



ZAVARIVANJE DUPLEX ČELIKA NA GRADILIŠTU

WELDING OF DUPLEX STEEL AT THE SITE

Igor JUZVIŠEN¹⁾

Ključne riječi: duplex čelici, unos topline, atesti postupaka zavarivanja, postupci zavarivanja, dodatni materijal, sadržaj ferita

Key words: duplex steel, heat input, welding process certificates, welding processes, filler metal, ferrite contents

Sažetak: Čelici austenitno-feritne stukture ili duplex čelici razvijaju se i primjenjuju još od 30-tih godina prošlog stoljeća. Osnovne karakteristike ovih čelika su izuzetne korozijske otpornosti u različitim medijima te dobre mehaničke osobine, prije svega visoke čvrstoća. Najčešće se primjenjuju u industrijama nafte, tvornicama papira, kemijskoj industriji i sl. U radu su prikazane osnovne karakteristike duplex čelika oznake A790 UNS S31803, te način njegovog zavarivanja na gradilištu INA Rafinerija nafte Rijeka pri izgradnji postrojenja Hydrocracking complex. Opisan je način provođenja atestiranja postupaka zavarivanja TIG i TIG+REL postupkom zavarivanja, te prikazan način provođenja atesta postupka popravka.

Abstract: Steels of austenite-ferrite structure or duplex steels have been developed and are used from thirties of the past century. The basic properties of these steels are exceptional resistance to corrosion in different fluids and good mechanical properties, first of all high strength. They are mostly used in oil industries, paper factories, chemical industries, etc. This work gives basic properties of duplex steel A790 UNS S31803 and describes welding done in INA Oil refinery Rijeka during construction of Hydrocracking complex. It describes procedure for certification of GTAW and GTAW+SMAW welding processes and certification of weld repair procedure.

¹⁾ Euro Đaković Montaža, Dr. Mile Budaka br. 1, Slavonski Brod

1. UVOD

U sklopu modernizacije rafinerije nafte Rijeka izgrađeno je postrojenje Hydrockreacking complex čiji je konačni cilj dobivanje goriva kvalitete EURO V. Vrlo složeni procesi u sklopu postrojenja te razne vrste medija izloženih visokim tlakovima i temperaturama direktno utječu na odabir odgovarajućeg osnovnog materijala. Pored standardnih ugljičnih i CrMo čelika na projektu su primijenjeni nehrđajući austenitni i austenitno-feritni čelici (dupleks) kao i legure na bazi nikla.

Dupleks nehrđajući čelici počinju se primjenjivati od 1930. godine iako tek 1970-ih ulaze u masovnu upotrebu. Struktura ovih čelika je dvofazna i sastoji se od otprilike od 50 % ferita i 50 % austenita. U odnosu na austenitne čelike imaju bolju otpornost na opću i rupičastu koroziju, a odlikuje ih povećana otpornost prema napetosnoj koroziji i utjecaju klorida. Čvrstoća ovih čelika je također veća u odnosu na čvrstoću austenitnih čelika. Na navedenom postrojenju je primijenjen čelik oznake S31803. U tablici 1 prikazane su usporedbe različitih svojstava nehrđajućih čelika.

Tablica 1: Usporedbe različitih svojstava nehrđajućih čelika

| Karakteristike | Vrsta nehrđajućeg čelika | | |
|----------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | Austenitni nehrđajući čelici | Feritni nehrđajući čelici | Dupleks nehrđajući čelici |
| Sadržaj Nikla | visok | vrlo nizak | nizak |
| Prekidna čvrstoća | umjerena | niska | visoka |
| Izduženje | visoko | nisko | umjereno |
| Oblikovljivost | odlična | niska | dobra |
| SCC otpornost | slaba | odlična | dobra |
| Žilavost na niskim temperaturama | odlična | slaba | visoka |
| Magnetičnost | ne magnetičan | magnetičan | magnetičan |

2. OSNOVNE KARAKTERISTIKE ČELIKA S31803 [1]

Materijal S31803 je čelik čiji je omjer austenitne i feritne faze ~50%. Čelik kojeg odlikuju dobre vrijednosti vlačne čvrstoće (uglavnom preko 480 MPa), žilavosti te dobra korozijska otpornost u različitim medijima. Najčešće se isporučuje s PREn (Pitting Resistance Equivalent) >34 koji osigurava visoku otpornost na pitting. Također čelik odlikuje dobra otpornost na SCC.

2.1 Oznake čelika prema različitim normama

Najčešće se u praksi nalazi pod nazivom prema ASTM UNS S31803. Prema EN10088-3 ima oznaku WNr. 1.4462 odnosno X2CrNiMoN22-5-3. Najčešći trgovački nazivi su 2205, SAF2205, AL2205, DMV 22-5, Remanit 4462, Nirosta 4462.

2.2 Kemijski sastav

Tablica 2: Kemijski sastav čelika S31803

| | C | Mn | Si | S | P | Cr | Ni | Mo | N | PREn |
|-------------------------------|------|------|------|-------|-------|----|-----|-----|------|-------|
| min | - | - | - | - | - | 21 | 4,5 | 2,5 | 0,10 | 33-34 |
| max | 0,03 | 2,00 | 1,00 | 0,015 | 0,035 | 23 | 6,5 | 3,5 | 0,22 | |
| PREn = Cr % + 3,3Mo % + 16N % | | | | | | | | | | |

2.3 Mehanička svojstva pri sobnoj temperaturi

Dupleks čelici imaju izuzetno dobra mehanička svojstva. Vrijednosti vlačne čvrstoće pri sobnoj temperature gotovo su dvostruko veće od standardnih austenitnih čelika. Ova činjenica omogućuje znatno smanjenje debljini stjenke u odnosu na druge nehrđajuće čelike. Tablica 3 prikazuje mehanička svojstva dupleks čelika na sobnoj temperaturi.

