vrlo je važno praćenje međuslojne temperature koja se treba kretati između 150-200 °C. Duplex čelik se ne smije zavarivati sa premalim unosom topline jer to može dovesti do prebrzog hlađenja i porasta ferita dok kod prevelikog unosa topline i sporog hlađenja dolazi do pada sadržaja ferita. Sadržaj ferita mora se kretati između 20% i 70% i tada zavar ima dobra korozionska i mehanička svojstva. Ako je sadržaj ferita ispod 20% javlja se rizik od smanjenja čvrstoće te smanjenja otpornosti na pukotine uslijed napetosne korozije, dok u slučaju kada je sadržaj ferita veći od 70% javlja se rizik od smanjenja otpornosti na pitting koroziju te rizik od smanjenja žilavosti. Navedenome treba još pridodati i veću tendenciju nehrđajućih čelika prema pojavi deformacija uslijed unosa topline prilikom zavarivanja nego što je to slučaj kod ugljičnog čelika. Iz navedenoga je jasno da popravak zavarenih spojeva mora biti izведен

Izbjegavanje pojave deformacija

U cilju izbjegavanja pojave deformacija na pregradama uslijed žlijebljenja i zavarivanja, prija početka izvođenja radova pregrade se dodatno ukrućuju pomoću ukrepljenja. Dodatna ukrepljenja postavljaju se korištenjem elektrolučno zavarenih svornjaka izrađenih od nehrđajućeg čelika.

Također, kako bi se spriječila pojave deformacija i zaostalih naprezanja uslijed unosa topline prilikom izvršenja popravka definiran je redoslijed žlijebljenja i zavarivanja kojega se je potrebno striktno pridržavati, slika 8.

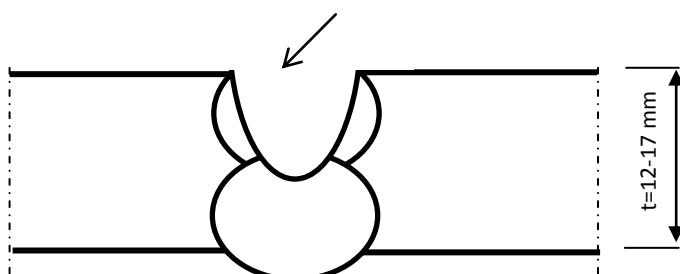


Slika 8. Redoslijed žlijebljenja i zavarivanja
Fig. 8. Gouging and welding sequences

Žljebljenje

Pogreška neprovarenog korijena utvrđena u zavarenom spoju mora se potpuno ukloniti postupkom žljebljenja, slike 9. i 10. Žljebljenje je izvedeno pomoću uređaja za ručno žljebljenje plazmatskim lukom uz korištenje zraka kao plazma plina. Pri tome je posebno bitno osigurati da je korišteni plazma plin odnosno u ovom slučaju zrak čist, suh i nezauljen. Kako bi se izbjegla kontaminacija duplex čelika izvan zone popravka, zonu popravka se izolira staklokeramičkim platnom. Ispod samog mjesta popravka postavljena je posuda od nehrđajućeg čelika ispunjena vodom u koju pada rastaljeni metal nastao žljebljenjem.

žljebljenjem izvaditi pogrešku



Slika 9. Detalj popravka – žljebljenje
Fig. 9.Gouging plan

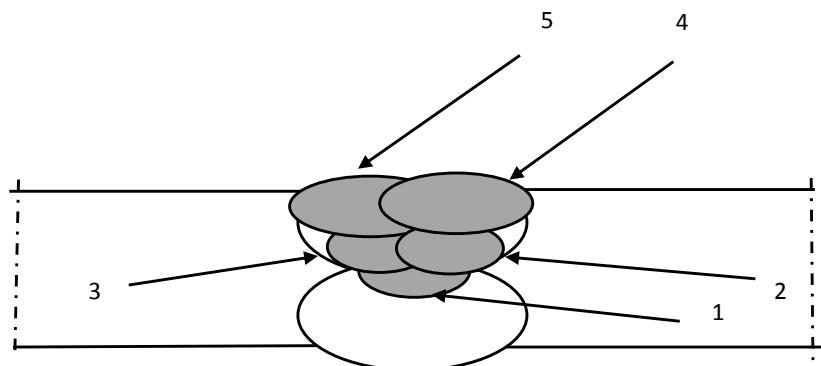


Slika 10. Prikaz žljebljenja
Fig. 10.Gouging

Nakon izvršenog žljebljenja područje popravka se brusi kako bi se uklonio površinski oksid i sve neravnine te pripremilo površinu za primjenu ispitivanja tekućim penetrantima. Ovo ispitivanje se provodi kako bi se provjerilo da li je pogreška u potpunosti otklonjena. Brušenje se izvodi brusnim pločama namijenjenim za rad s nehrđajućim čelicima.

Zavarivanje

Zavarivanje je izvršeno elektrolučnim postupkom u atmosferi aktivnog plina (MAG). Kao zaštitni plin korišten je 100% ugljični dioksid. Kao dodatni materijal korištena je praškom punjena žica oznake prema EN ISO 17633-A: T 22 9 3 NL P C1. Popravak je izvršen u vertikalnom (PF) položaju zavarivanja. Plan spoja i parametri zavarivanja dani su na slici 11 i u tablici 2.



Slika 11. Detalj popravka – zavarivanje

Fig. 11. Welding plan

Nakon zavarivanja površinu zavara je potrebno brusiti sukladno zahtjevima tehničkog opisa broda kako bi se dobio traženi završni izgled površine.

