

## PRIMJER USPJEŠNOG ZAVARIVANJA PLATIRANOG MATERIJALA NA KOLONI 393-C-002

### Example of successful welding of plated material on a column 393-C-002

Božidar Kovačević<sup>1</sup>, Ivica Mustapić<sup>1</sup>, Ivan Samardžić<sup>2</sup>, Dejan Marić<sup>2</sup>, Tomislav Šolić<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Đuro Đaković Industrijska rješenja d.d.

<sup>2</sup> Strojarški fakultet u Slavonskom Brodu

**Ključne riječi:** zavarivanje, posuda pod tlakom, kontrola kvalitete, platirani materijali

#### Sažetak

Rad se bavi povećanjem produktivnosti u proizvodnji funkcionalnih dijelova klimatizacijskih U radu su opisani eksploatacijski uvjeti (temperatura, medij, naprezanje), namjena, gabaritne dimenzije te zahtjevi za kvalitetu zavarenih spojeva kolone 393-C-002. Dana su svojstva i debljina osnovnog materijala, zastupljene strojarske tehnologije pri izradi iste, bazirajući se na korištene postupke zavarivanja sa slijedom proizvodnih i kontrolnih operacija. Prikazano je uspješno zavarivanje platiranog materijala.

**Keywords:** welding, pressurized vessel, quality control, plated material

#### Abstract

The paper describes the exploitation conditions (temperature, medium, stress), purpose, gauge dimension and requirements for the welded joints of column 393-C-002. The properties and thickness of the basic material, represented mechanical engineering technology when making the same, based on the welding procedures used with the sequence of production and control operations. Successful welding of plated material is shown.

#### 1. Uvod

Proizvodnja nafte i plina sastoji se od slijeda tehnoloških operacija koje započinju dobivanjem nafte i prirodnog plina iz bušotina, transportom istih cjevovodima do objekata za oplemenjivanje, proizvodnju, skladištenje te u konačnici otpremu naftnih derivata i prirodnog plina za daljnju potrošnju. Transportirana nafta sadrži vodu, soli, sumporne spojeve, kiseline i druge nečistoće koje se nastoje ukloniti kako bi se smanjila mogućnost pojave korozije i drugih negativnih utjecaja na postrojenja. Rafinerija u Rijeci proizvodi tekuća goriva, parafin, bitumen, mineralne masti te motorna ulja, a u njenom sklopu predviđena je izgradnja novog postrojenja 393 za obradu ukapljenog naftnog plina (UNP) aminom prikazanog na fotografiji 1.1.

Namjena posude 393-C-002 je regeneracija amina na postrojenju (Jedinica 393 – obrada ukapljenog naftnog plina aminom) za obradu kiselog ukapljenog naftnog plina kako bi mu se smanjio sadržaj H<sub>2</sub>S. Cilj izdvajanja i smanjivanja sadržaja H<sub>2</sub>S-a je zaštita okoline od štetnih utjecaja sumpornih oksida [1].



Slika 1 Kolona 393 – C - 002 [2]

## 2. Tehnički podaci

Kako je već spomenuto, namjena posude je regeneracija amina na postrojenju "Jedinica 393 – obrada UNP aminom" u Rafineriji nafte Rijeka. Budući da se radi o posudi pod tlakom, ista mora biti izrađena u skladu s dva propisa, a to su Pravilnik o tlačnoj opremi (NN 20/2015) te ASME Section VIII Division 1, Edition 2015. Izrađena posuda je stabilna cilindrična posuda, ukupne mase 30058 kg, volumena 8,86 m<sup>3</sup>. Za izradu kolone korišteni su materijali koji svojim svojstvima moraju zadovoljiti agresivno svojstvo medija, neki od materijala korišteni u izradi kolone prikazani su u tablici 1.

Tablica 1 Korišteni materijali [2]

Plajt i podnice		SA 516 Gr.70 + 3 mm SS 304L
Priključci	Prirubnice	SA 182 F304L / SA 350 LF2 Cl.1 + 5 mm 304L(>10")
	Grlo iz lima	SA 516 Gr.70 + 3 mm SS 304L
Vijci i matice za prirubnice		SA 193 Gr.B7 / SA 194 Gr.2H
Suknjica		SA 516 Gr.70
Temeljni prsten		SA 355J2
Cijevi		SA 312 TP304L

## 3. Tehnologije korištene u izradi kolone 393-C-002

Strojarske tehnologije korištene u izradi kolone 393-C-002 su slijedeće:

