



H. van Zijl*, H. Astrom**, F. Nicholson***

ZAVARIVANJE TANKERA ZA PREVOZ HEMIKALIJA OD DUPLEKS NERĐAJUĆEG ČELIKA*

WELDING OF CHEMICAL TANKERS IN DUPLEX STAINLESS STEEL

Rad primljen / Paper received:

15.08.2003.

Adresa autora / Author's address

Henk van Zijl*, MD, ELGA Welding Europe BV, Holandija

Hans Aström**, R & D Manager ELGA AB, Švedska

Fredrick Nicholson***, Technical Manager, ELGA AB,
Švedska

* Izlagano septembra 2003. na Međunarodnoj konferenciji "Zavarivanje 2003", Beograd

UVOD

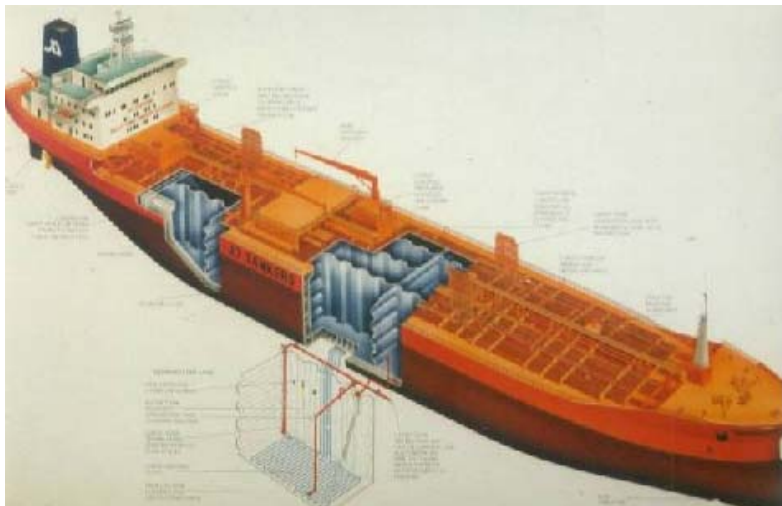
Za brodski prevoz tečnih hemikalija sve češće se koriste rezervoari za prevoz brodskog tereta, izrađeni od modernih nerđajućih čelika. Tankeri za prevoz hemikalija konstruisani su tako da se mogu koristiti za različite tipove hemikalija, koje su često veoma korozivno agresivne. Rezervoari, i pripadajući cevovodi, koji dolaze u direktan kontakt sa takvim medijumima, izrađuju se od različitih klasa nerđajućih čelika. Trup broda izrađuje se od običnih ugljeničnih čelika.

S obzirom da se nerđajući čelici razlikuju od običnih »crnih« čelika, njihova primena zahteva kompletnu

promenu ustaljene prakse odgovornog osoblja brodogradilišta.

Vrativši se u prošlost, tužno je zaključiti da je izvestan broj brodogradilišta koja nisu napravila procenu razlike u metodama proizvodnje tankera za prevoz sa duplim trupom od običnih čelika, i rezervoarskih posuda od nerđajućeg čelika. Kao posledica toga, ovakva brodogradilišta su zapala u finansijske probleme, a neka i bankrotirala.

Zbog toga, pri planiranju zavarivačkih radova, od najvećeg značaja je uspostavljanje sveobuhvatnih tehnologija zavarivanja, i potreba za duboko razumevanje problema vezanih za skladištenje, rukovanje i izradu delova od nerđajućih čelika.



Konstrukcija tankera predstavlja mnogo izazova za inženjera zavarivanja: izbor postupka zavarivanja i potrošnih materijala, širok opseg debljina - od 2.0 do 30 mm, redosled zavarivanja itd.

Veliki broj rezervoara za prevoz hemikalija je namenjen za prevoz unutar zemlje i prekomorski prevoz, tako da su njihove nosivosti različite, od 2500 do 39500 bruto registarskih tona. Oni su konstruisani za bezbedan prevoz skoro svih tečnih proizvoda, od specijalnih hemikalija do kiselina, jestivih ulja i alkoholnih napitaka. Svaka posuda ima potpuno odvojene rezervoare za prevoz.