Zbog osjetljivosti feritne faze u području 475 °C dupleks čelici se ne primjenjuju za radne temperature iznad 250 °C(TÜV), odnosno 315 °C prema ASME propisima. Područje primjene ovih čelika je u temperaturnom području od –50 °C do +250 °C .

Tablica 3: Mehanička svojstva dupleks čelika na sobnoj temperaturi

| | |
|-------------------|-------------|
| Prekidna čvrstoća | 650-880 MPa |
| Vlačna čvrstoća | 450 MPa |
| Izduženje | 25 % |
| Tvrdoća (max) | 270 HB |
| Žilavost | 100 J |

3. ZAVARIVANJE DUPEKS ČELIKA NA GRADILIŠTU

3.1 Postupci zavarivanja

Prilikom zavarivanja dupleks čelika mogu se primjenjivati svi klasični postupci zavarivanja (GTAW, SMAW, GMAW, FCAW, SAW), ali se također koriste i automatizirani postupci kod velikih sekcija ili promjera cjevovoda. Također, koriste se zavarivanje laserom i elektronskim mlazom, ali je zbog velike brzine zavarivanja postoje problem sa povećanjem % ferita u zoni utjecaja topline. Na navedenom gradilištu, budući da se radilo o isključivo cjevovodima te uzimajući u obzir nepovoljne vremenske uvjete primijenjeni su TIG postupak za izvođenje korijenog zavara i REL postupak za izvođenje ostalog dijela zavara.

Tablica 4: Kemijski sastav žice i elektrode za zavarivanje

| Vrsta dodatnog materijala | Trgovački naziv | Kemijski sastav | | | | | | | | |
|---------------------------|-----------------|-----------------|------|------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| | | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo | Ni | N2 |
| Elektroda | FOX CN 22/9 N-B | 0,036 | 0,37 | 1,06 | 0,013 | 0,008 | 22,97 | 3,20 | 8,61 | 0,151 |
| Žica | CN22/9 N-IG | 0,016 | 0,41 | 1,60 | 0,016 | 0,009 | 22,89 | 3,08 | 8,80 | 0,163 |

Tablica 5: mehanička svojstva elektrode i žice za zavarivanje

| Vrsta dodatnog materijala | Granica razvlačenja, N/mm ² | Prekidna čvrstoća, N/mm ² | Izduženje, % | Žilavost | |
|---------------------------|--|--------------------------------------|--------------|-----------|---------------|
| | | | | Temp., °C | Vrijednost, J |
| FOX CN 22/9 N-B | 540 | 690 | 22 | +20 | 47 |
| | | | | -40 | 32 |
| CN22/9 N-IG | 550 | 680 | 20 | +20 | 80 |

3.2 Dodatni materijali

Zavarivanje dupleks čelika uvijek se izvodi uz upotrebu dodatnog materijala. Na tržištu danas postoji vrlo veliki broj dodatnih materijala čiji izbor ovisi o postupku zavarivanja, vrsti dupleks čelika kao i njegovoj debljini. Na gradilištu su se koristile žice za TIG zavarivanje



promjera 2 i 2,4 mm i bazično oplastene elektrode promjera 2,5 i 3,2 mm. Tablica 4 prikazuje kemijski sastav žice i elektrode za zavarivanje, a tablica 5 mehanička svojstva.

3.3 Zaštitni plin za zavarivanje

Kod zavarivanja dupleks čelika najčešće se primjenjuju plinovi Ar i mješavina Ar + 1-2 % N₂. Za zaštitu korijena mogu se koristiti plinovi Ar, mješavina Ar + 1-2 % N₂ mješavina 90 % N₂ + 10 % H₂. Prilikom zavarivanja dupleks čelika legiranih sa dušikom dolazi do njegovog gubitka u zavaru koji se najjednostavnije može nadoknaditi korištenjem zaštitnog plina koji u sebi sadrži dušik. Dodatak većeg postotka dušika nije preporučljiv zbog nestabilnosti električnog luka i mogućnosti pojave poroznosti. Na navedenom gradilištu za zavarivanje i zaštitu korijena zavara koristio se zaštitni plin Ar. Maksimalno dopuštena koncentracija kisika u cijevi iznosila je 0,5 % i strogo se kontrolirala sa oksimetrom.

3.4 Toplinski input

Kao i kod većine nehrđajućih čelika toplinski input kod zavarivanja dupleks čelika je vrlo bitan. Iako je kod zavarivanja dupleks čelika dozvoljen veći unos topline mora se voditi računa da bude u određenim granicama. Kod vrlo niskog unosa topline zbog veće brzine hlađenja dolazi do povećanja feritne faze što uzrokuje gubitak žilavosti i korozijske otpornosti. Kod visokih unosa topline dolazi do pojave intermetalnih faza. Preporučava se primjenjivati takve parametre zavarivanja da se ostvari toplinski input u granicama između 0,5 -2,5 KJ/mm.

3.5 Predgrijavanje i međuslojna temperatura

Predgrijavanje se ne provodi osim u slučajevima velikih debljina (peko 80 mm). Najčešće se koristi u cilju uklanjanja vlage koja se može pojaviti zbog loših vremenskih uvjeta. Ukoliko se primjenjuje najčešće se predgrijavanje vrši na temp. ~100 °C. Međuslojna temperatura mora biti u granicama između 150 i 250 °C.

3.6 Toplinska obrada

Toplinska obrada se ne preporučava zbog pojave intermetalnih faza u temperaturnom području oko 475 °C što ima za posljedicu gubitak žilavosti i korozijske otpornost.