- obrada metala deformiranjem – savijanjem su izrađeni plaševi konusa suk njice i plaševi kolone
- duboko vučenje - dubokim vučenjem izrađene su dvije eliptične podnice, dimenzija I.D. 800x30x3, SF 60 mm i I.D. 800x10x3, SF 50 mm,
- obrada odvajanjem čestica - obrada odvajanjem čestica koristi se pri izradi većine dijelova kolone, a zastupljeni postupci su: rezanje (sve pozicije iz lima rezane su plazma rezačicom), tokarenje (cijevi, prirubnice, slijepe prirubnice, otkivci, pripreme za zavarivanje, navareni sloj iznutra), glodanje (priprema žljebova za zavarivanje,) bušenje i brušenje,
- predgrijavanje - provodi se u svrhu poboljšavanja zavarljivosti materijala postizući na taj način smanjenje brzine hlađenja ZUT i ZT, izlazak vodika iz zavara i smanjenje zaostalih naprezanja i deformacija
- zavarivanje

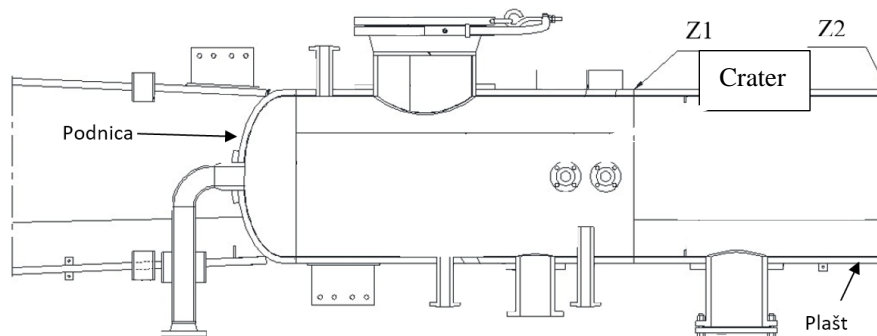
#### 4. Zavarivanje i navarivanje platiniranih slojeva

Ključna tehnologija u postupku izrade kolone 393-C-002 je zavarivanje. Zbog iznimno velike uloge u proizvodnom procesu, pri zavarivanju platiniranih čelika moraju se poštivati izvjesna svojstva materijala kako bi se ostario kvalitetan zavareni spoj.

U svrhu izbjegavanja spomenutih problema potrebno je riješiti tehnološko-zavarivačke i metalurško-zavarivačke probleme. Sa tehnološko-zavarivačkog gledišta potrebno je izvršiti izbor postupka zavarivanja i tehnike rada da bi se postiglo najmanje moguće izgaranje elemenata (posebno Cr i Ni). Izborom parametara zavarivanja i tehnike rada, prije svega jakosti struje i brzine zavarivanja može se izgaranje svesti na minimalnu mjeru. Sa druge strane, gubitak sadržaja Cr i Ni iz metalurško-zavarivačkih razloga može se izbjeći upotrebom višelegiranog dodatnog materijala. Teži se osiguranju sadržaja ferita u zavarenom spoju sa platinirane strane u granicama 3-8 %. Manji sadržaj od 3 % povećava opasnost od nastajanja toplih pukotina, dok povećani sadržaj ferita vodi prema izdvajanju krtih faza i smanjuje mogućnost oblikovanja.

Sve navedene stavke ukazuju na važnost određenih ispitivanja u pripremi proizvodnje sa ciljem definiranja najoptimalnijih uvjeta zavarivanja. Najveći problem prilikom zavarivanja i navarivanja platiniranih slojeva uzrokovan je različitim fizikalnim svojstvima kao što su: temperatura tališta, koeficijent linearnog toplinskog rastezanja, koeficijent provođenja topline, granica razvlačenja i ostala naprezanja. Različita struktura i svojstva uključuju mogućnost pojave krhkosti. Zbog sve navedenoga dodatni materijal mora odgovarati mehaničkim svojstvima osnovnog materijala te antikorozivnim svojstvima platiniranog sloja. U slučaju da je dodatni materijal čvršći od osnovnog, zona taljenja će biti čvršća u ZUT-u te će nastati visoka zaostala naprezanja, a ako nema istežljivosti doći će do pukotina u ZT koje se mogu proširiti u do ZUT-a.

Plašt i podnice su izrađene od platinirana materijala SA 516 Gr. 70 + SA 240 TP 304L ukupne debljine 18mm + 3mm, na slici 4.1 prikazana je skica kolone te uz naznačene dijelove izrađene od platiniranog materijala.