Tablica 2. Parametri zavarivanja
Table 2. Welding parameters

Prolaz	Postupak	Debljina žice, mm	Jakost struje, A	Napon, V	Brzina zavarivanja, mm/s	Unos topline, kJ/mm
1	MAG 136	1,2	145-155	22-23	2,3-2,7	1,18-1,55
2	MAG 136	1,2	145-155	22-23	2,3-2,7	1,18-1,55
3	MAG 136	1,2	145-155	22-23	2,3-2,7	1,18-1,55
4	MAG 136	1,2	140-150	21,5-22,5	1,9-2,1	1,43-1,77
5	MAG 136	1,2	140-150	21,5-22,5	1,9-2,1	1,43-1,77

4. NADZOR IZVEDENOOG POPRAVKA

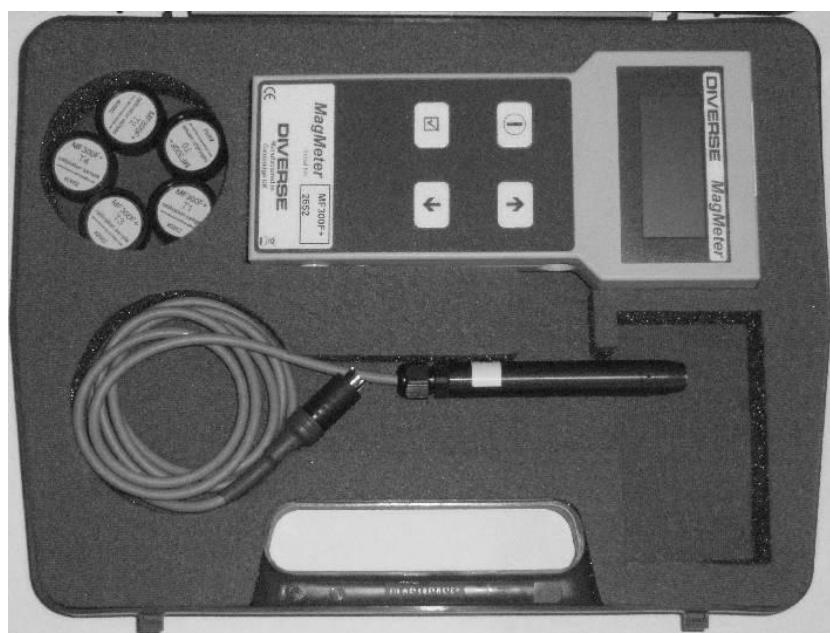
Zavareni spoj nakon popravka ispituje se ultrazvučnom metodom u obimu od 25% ukupne dužine popravka (za debljine materijala iznad 14mm) koristeći Krautkramer kutne ultrazvuče sonde tip VSY-60⁰/70⁰ – 4MHz, ultrazvučni uređaj Krautkramer USN 60 i EN 22825 normu kao podlogu pisanoj radnoj uputi i kalibracijskim blokom i uzorcima sa poznatim indikacijama izrađenima iz duplex čelika, slika 12. Takodjer, provodi se radiografsko ispitivanjem u obimu od 15% ukupne dužine spoja, sa obaveznim ponavljanjem redovnih radiografskih pozicija koje su bile predmet reparacije



Slika 12. UT / sonde / kalibracijski blok

Fig. 12.UT / probes / calibration block

Tijekom zavarivanja duplex čelika, sadržaj ferita u zoni zavara može lako poprimiti neželjene vrijednosti bilo zbog korištenja pogrešnog dodatnog materijala bilo zbog pogrešnog unosa ili odvođenja topline. Samo mjerjenje na licu mjesta može pružiti sigurnost da prilikom zavarivanja nije došlo do promjene optimalnog postotka ferita. Sadržaj ferita mora se kretati između 20% i 70% i tada zavar ima dobra korozionska i mehanička svojstva. U opisanom slučaju mjerjenje je izvršeno uređajem DIVERSE FerriteMeter MF300F+, slika 13. Uredaj radi na principu magnetske indukcije i mjeri sadržaj ferita u austenitnom ili duplex čeliku u rasponu od 0,1 – 115 FN ili 0,1 – 83% FE.



Slika 13. Uredaj FerriteMeter MF300F+

Fig. 13.FerriteMeter MF300F+

Mjerenje sadržaja ferita izvršeno je ravnomjerno na svim zavarima na kojima je rađen popravak. Ispitane su ukupno 143 pozicije, a izmjereno je ukupno 429 mjernih točaka. Sve izmjerene točke bile su zadovoljavajuće odnosno postotak ferita bio je unutar zadanih granica.

5. ZAKLJUČAK

Popravak pogreške u zavarenom spoju na duplex čeliku može se izvršiti na zadovoljavajući način uz striktno pridržavanje propisane procedure popravka. Bitno je paziti na unos topline u materijal jer je dvofazna struktura duplex čelika osjetljiva na temperaturne promjene pri čemu može doći do feritizacije kojom se smanjuju kako korozija postojanost tako i mehanička svojstva materijala. Također, potrebno je pratiti međuslojnju temperaturu te paziti da se ne pređu vrijednosti propisane WPS-om.

6. LITERATURA

- [1] Charles, J., Vincent, B., Duplex stainless steels for chemical tankers, Duplex Stainless Steels 5th World Conference, Nizozemska 1997.
- [2] Welding duplex and super duplex, Lincoln Electric, 2010.
- [3] Welding duplex stainless steels, BohlerWelding , 2011.
- [4] How to weld duplex steel, Avesta Welding, 2006.
- [5] Fabricationandtestingofstructures, DNV rules, 2005.
- [6] Non-destructive testing, DNV classification notes No. 7, 2004.