Tablica 6: Očekivane vrijednost sadržaja ferita u zavarenim spojevima u odnosu na područje ispitivanja

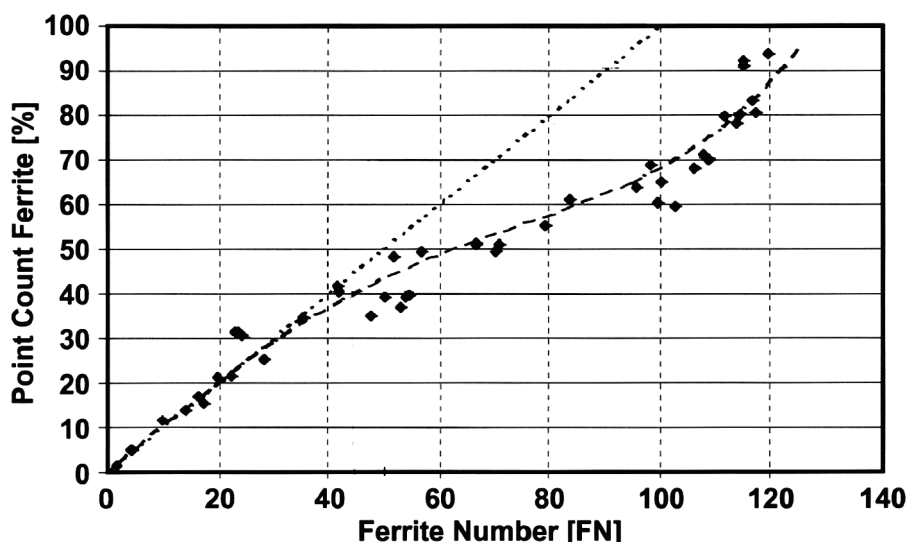
| Područje | Postotak ferita, % | Feritni broj (FN) |
|-----------------------|--------------------|-------------------|
| Osnovni materijal | 35-65 | 50-90 |
| Korijen | 28-70 | 30-95 |
| Sredina zavara | 28-50 | 30-70 |
| Zona utjecaja topline | 40-70 | 60-95 |

3.7 Postotak ferita u zavarenim spojevima

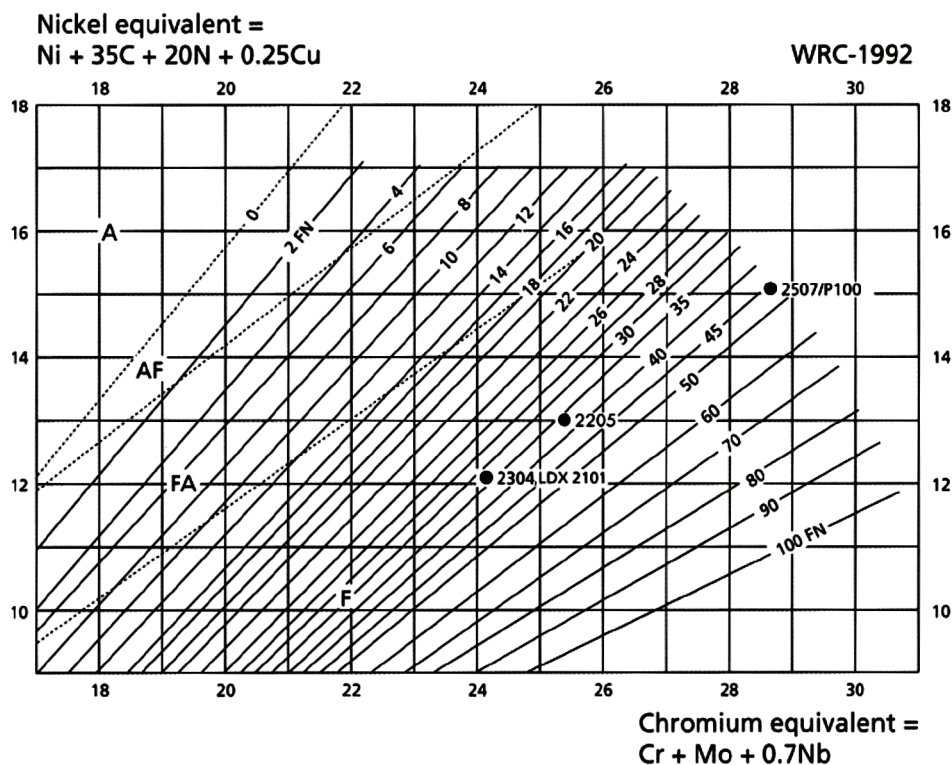
Sastav osnovnog materijal je danas najčešće u granicama 50 % ferita i 50 % austenita. Na gradilištu je postavljen zahtjev da minimalni postotak ferita u bilo kojem dijelu zavarenog spoja mora iznositi 35 %. Međutim, istraživanja pokazuju da se sa 25 % ferita i ostatak austenita mogu dobiti dobra mehanička svojstva i dobra korozijska otpornost. Veliki postotak ferita

(>od 70 %) uzrokuje pad žilavosti i gubitak korozivne sposobnosti. Visoki postotak austenita (>80 %) uzrokuje pad čvrstoće i smanjenja otpornosti na SSCC. Tablica 6 pokazuje očekivane vrijednosti sadržaja ferita u odnosu na područje ispitivanja.

Postotak ferita najčešće se mjeri uređajem - Feritoskopom i može biti izražena u postocima i tzv. ferit broju (FN). Na slici 1 prikazan je dijagram ovisnosti FN broja i postotka ferita.