Slika 2 Skica kolone

Kemijski sastav te mehanička svojstva čelika SA 516 Gr. 70 dana su u tablicama 4.1 i 4.2. Ovaj čelik je adekvatan za primjenu pri nižim temperaturama, ima izvrsnu čvrstoću te se kao takav obično koristi za posude pod tlakom te industrijske kotlove. Industrijske grane u kojima se najčešće koristi su naftna te petrokemijska industrija.

Tablica 2 Kemijski sastav čelika SA 516 Gr. 70

Kemijski element	C	Mn	Si	Al	P
Postotak / %	0,20	1,05	0,32	0,04	0,015

In regard to mentioned preheating of the material during the welding process, the laser power was reduced to 85% of its maximum at the 95% of welding time. Moreover, to avoid the crater formation at the end of the weld joint, another decrease of laser power was involved

Tablica 3 Mehanička svojstva na sobnoj temperaturi čelika SA 516 Gr. 70

$R_{p0,2}$ / MPa	$R_m$ / MPa	$A_5$ / %	
		Debljina mat. / mm	
		50	200
260	485-620	21	17

U tablici 4.3 dana su kemijska svojstva čelika, dok se u tablici 4.4 nalaze mehanička svojstva krom –nikl čelika SA 240 TP 304L predviđenoga za upotrebu za posude pod tlakom.

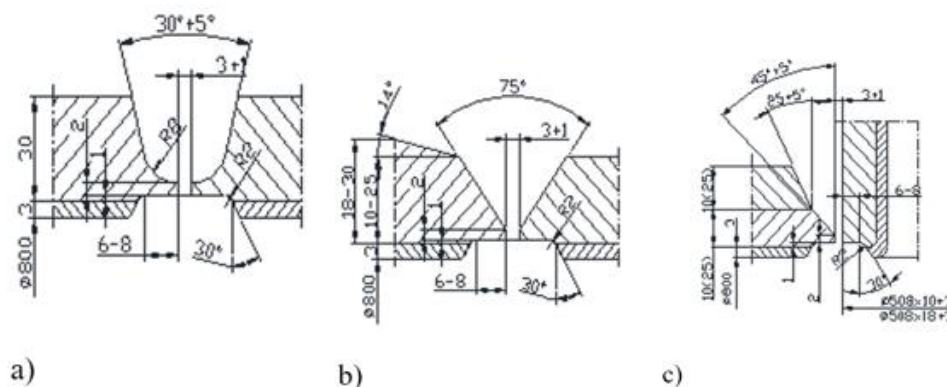
Tablica 4 Kemijski sastav čelika SA 240 TP 304L

Kemijski element	C	Mn	Si	Ni	P	S	Cr	N
Postotak / %	0,030	2,00	0,75	8-12	0,045	0,030	18-20	0,10

Tablica 5 Kemijski sastav čelika SA 240 TP 304L

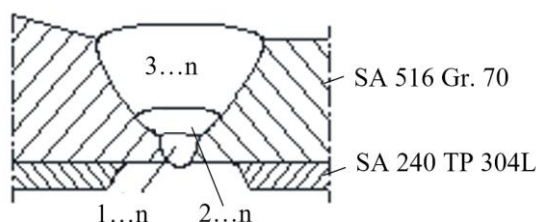
$R_{p0,2}$ / MPa	$R_m$ / MPa	$A_5$ / %	HRC
170	485	40	92

Potrebno je smanjiti zonu miješanja između zavara osnovnog i platiranog čelika jer miješanje može dovesti do gubitka sadržaja Cr i Ni što uzrokuje otpornost prema koroziji, no isto tako kod većih vrijednosti miješanja usred stvaranja krutih faza smanjuje se plastičnost i povećava se mogućnost stvaranja pukotina. Na slici 3 prikazani su načini pripreme platiranoga materijala za zavarivanje, uz prikaz različitih priprema oblika spoja (U-spoj, V-spoj, sučeoni T-spoj).



Slika 3 Izgled pripreme različitih oblika spojeva: a) U-spoj, b) V-spoj, c) sučeoni T- spoj [3]

Na primjeru V spoja prikazana je i tehnologija zavarivanja platiranoga spoja. Na slici 4 prikazan je redoslijed polaganja gusjenica za V- spoj, ukupno je bilo izvedeno 25 prolaza.