Slika 1. Tipičan opšti izgled tankera

PRIMENA NERĐAJUĆIH ČELIKA ZA IZRADU REZERVOARA ZA PREVOZ TERETA I PRIPADAJUĆE CEVOVODE

Prvi rezervoari za prevoz hemikalija bili su izrađeni od ugljeničnih čelika. Zatim su ovi rezervoari oblagani slojem specijalne boje koja sprečava korozivno delovanje tečnosti. Nedostatak ovog sistema je što različite tečnosti deluju korozivno različito, tako da su

neophodne različite obloge. Nasuprot većoj ceni nerđajućeg čelika, prednost njihove primene je fleksibilnost eksploatacije, manji troškovi održavanja i povećan radni vek.

Izbor klase nerđajućeg čelika uslovljen je mnoštvom faktora, kao što su: koroziona otpornost, čvrstoća, zavarivost, cena itd. Tipični materijali - kandidati dati su u tabeli 1. Najpopularniji današnji materijal, dupleks nerđajući čelik - materijal broj 1.4462, nudi jedinstvenu



kombinaciju odlične korozivne otpornosti i velike čvrstoće. Korišćenje dupleks materijala za rezervoare za prevoz ima mnogo prednosti u odnosu na obične nerđajuće čelike tipa 316L.

Tabela 1: Tipične vrednosti kao parametri za izbor nerđajućih čelika koji se koriste kod tankera za prevoz hemikalija

Tip	Analiza	$R_{p0,2}$ (N/mm ²)	R_m (N/mm ²)	PRE_N^*	Indeks cene »p«	P/PRE	$P/R_{p0,2}$
304 L	18Cr - 10Ni	210	520	18	1.0	1.00	1.00
316 L	17Cr - 12Ni - 2.5Mo	220	520	25	1.3	0.94	1.24
316 LN	17Cr - 12Ni - 2.5Mo - 0.18N	300	600	28	1.4	0.90	0.98
317 L	18Cr - 13Ni - 3.3Mo	250	550	29	1.6	0.99	1.34
1.4462	22Cr - 6Ni - 3Mo - 0.14N	450	700	34	1.5	0.79	0.70

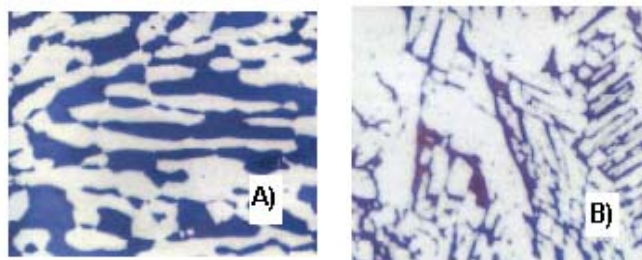
* Ekvivalent otpornosti na piting (tačkastu koroziju), $PRE_N = \% Cr + 3.3 \% Mo + 16 \% N$

Veća vrednost PRE_N znači veću otpornost na piting koroziju. Dupleks nerđajući čelici imaju mnogo veću otpornost na piting i bolju otpornost na naponsku koroziju nego austenitne klase čelika. Veliki napon tečenja >450 N/mm² omogućava odličnu korozivnu otpornost u kombinaciji sa značajnim smanjenjem debljine lima rezervoara. Ovo nudi prednost u vremenu izrade, kao i ukupno smanjenje težine.

Dupleks nerđajući čelik tipa 1.4462

Dupleks nerđajući čelici se ne sastoje od dva sloja različitih materijala, na šta možda ukazuje naziv. Mikrostruktura osnovnog materijala sastoji se od oko 50 % ferita i 50 % austenita. Konačna struktura postiže se termičkom obradom na oko 1050 °C i brzim hlađenjem (gašenjem) do sobne temperature.

Faktor zavarivosti nerđajućih materijala je takođe značajan za proizvođača. Zavarivost dupleks nerđajućih čelika bila je tema velikog broja istraživačkih projekata tokom poslednjih 20 godina. Termički ciklus tokom zavarivanja sa brzim očvršćavanjem i brzim hlađenjem metala šava, ima za rezultat vrlo visok nivo ferita ako je odnos Cr/Ni sličan kao kod osnovnog materijala. Zbog toga, sadržaj nikla u metalu šava raste do oko 9 %. Da bi se postigle optimalne mehaničke osobine i otpornost na naponsku koroziju sadržaj ferita u metalu šava mora da bude 25-65 %.