Slika 1: Dijagram ovisnosti FN broja i postotka ferita



Slika 2: WRC dijagram s vrijednostima ferita u jedinici tzv. FN (ferit broj)

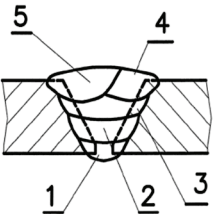
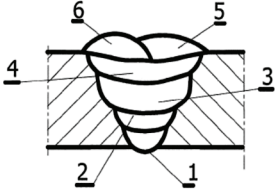
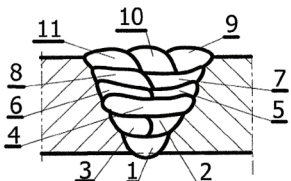
4. ATESTIRANJE POSTUPAKA ZAVARIVANJE [3, 4, 5, 10]

Za potrebe izvođenja zavarivačkih radova na dupleks čelicima izrađena su ukupno 3 atesta postupaka i 3 atesta postupaka popravka. Zbog zahtjeva projekta izrađen je i atest postupka spoja duplex i ugljičnog čelika. Tablica 7 pokazuje rezultate ispitivanja, a tablica 8 parametre zavarivanja prilikom izvođenja atestnih uzoraka.

Tablica 7: Rezultati ispitivanja

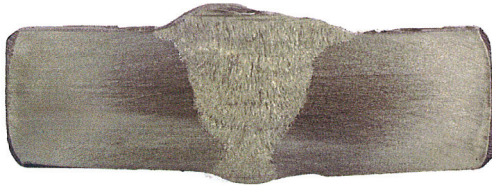
| Dimenzije uzorka | Postupak zavarivanja | Vlačna čvrstoća, N/mm ² | Žilavost (-40 °C) | Sadržaj ferita, % (minimalna i maksimalna vrijednost) | | |
|------------------|----------------------|------------------------------------|---------------------------|---|-----------|-----------|
| | | | | Osnovni materijal | ZUT | Zavar |
| Ø60,3×5,54 | TIG | 841; 819 | Zavar: 76; 84; 86 | 45,8-53,1 | 43,2-48,3 | 41,3-49,6 |
| | | | ZUT: 95; 91; 81 | | | |
| | | | ZUT+2,3 mm: 60; 69; 93 | | | |
| Ø219,1×12,7 | TIG+REL | 780; 784 | Zavar: 88; 8; 76 | 43,5-47,8 | 40,5-47,0 | 35-39 |
| | | | ZUT: 148; 151; 173 | | | |
| | | | ZUT+2,3 mm: 185; 230; 250 | | | |
| Ø323,8×17,48 | TIG+REL | 794; 794 | Zavar: 55; 50; 48; | 41,6-47,2 | 40,5-47 | 35-39 |
| | | | ZUT: 120; 100; 116 | | | |
| | | | ZUT+2,3 mm: 131; 122; 138 | | | |

Tablica 8: Parametre zavarivanja prilikom izvođenja atestnih uzoraka

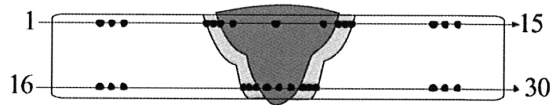
| Dimenzije uzorka | Skica spoja | Parametri zavarivanja | | | |
|------------------|---|-------------------------------------|---|---------|----------|
| | | Oznaka prolaza/postupak zavarivanja | I, A | U, V | Q, KJ/mm |
| Ø60,3×5,54 |  | 1-5 TIG | 87-100 | 14-16 | 1,1-1,7 |
| | | Ø219,1×12,7 |  | 1,2 TIG | 96-116 |
| | 3-6 REL | 84-94 | | 25-26 | 1,6-2,2 |
| Ø323,8×17,48 |  | 1,2 TIG | 101-115 | 15-16 | 1,4-2,0 |
| | | 3-6 REL | 80-101 | 24-26 | 1,7-2,2 |

4.1. Rezultati mjerenja tvrdoće, makro i mikro ispitivanja za uzorak $\text{Ø}323,8 \times 17,48$ [6, 7]

Slika 3 prikazuje izgled makro uzorka, a slika 4 položaj mjernih mjesta kod mjerenja tvrdoće.



Slika 3: Izgled makro uzorka



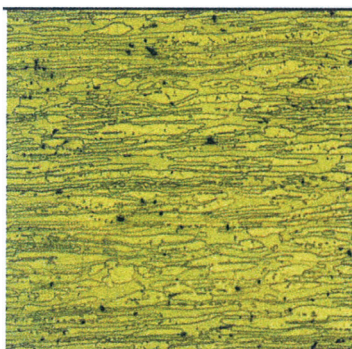
● - mjesto

Slika 4: Položaj mjernih mjesta kod mjerenja tvrdoće

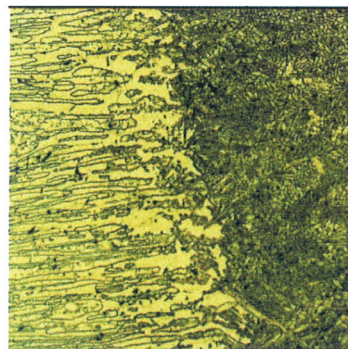
Tablica 9 prikazuje rezultate mjerenja tvrdoće u određenim mjestima na osnovnom materijalu i metalu zavara, a slike 5, 6 i 7 prikazuju karakterističan izgled strukture materijala za osnovni materijal (slika 5), zonu utjecaja topline (slika 6) i zavar (slika 7).