Slika 4 Redoslijed polaganja gusjenica

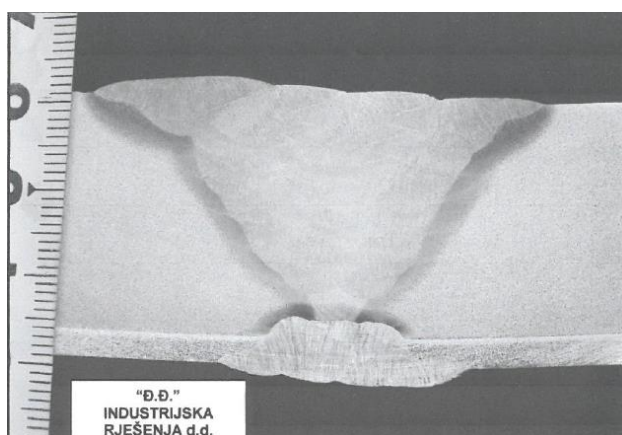
Zavarivanje je izvedeno u 1G/PA vodoravnom položaju, korištena su tri postupka zavarivanja TIG, REL te EPP pri čemu je temperatura predgrijavanja bila 20 °C, a temperatura međuprolaza je bila maksimalno do 250 °C.

Dodatni materijali u vidu elektrode, praška, žice i zaštitnih plinova izabrani su prema mehaničkim svojstvima i kemijskom sastavu osnovnih materijala kao i uvjetima eksploatacije. Zavarivanje i dodatni materijali za zavarivanje moraju biti u skladu sa standardom NACE MR 0103/2003 i NACE MR 0175/2003, prvenstveno zbog ograničenja tvrdoće ugljičnog čelika, zavara i utjecaja topline na maksimalno 247 HV10. Postupci zavarivanja te dodatni materijali korišteni prikazani su u tablici 4.5

Tablica 6 Kemijski sastav čelika SA 240 TP 304L

<i>Prolaz</i>	<i>Postupak zavarivanja</i>	<b>Glavni parametri zavarivanja</b>			<i>Dodatni materijal</i>	
		<i>I / A</i>	<i>U / V</i>	<i>v / cm/min</i>	<i>Promjer / mm</i>	<i>Klasa</i>
1÷2	TIG	125÷156	11,5÷12,5	6,3÷9,2	2,4	ER 70 S-6
3÷4	REL	128÷130	22,5÷24,5	25÷26	3,2	E7018
5÷15	EPP	490÷520	25÷29	40÷55	4	F7A8-EH12K
16÷18	REL	110÷125	26÷30	35÷40	3,2	E 309 L
19÷21	REL	118÷120	28÷31	35÷40	3,2	E 308 L
22÷25	REL	118÷120	28÷31	35÷40	3,2	E 308 L

Na izrađenim tehnološkim pločama vizualnim pregledom uočeno je da zavareni spoj ima pravilan oblik uz zadovoljavanje dimenzijskih uvjeta zavarenog spoja, bez prisustva pukotina te drugih nepravilnosti u zavarenom spoju. Na slici 5 prikazana je makrostruktura zavarenoga spoja na kojemu je jasno vidljivo da je zavareni spoj zadovoljavajuće kvalitete te da nema anomalija kao što su mikro pukotine, pukotine i druge nepravilnosti. [4]

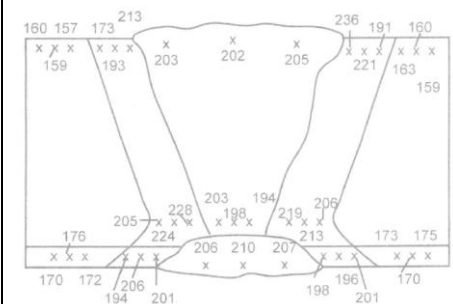


Slika 4.4 Makrostruktura zavarenoga platiranog spoja [3]

Maksimalna tvrdoća je HV10 225, u tablici 4.6 dani su podatci izmjerenih tvrdoća na osnovnome materijalu, zavarenom dijelu te platiranom dijelu.



Tablica 7 Mjerenje tvrdoće zavarenog spoja [3]

	HV10	Zadnji prolaz	Korijen	Platirani dio
Osnovni materijal		320	-	209
ZUT		248	201	224
Materijal zavara		210	201	225

Uzimajući u obzir ostale testove koji su provedeni u skladu s ASME IX sekcijom, vlačno testiranje  $R_m = 550\text{MPa}$ , test savijanja, udarna radnja loma iznosi 182,3 J (izvedeno pri  $-29^\circ\text{C}$ ) daju prihvatljive rezultate.