Slika 2. Tipična dupleks mikrostruktura:
A) u osnovnom materijalu i B) u metalu šava

SPECIFIČNOSTI IZRADE U PRIMENI NERĐAJUĆIH ČELIKA

Većina brodogradilišta tradicionalno primenjuje samo ugljenične i ugljenično-manganske čelike.

Kao ključni faktor uspeha u svakom projektu izrade rezervoara za prevoz hemikalija pokazao se značaj ekstenzivne obuke celokupnog osoblja uključenog u proizvodnju u brodogradilištu, i pomoć iskusnih isporučilaca osnovnih i dodatnih materijala, u cilju razumevanja rizika od rukovanja i zavarivanja nerđajućih čelika.

Tipični plan obuke izrade od nerđajućih čelika za ove potrebe mora da sadrži:

- Skladištenje i rukovanje nerđajućim materijalima
- Procesi korozije i problemi
- Osnove metalurgije dupleks čelika
- Zavarivost dupleks čelika
- Izbor postupaka zavarivanja
- Izbor potrošnih materijala za zavarivanje
- Kvalifikacija tehnologije zavarivanja
- Kvalifikacija zavarivača

Skadištenje i rukovanje nerđajućim materijalom

Izrada predmeta od nerđajućeg čelika zahteva određenu praksu u cilju sprečavanja oštećenja i kontaminacije (zaprjanosti) osnovnog materijala. Oštećenjem površine, oksidni sloj koji štiti sloj ispod, biće uništen, i samim tim će početi lokalna korozija. Površine pripremljene za zavarivanje, treba da su čiste, bez masnoće, boje itd.

Kontaminacija površine česticama od običnih čelika takođe može da smanji korozivnu otpornost. Brušenje običnih čelika mora se izvoditi tako da nerđajući čelik bude zaštićen od prljanja. Ove čestice često sadrže ugljenik ili sulfide, koji smanjuju korozivnu otpornost i povećavaju osetljivost na pojavu prslina i/ili poroznost nerđajućih čelika.

Direktni kontakt između opreme za rukovanje od običnih čelika i antikorozijske strane rezervoara treba sprečavati što je moguće više.

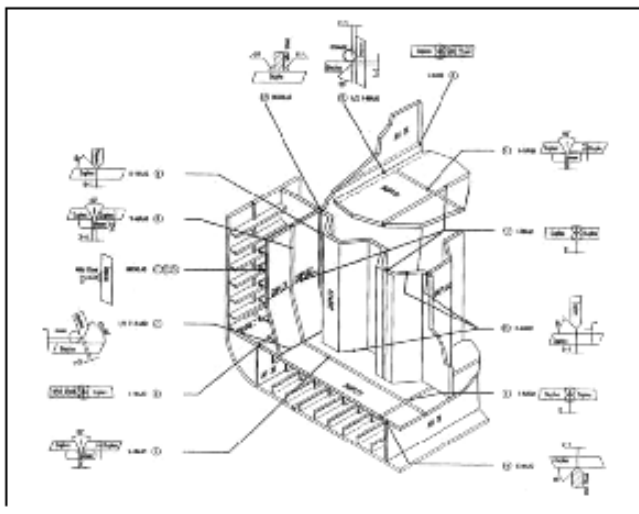
Površina šava treba da je ravna i bez oštih ivica kako bi se omogućilo čišćenje posle transporta, sprečila kontaminacija novim tečnostima koje se transportuju. Sve greške lica šava moraju biti popravljene na odgovarajući način, i očišćene brušenjem i/ili poliranjem. Posle završetka rezervoara, mora se sprovesti tretman



površina sa hemijskim reagensima za čišćenje i pasivizaciju, u cilju ponovnog stvaranja oksidnog sloja i omogućavanja maksimalne korozivne otpornosti.

Izbor postupka zavarivanja za različite tipove spojeva

Izrada modernih tankera za prevoz hemikalija sa duplim trupom je ista kao i izrada rezervoara od nerđajućih čelika u formi integralnog dela ukupne konstrukcije. Unutrašnja strana ovih rezervoara je koroziona a spoljašnja je deo balastnog rezervoara. U slučaju akcidenta, dupli trup daje veću sigurnost sa aspekta brige o životnoj sredini. Istovremeno, balastni rezervoari daju veću stabilnost brodu kada on plovi bez tereta. U cilju izrade broda u razumno prihvatljivom roku, radi se predfabrikacija koja se sastoji od izrade blokova i/ili kružnih sekcija, koje se kasnije povezuju na kosini brodogradilišta.