Tablica 9. Rezultati mjerenja tvrdoće u određenim mjestima na osnovnom materijalu i metalu zavara

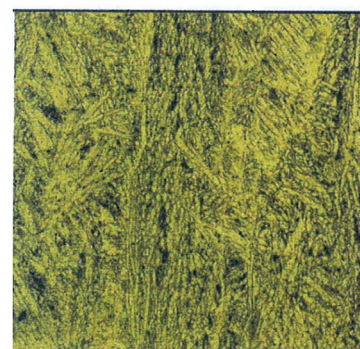
| Mjerno mjesto | Pozicija mjerenja | Tvrdoća HV 10 | Mjerno mjesto | Pozicija mjerenja | Tvrdoća HV 10 |
|---------------|-------------------|---------------|---------------|-------------------|---------------|
| 1 | OM | 272 | 16 | OM | 299 |
| 2 | | 270 | 17 | | 294 |
| 3 | | 270 | 18 | | 292 |
| 4 | ZUT | 299 | 19 | ZUT | 310 |
| 5 | | 294 | 20 | | 309 |
| 6 | | 297 | 21 | | 302 |
| 7 | ZS | 304 | 22 | ZS | 302 |
| 8 | | 299 | 23 | | 299 |
| 9 | | 294 | 24 | | 297 |
| 10 | ZUT | 292 | 25 | ZUT | 302 |
| 11 | | 287 | 26 | | 309 |
| 12 | | 289 | 27 | | 304 |
| 13 | OM | 279 | 28 | OM | 294 |
| 14 | | 281 | 29 | | 289 |
| 15 | | 287 | 30 | | 292 |



Slika 5: Karakterističan izgled strukture materijala za osnovni materijal



Slika 6: Karakterističan izgled strukture materijala za zonu utjecaja topline



Slika 7: Karakterističan izgled strukture materijala za zavar

4.2 Izgled certifikata o kvalifikaciji atesta postupka zavarivanja [8]

Svi certifikati o kvalifikaciji atesta postupka izdani su od Tijela za ocjenu sukladnost, TÜV Croatia.

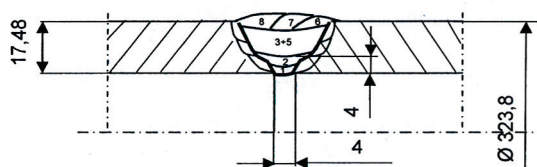
| QW - 483 CERTIFIKAT O KVALIFIKACIJI POSTUPKA ZAVARIVANJA WELDING PROCEDURE QUALIFICATION RECORD (WPQR) Registracijski broj / Certificate No. TO-108 C 0618/9 | | Strana 1 of 2 Rev. 0 | | | | | | | | | | | | |
|---|----------------------|---|--------------------------|----------------------|------------------------|-------------------------|---|-------|---|----------|-----------------------------|-------|---|---------|
| Naziv tvrtke: Đuro Đaković Montaža d.d. Dr. M. Budaka 1, 35000 Slavonski Brod, Hrvatska | | Izvištaj br.: 306A/09 Datum: 17.11.2009. | | | | | | | | | | | | |
| WPS broj: 20/09 | Revizija: 0 | Datum: 29.09.2009. | | | | | | | | | | | | |
| Postupak(i) zavarivanja: TIG+REL (GTAW+ SMAW) | | Tip(ovi): Ručno | | | | | | | | | | | | |
| QW 402 - SPOJEVI / JOINTS Izgled zavara na ispitnom uzorku Schematic Design of Test Coupon | | | | | | | | | | | | | | |
| QW 403 - OSNOVNI MATERIJALI / BASE METALS Spec. Materijala: A 790 Materijal Spec. sa: A 790 Tip ili Klasa: S31803 Tip/ev ili Grade: sa: S31803 P. Br. 10H P. No. sa P. Br. to P. No. 10H Debljina ispitnog uzorka: 17,48 mm Thickness of Test Coupon: Ø 323,8 mm Promjer ispitnog uzorka: Ø 323,8 mm Diameter of Test Coupon: Ostalo: | | | | | | | | | | | | | | |
| QW 404 - DODATNI MATERIJAL / FILLER METALS SFA Specifikacija: 5.9 + 5.4 AWS Klasifikacija: ER 2209 + E2209-15 AWS Klasifikacija: ER 2209 + E2209-15 F broj: 6 + 5 Filler Metal - F No.: 6 + 5 A broj: 8 + 8 Dimenzije dodat. mater. Size of Filler Metal: Ø 2,4 + Ø2,5 i 3,2mm Debljina metala zavara: t= 17,5 (4+13,5) mm Weld Metal Thickness: Ostalo: SZ1 + SZ3 - TIG; ER 2209 = CN22/BN-G (BÖHLER) Other: SZ4+SZ1-REL; E2209-15 = FOX CN 22/BN-G (BÖHLER) | | | | | | | | | | | | | | |
| QW 407 - TOPL. OBRADA / PWHT Temperatura: - Temperature: - Vrijeme držanja: - Time: - Ostalo: - Other: - | | | | | | | | | | | | | | |
| QW 408 - PLIN(OVI) / GAS(ES) <table border="1"> <tr> <th>Zaštitni plin: Shielding</th> <th>Vrsta plina: Gas(es)</th> <th>Mješavina: Composition</th> <th>Protok(l/min) Flow Rate</th> </tr> <tr> <td>-</td> <td>Argon</td> <td>-</td> <td>10 l/min</td> </tr> <tr> <td>Zaštitni materijal: Backing</td> <td>Argon</td> <td>-</td> <td>5 l/min</td> </tr> </table> | | | Zaštitni plin: Shielding | Vrsta plina: Gas(es) | Mješavina: Composition | Protok(l/min) Flow Rate | - | Argon | - | 10 l/min | Zaštitni materijal: Backing | Argon | - | 5 l/min |
| Zaštitni plin: Shielding | Vrsta plina: Gas(es) | Mješavina: Composition | Protok(l/min) Flow Rate | | | | | | | | | | | |
| - | Argon | - | 10 l/min | | | | | | | | | | | |
| Zaštitni materijal: Backing | Argon | - | 5 l/min | | | | | | | | | | | |
| QW 405 - POLOŽAJI / POSITIONS Položaj zavarivanja: 6G Welding Position: Smjer zavarivanja: Prema gore Welding Progression (Up/Down): Ostalo: - Other: - | | | | | | | | | | | | | | |
| QW 409 - PARAMETRI ZAVAR. / EL. CHARACTERISTICS El. Struja: DC Polarnost: (-) Pol za TIG Current: DC Polarnost: (+) Pol za REL Jak.Struja: 101-115 (TIG) Napon: 15-16 (TIG) Ampera: 80-101 (REL) Volts: 24-26 (REL) Promjer (Ø) Wolfram el. Tungsten Electrode. Size: Ø 2,4 mm; E WCE - 2 | | | | | | | | | | | | | | |
| QW 406 - PREDGRIVANJE / PREHEAT Temperatura - minimalna: RT (18°C) Preheat Temperature - min.: RT (18°C) Meduproložna temperat. - max.: Max. 150°C Interpass Temperature - max.: Održavanje temp. predgrijevanja: Ne / No Preheat Maintenance: Ostalo: Ne Other: | | | | | | | | | | | | | | |
| QW 410 - TEHNIKA RADA / TECHNIQUE Brzina zavariv. Nijanje: - Travel Speed: Oscillation: Pravolinijski ili njihanje: Pravolinijski String or weave Bead: Višeslojno ili jednoslojno: Višeslojno Single or Multipass (per side): Jedan ili više el. lukova: Jedan Single or Multiple Elec.: Ostalo: - Other: | | | | | | | | | | | | | | |