## 5. Kontrola i ispitivanje kvalitete zavarenih spojeva kolone

Kontrola i ispitivanje zavarenih spojeva je skup poslova provedenih u svim fazama nastajanja i eksploatacije čelične konstrukcije sa ciljem stvaranja uvjeta za nesmetano izvođenje zavarenog spoja. U svim fazama potrebno je voditi računa o kakvoći zavarivanja, kontroli zavarenog spoja u procesu njegovog nastajanja sa ciljem ostvarivanja dovoljne razine pouzdanosti. [5]

Tri su karakteristične faze u kojima se provodi kontrola kvalitete zavarenih spojeva:

- postupci kontrole prije početka zavarivanja – kontrola osnovnog i dodatnog materijala, kontrola tehnološkog redoslijeda i postupka zavarivanja, kontrola zavarivača, strojeva i uređaja, kontrola izvođenja i temperature predgrijavanja itd.
- postupci kontrole tijekom izvođenja zavarivanja – kontrola pripajanja, kontrola postupka zavarivanja, kontrola redoslijeda kao i parametara i ostalih uvjeta zavarivanja
- postupci kontrole nakon završenog zavarivanja – vizualna kontrola, kontrola površinske obrade zavarenog spoja, nerazorna kontrola, mjerenje ukupne deformacije uzoraka, ispitivanje mehaničkih osobina itd. [5]

Metode kontrole bez razaranja korištene u proizvodnom procesu izrade kolone 393-C-002 su slijedeće:

- vizualna kontrola - kontrolu potrebno je napraviti na svim zavarenim spojevima u obimu 100 % izvana i iznutra.
- penetrantska kontrola – ispituje korijen zavara te je potrebno napraviti ispitivanje tekućim penetrantima svih dostupnih zavarenih spojeva u obimu 100 % iznutra.
- magnetska kontrola - potrebno je ispitati sve dostupne zavarene spojeve u obimu 100 % dijelova iz ugljičnog čelika te ispitivanje svih dostupnih zavarenih spojeva suknjice u obimu 100 % izvana i iznutra.
- ultrazvučna kontrola - ispituje se spoj suknjice i podnice u obimu 100 %.
- radiografska kontrola - je izvršena je radiografska kontrola svih sučeonih zavarenih spojeva u obimu 30 %.
- dimenzionalna kontrola

## 6. Zaključak

Proizvodnja posuda pod tlakom opsežan je i složen posao. Obrade odvajanjem čestica, obrada metala deformiranjem, toplinska obrada, površinske zaštite te zavarivanja čine skup tehnoloških operacija prilikom izrade istih. Zavarivanje zauzima mjesto najkorištenije tehnologije osiguravajući oblike spojeva između dva metala koji su kvalitetni i pouzdani te svojom nepropusnošću omogućuju odvijanje termodinamičkih procesa u stabilnim uvjetima rada unutar posude pod tlakom.

U radu je prikazano uspješno zavarivanje platiranog materijala izrađenoga od SA 516 Gr. 70 + SA 240 TP 304L, prikazana je adekvatna priprema zavarenoga spoja te samo zavarivanje da se na kraju dobiju zadovoljavajući rezultati makrostrukture i mehaničkih svojstava. Sama proizvodnja podliježe velikom broju direktiva i normi na osnovu kojih se vrši projektiranje. U skladu s tim te provođenjem kontrolnih operacija osigurava se pouzdanost proizvoda u eksploataciji i uklanja se mogućnost otkaza u radu sa štetnim posljedicama za ljude i okoliš.

## 7. Literatura

- M. Budiša, S. Burela, R. Vasiljević, M. Šeparović, K. Mikulić, M. Mihaljinec i L. Končurat, »Tehnidko [1] - tehnološko rješenje postojećeg postrojenja INA - industrija nafte d.d. Rafinerija nafte Rijeka,« ECOINA d.o.o., SR Njemadke 1-0, L0 020 Zagreb, Zagreb, 2013.
- [2] B. Kovačević, Postupak zavarivanja kolone 393-C002, Slavonski Brod: Strojarski fakultet Slavonski Brod, 2017.
- [3] Đ. Đ. I. Rješenja, Izrada posude pod tlakom-kolona 393-C-002, Slavonski Brod: Đ. Đ. Industrijska Rješenja, 2017.
- [4] V. Ivan, Ispitivanje mehaničkih svojstava metalnih materijala, Slavonski Brod: Strojarski fakultet Slavonski Brod, 2006.
- [5] I. Samardžić, B. Despotović, V. Topić, Š. Klarić i A. Kožul, »ANALIZA TEHNOLOGIČNOSTI ZAVARENIH KONSTRUKCIJA - digitalni udžbenik,« Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Slavonski Brod.