Slika 3. Poprečni presek tankera za prevoz hemikalija sa nekim tipičnim postupcima zavarivanja

Zavarivanjem pod praškom (EPP) postiže se najveća produktivnost u koritastom položaju i zato se koristi za predfabrikaciju sekcija rezervoara, npr: lim za lim i ukrućenje za lim.

Tabela 2: Presek tankera, tip spojeva i postupci zavarivanja

	Deo broda	Tip materijala	Tip spoja	Postupak zavarivanja
a	trup	ugljenični čelik	sučeoni I / V spoj	EPP
b	zavareni spoj preseka trupa	ugljenični čelik	sučeoni V spoj	E / punjena žica
c	ukrućenja trupa ukrućenja pregrada	ugljenični čelik ugljenični čelik - nerđajući čelik	ugaoni spoj ugaoni spoj	punjena žica - E (gravitaciono) EPP
d	krov / pod rezervoara	nerđajući čelik	sučeoni V / X / I spoj	EPP - punjena žica (koren)
e	paneli pregrada - zavareni spoj po preseku	nerđajući čelik	sučeoni V spoj	punjena žica - E
f	paneli pregrade od talasastog lima	nerđajući čelik	sučeoni K spoj	punjena žica - E
g	panel pregrade + talasti lim na pregradi za krov / pod rezervoara	nerđajući čelik	sučeoni K spoj	punjena žica - E
h	pod rezervoara	ugljenični čelik - nerđajući čelik	sučeoni V / I spoj	EPP-punjena žica - E

Postoje razlike u zahtevima za zavarivanje pregradnih panela korišćenjem K-spojeva. Neki registri brodova

Zavarivanje punjenom žicom prečnika 1.2 mm se danas izuzetno mnogo koristi za poziciono zavarivanje. Razvijene su specijalne žice za zavarivanje u zaštiti CO₂ ili mašavini Ar/CO₂. Ove žice nude vrlo veliku fleksibilnost koja je potrebna zbog velikih parametara delova (kutija).

U kombinaciji sa keramičkim podloškama, ovaj postupak pruža smanjenje vremena brušenja kao i velike brzine nanošenja korenih zavara. Istovremeno, ovaj postupak nudi mogućnost automatizacije, na pr. kod zavarivanja sučeonih spojeva u položaju PF, povećavajući radni ciklus i produktivnost. Primer za to je spajanje preseka pregrada broda od talasastog lima i sučeonih spojeva ili K-spojeva. Za horizontalno zavarivanje ugaonih spojeva (PF) i sučeonih spojeva (PA), razvijena je posebna vrsta punjene žice od nerđajućeg čelika, sa nešto nižim brzinama očvršćavanja. Ona omogućava lepe, glatke šavove, bez grešaka i sa odličnim uvarivanjem. Korišćenjem jednostavne automatizacije, ove žice omogućavaju veliku pouzdanost uz povećanje brzine zavarivanja.

Zavarivanje u zaštiti gasa (MIG) je vrlo ograničene primene i ponekad se koristi na krovovima i podovima rezervoara za korene zavare pre EPP.

Ručno elektrolučno zavarivanje se koristi na svim površinama tankera za prevoz hemikalija. Razlog za to je svakako velika prilagodljivost ovog postupka za zavarivanje u svim položajima, raspoloživost elektroda širokog opsega hemijskog sastava metala šava, i mnoštvo tipova obloga koje zadovoljavaju različite zahteve primene. Synthetic 309Mo tip elektroda može da se koristi za gravitaciono ili kontaktno zavarivanje ukrućenja. Posebno razvijena tanko obložena elektroda od nerđajućeg čelika koristi se vrlo široko kod cevni instalacija na palubi.

Tipovi spojeva i postupci zavarivanja elemenata preseka tankera dati su u tabeli 2.

(registraciona društva) zahtevaju spoj sa potpunim



uvarivanjem, dok drugi prihvataju zazor od 2-4 mm obezbeđujući povećanje preseka šava.