| QW - 483 CERTIFIKAT O KVALIFIKACIJI POSTUPKA ZAVARIVANJA WELDING PROCEDURE QUALIFICATION RECORD (WPQR) Registracijski broj / Certificate No. TO-108 C 0618/9 | | Strana 2 of 2 Rev. 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------------|---|--|---|---|--|---|---|--|------------------|------------------------------------|------------------|-------|--------|-----|-------------------------|----------|-------|------------|-------|--------|-----|-------------------------|----------|-------|------------|-------|----|---|---|----------|-----|------------|-------|-----|---|---|----------|-----|------------|-------|-----|---|---|----------|-----|------------|-------|-----|---|---|----------|---------|------------|-------|-----|---|---|----------|---------|------------|-------|-----|---|---|----------|---------|------------|-------|-----|---|---|
| Naziv tvrtke: Đuro Đaković Montaža d.d. Dr. M. Budaka 1, 35000 Slavonski Brod, Hrvatska | | Izvištaj br.: 306A/09 Datum: 17.11.2009. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (QW 150) ISPITIVANJE VLAČNE ČVRSTOĆE TENSILE TEST <table border="1"> <tr> <th>Uzorak Br. Specimen No.</th> <th>Širina Width (mm)</th> <th>Debljina Thickness (mm)</th> <th>Presek Area (mm²)</th> <th>Ukupna Sila Ridenja Ultimate Tensile Load (N)</th> <th>Max. Čvrstoća Ultimate Tensile Strength (N / mm² / MPa)</th> <th>Mjesto i Ocjena Loma Character of Failure Location</th> </tr> <tr> <td>DM 37 k1</td> <td>18,9</td> <td>15,4</td> <td>291,0</td> <td>231000</td> <td>794</td> <td>Osnovni mat.-Zadovoljna</td> </tr> <tr> <td>DM 37 k2</td> <td>19,1</td> <td>15,3</td> <td>292,2</td> <td>232000</td> <td>794</td> <td>Osnovni mat.-Zadovoljna</td> </tr> </table> | | | Uzorak Br. Specimen No. | Širina Width (mm) | Debljina Thickness (mm) | Presek Area (mm ²) | Ukupna Sila Ridenja Ultimate Tensile Load (N) | Max. Čvrstoća Ultimate Tensile Strength (N / mm ² / MPa) | Mjesto i Ocjena Loma Character of Failure Location | DM 37 k1 | 18,9 | 15,4 | 291,0 | 231000 | 794 | Osnovni mat.-Zadovoljna | DM 37 k2 | 19,1 | 15,3 | 292,2 | 232000 | 794 | Osnovni mat.-Zadovoljna | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Uzorak Br. Specimen No. | Širina Width (mm) | Debljina Thickness (mm) | Presek Area (mm ²) | Ukupna Sila Ridenja Ultimate Tensile Load (N) | Max. Čvrstoća Ultimate Tensile Strength (N / mm ² / MPa) | Mjesto i Ocjena Loma Character of Failure Location | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DM 37 k1 | 18,9 | 15,4 | 291,0 | 231000 | 794 | Osnovni mat.-Zadovoljna | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DM 37 k2 | 19,1 | 15,3 | 292,2 | 232000 | 794 | Osnovni mat.-Zadovoljna | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (QW 160) ISPITIVANJE SAVIJANJEM GUIDED-BEND TESTS <table border="1"> <tr> <th>Tip i broj slike / Type and Figure No.</th> <th>Rezultat / Result</th> </tr> <tr> <td>DM 37 s1 (Face QW 482.3 (a) 38 mm)</td> <td>180° zadovoljava</td> </tr> <tr> <td>DM 37 s2 (Root QW 482.3 (a) 38 mm)</td> <td>180° zadovoljava</td> </tr> <tr> <td>DM 37 s3 (Face QW 482.3 (a) 38 mm)</td> <td>180° zadovoljava</td> </tr> <tr> <td>DM 37 s4 (Root QW 482.3 (a) 38 mm)</td> <td>180° zadovoljava</td> </tr> </table> | | | Tip i broj slike / Type and Figure No. | Rezultat / Result | DM 37 s1 (Face QW 482.3 (a) 38 mm) | 180° zadovoljava | DM 37 s2 (Root QW 482.3 (a) 38 mm) | 180° zadovoljava | DM 37 s3 (Face QW 482.3 (a) 38 mm) | 180° zadovoljava | DM 37 s4 (Root QW 482.3 (a) 38 mm) | 180° zadovoljava | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tip i broj slike / Type and Figure No. | Rezultat / Result | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DM 37 s1 (Face QW 482.3 (a) 38 mm) | 180° zadovoljava | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DM 37 s2 (Root QW 482.3 (a) 38 mm) | 180° zadovoljava | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DM 37 s3 (Face QW 482.3 (a) 38 mm) | 180° zadovoljava | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DM 37 s4 (Root QW 482.3 (a) 38 mm) | 180° zadovoljava | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (QW 170) ISPITIVANJE ŽILAVOSTI TOUGHNESS TESTS <table border="1"> <tr> <th>Oznaka uzorka Specimen No.</th> <th>Lokacija zarez notch Location</th> <th>Veličina uzorka Specimen Size</th> <th>Temp. ispitivanja Test Temp.</th> <th>Radija loma / Impact Energy J</th> <th>Odgovara Specif. mm</th> <th>Napomena Remarks</th> </tr> <tr> <td>DM 37 t1</td> <td>Zavar</td> <td>10,0 x 8,0</td> <td>-40°C</td> <td>58</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>DM 37 t2</td> <td>Zavar</td> <td>10,0 x 8,0</td> <td>-40°C</td> <td>58</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>DM 37 t3</td> <td>Zavar</td> <td>10,0 x 8,0</td> <td>-40°C</td> <td>48</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>DM 37 t4</td> <td>ZU1</td> <td>10,0 x 8,0</td> <td>-40°C</td> <td>120</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>DM 37 t5</td> <td>ZU1</td> <td>10,0 x 8,0</td> <td>-40°C</td> <td>109</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>DM 37 t6</td> <td>ZU1</td> <td>10,0 x 8,0</td> <td>-40°C</td> <td>118</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>DM 37 t7</td> <td>ZU1+5,3</td> <td>10,0 x 8,0</td> <td>-40°C</td> <td>131</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>DM 37 t8</td> <td>ZU1+5,3</td> <td>10,0 x 8,0</td> <td>-40°C</td> <td>122</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>DM 37 t9</td> <td>ZU1+5,3</td> <td>10,0 x 8,0</td> <td>-40°C</td> <td>138</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> </table> | | | Oznaka uzorka Specimen No. | Lokacija zarez notch Location | Veličina uzorka Specimen Size | Temp. ispitivanja Test Temp. | Radija loma / Impact Energy J | Odgovara Specif. mm | Napomena Remarks | DM 37 t1 | Zavar | 10,0 x 8,0 | -40°C | 58 | - | - | DM 37 t2 | Zavar | 10,0 x 8,0 | -40°C | 58 | - | - | DM 37 t3 | Zavar | 10,0 x 8,0 | -40°C | 48 | - | - | DM 37 t4 | ZU1 | 10,0 x 8,0 | -40°C | 120 | - | - | DM 37 t5 | ZU1 | 10,0 x 8,0 | -40°C | 109 | - | - | DM 37 t6 | ZU1 | 10,0 x 8,0 | -40°C | 118 | - | - | DM 37 t7 | ZU1+5,3 | 10,0 x 8,0 | -40°C | 131 | - | - | DM 37 t8 | ZU1+5,3 | 10,0 x 8,0 | -40°C | 122 | - | - | DM 37 t9 | ZU1+5,3 | 10,0 x 8,0 | -40°C | 138 | - | - |
| Oznaka uzorka Specimen No. | Lokacija zarez notch Location | Veličina uzorka Specimen Size | Temp. ispitivanja Test Temp. | Radija loma / Impact Energy J | Odgovara Specif. mm | Napomena Remarks | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DM 37 t1 | Zavar | 10,0 x 8,0 | -40°C | 58 | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DM 37 t2 | Zavar | 10,0 x 8,0 | -40°C | 58 | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DM 37 t3 | Zavar | 10,0 x 8,0 | -40°C | 48 | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DM 37 t4 | ZU1 | 10,0 x 8,0 | -40°C | 120 | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DM 37 t5 | ZU1 | 10,0 x 8,0 | -40°C | 109 | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DM 37 t6 | ZU1 | 10,0 x 8,0 | -40°C | 118 | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DM 37 t7 | ZU1+5,3 | 10,0 x 8,0 | -40°C | 131 | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DM 37 t8 | ZU1+5,3 | 10,0 x 8,0 | -40°C | 122 | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DM 37 t9 | ZU1+5,3 | 10,0 x 8,0 | -40°C | 138 | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Komentar: - Comments: - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (QW 180) ISPITIVANJE KUTNOG ZAVARA FILLET WELD TEST Rezultat zadovoljava: - Result Satisfactory: No Penetracija u osnovnom metalu: - Penetration in to Parent Metal: No Makroizjed rezultati: - Macro-Results: - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OSTALA ISPITIVANJA OTHER TESTS Vrsta ispit: Makrostruktura i tvrdoće zadovoljavaju zahtjeve testa (izvištaj br. Z/IMR-350-240-09) Type of Test: Analiza depozita: Nema zahtjeva Deposit Analysis: Ostalo: Rezultati vizualnog ispitivanja su u skladu sa standardom (izvištaj br. 128-RVT-094-09) Other: Results of visual inspection are in accordance with the requirements of Section IX Edition 2007, Add. 2008 and Regulations NIV2608 I Rezultati radiografskog ispitivanja su u skladu sa standardom (izvištaj br. 128-RRT-082-09) Results of radiographic inspection are in accordance with the requirements of Section IX Edition 2007, Add. 2008 and Regulations NIV2608 I | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ime zavarivara: Mijo Štivilj Welder's Name: Žig Br.: 022 Stamp No.: Atest broj: WPC No.: Ispitivanje nadzira: Laboratorijski ispit broj: Z/IMR-310-837-09 Test conducted by: Laboratory Test No.: TÜV Croatia Mr.Boček | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Potvrđujemo da su navodi u ovom izvješću točni i da su ispitni zavari pripremljeni, zaveni i ispitivani u skladu sa zahtjevima ASME Code - Odjeljak IX, Izbjagbe 2007 - Dodatak 2008 i Pravilniku NIV2608 I. We certify that the statements in this record are correct and that the test welds were prepared, welded and tested in accordance with the requirements of Section IX Edition 2007, Add. 2008 and Regulations NIV2608 I. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Proizvođač: Đuro Đaković Montaža d.d. Dr. M. Budaka 1, 35000 Slavonski Brod, Croatia Manufacturer: Datum: 17.11.2009. By: Mr. Boček Miodu Boček | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