Izbor potrošnih materijala za zavarivanje

Rezervoari za hemikalije sadrže veliki broj raznorodnih spojeva. Ovi spojevi normalno nemaju nikakvu korozionu specifikaciju. Glavni zahtev je da nemaju vruće prsline ili prsline u zoni stapanja, kao i da profil ugaonih spojeva bude ravnomeran.

Tradicionalno, za zavarivanje 316L (N) i 317L sa ugljeničnim čelicima, korišćeni su previše legirani dodatni materijali kao što su 309L i 309MoL. Zavisno od debljine lima, raznorodni spojevi između ugljeničnog i dupleks čelika mogu se zavariti sa 309L, 309MoL ili dupleks dodatnim materijalima. U nekim slučajevima, veliko mešanje sa osnovnim materijalom, kombinovano sa velikim ukrućenjem (uklještenjem), na pr. ugaono zavarivanje EPP postupkom, metal šava 29Cr-9Ni daje veće granice bezbednosti od pojave vrućih prsline.

Korišćenje Šefler / De Long dijagrama je jedini način za procenu mikrostrukture metala šava na spoju od raznorodnih materijala. Novi dijagram daje mnogo pouzdanija predviđanja, posebno kod dupleks materijala, i uključen je u novu verziju AWS specifikacije A5.4-92, kao WRC 92 dijagram.



Slika 4. Opšti izgled rezervoara za prevoz hemikalija na palubi

Obuka i odobrenje tehnologije zavarivanja

Zavarivanje dupleksa je »različito, ali ne teško« ako postoji dobro uhodana zavarivačka veština. Zahtevi odobrenja kvalifikacije tehnologije zavarivanja mogu se u nečemu razlikovati kod zahteva raznih registracionih društava kao što su Lloyd's Register, Det Norske Veritas ili drugi, ali normalno uključuju sledeća ispitivanja:

- ispitivanje poprečnim zatezanjem,
- ispitivanje savijanjem,
- ispitivanje udarom po Šarpiju,
- ocenu mikrostrukture, i
- koroziona ispitivanja.

Za duplekse se zahteva merenje procenta ferita. Zahtev se razlikuje zavisno od tela koje odobrava, varirajući između 25-25 % do maksimalno između 60-

70 %. Tokom kvalifikacionog ispitivanja, sadržaj ferita se meri na tačkama prema ASTM E 562, ali ta metoda nije naravno primenljiva kod praktičnog zavarivanja. U proizvodnji se koriste magnetne metode sa dobrom ponovljivošću ispitivanja, kao što je feritoskop.

Za određivanje otpornosti na piting koroziju i koroziju u obliku zaseka (crevice) kod dupleks spojeva, normalno se zahteva ispitivanje prema ASTM G48, metoda A. Zahtev je da se na ispitnim površinama ne sme videti delovanje pitinga i da ukupni gubitak težine epruvete veličine 50x25 mm i debljine između 5-10 mm, bude manji od 20 mg posle ispitnog perioda od 24 sata na 20 °C.

Zavisno od broja korišćenih postupaka i položaja zavarivanja, potrebno je uraditi određen broj specifikacija tehnologije zavarivanja. Ove specifikacije rezultuju u ograničenom broju izveštaja o kvalifikaciji tehnologije zavarivanja.

Kvalifikaciju zavarivača treba uraditi odvojeno, u cilju dokazivanja mogućnosti zavarivača da izvedu »zdrave« spojeve korišćenjem dobre prakse zavarivačke radionice. Za kvalifikaciju pojedinih zavarivača koristi se ograničeni programi ispitivanja.

Čišćenje posle izrade



Slika 5. Završno čišćenje

Kada se završi zavarivanje rezervoara za prevoz tereta, uklanjanje svih defekata i zaprljanosti je od suštinske važnosti. Radi uklanjanja razbrizganog dodatnog materijala, viška oksidnog filma (termička obojenost), zarđalih tačaka (kontaminacija železom) itd, koristi se brušenje u kombinaciji sa peskiranjem, kao efektivnom i ekonomičnom metodom čišćenja pre finalnog čišćenja hemijskim reagensima i pasivizacije.

Prevod sa engleskog:

M. Antić