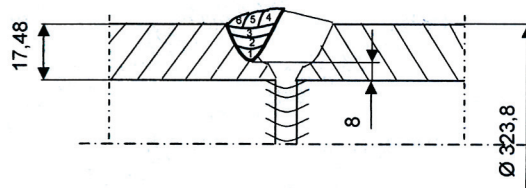
4.3 Atesti postupaka popravka [9, 10]

Prema zahtjevima Kupca i odgovarajućih normi za navedeno gradilište izrađena su 3 atesta postupka popravka. Zavarivanjem atestnih uzoraka stimulirale su se mogući slučajevi pojave grešaka u zavarenom spoju i načini njihove sanacije.

Tijek izvođenja atestiranja sastojao se u potpunom zavarivanju uzorka Ø323,8 × 17,48. Na dijelu zavarenog uzorka (~120 mm) izvršeno je mjerenje sadržaja ferita i tvrdoće. Na drugom dijelu uzorka (~387 mm) izvršeno je vađenje kompletnog zavara i ponovno zavarivanje po istoj proceduri kao i kod prvog zavarivanja. Na trećem dijelu uzorka (~387 mm) izvršena je odstranjanje dijela zavara u dubini od ~8 mm i zavarivanje TIG postupkom. Na četvrtom dijelu uzorka (~120 mm) izvršen je djelomični popravak REL postupkom, mjerenje sadržaja ferita te mjerenje tvrdoće. Slika 8 prikazuje izgled zavarenog spoja nakon potpunog uklanjanja zavara i ponovnog zavarivanja, a slika 9 prikazuje djelomični popravak TIG postupkom. Na ovim uzorcima izvršena su kompletna ispitivanja.



Slika 8: Izgled zavarenog spoja nakon potpunog uklanjanja zavara i ponovnog zavarivanja



Slika 9: Djelomični popravak TIG postupkom

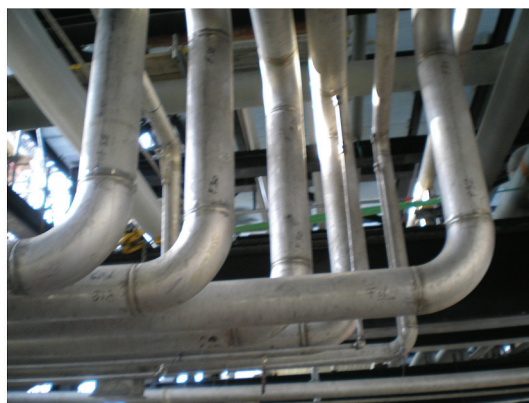
5. PROVOĐENJE KONTROLE ZAVARENIH SPOJEVA

Ispitivanje zavarenih spojeva na dupleks čeliku provedeno je radiografsko ispitivanje i ultrazvučno ispitivanje za debljine stijenke preko 25 mm. Kod primjene ultrazvučnog ispitivanja korištena je metoda Phased array.

Niti na jednom zavarenom soju nije pronađena neprihvatljiva greška što ukazuje na visoku kvalitetu zavarivačkih radova. Slika 10 i 11 prikazuju zavarene linije dupleks cjevovoda.



Slika 10: Zavarene linije dupleks cjevovoda



Slika 11: Zavarene linije dupleks cjevovoda

6. ZAKLJUČAK

Zavarivanje dupleks čelika u montažnim uvjetima primjenom TIG i REL postupka izvedivo je uz strogo poštivanje tehnološke discipline i propisanih procedura. Također, potrebno se pridržavati svih tehnoloških pravila prije i nakon zavarivanja koja vrijede za sve vrste nehrđajućih čelika.

Najčešće se kod zavarivanja ovih čelika pored normi i standarda Kupac zahtjeva pridržavanje i odgovarajućih tehničkih specifikacija koje su u većini slučajeva daleko strožije. Prije početka zavarivanja svakako je potrebno poznavati minimalni sadržaj ferita koji se mora ostvariti budući da direktno utječe na izbor dodatnog materijala. Pokazalo se da kod zavarivanja dupleks čelika sa ugljičnim čelicima treba u svakom slučaju izbjegavati toplinsku obradu (bez obzira na debljinu) budući da se ne mogu postići zadovoljavajući rezultati. Zbog složenosti samog tijeka zavarivanje ove spojeve zavaruju trebaju izvoditi najkvalitetniji zavarivači sa prethodnim iskustvom rada na nehrđajućim čelicima.



7. LITERATURA

- [1] Technical Marketing Resources, Inc. of Pittsburg, Pennsylvania, USA, "Practical guidelines for welding the fabrication of duplex stainless steel"
- [2] Avesta welding "How to weld duplex stainless steel"
- [3] Standard, ASME_SECTION_IX_Ed2004_Add2005
- [4] Standard, NACE Standard MR0175-2003, "Metals for Sulfide Stress Cracking and Stress Corrosion Cracking Resistance in Sour Oilfield Environments"
- [5] Pravilnik o tlačnoj opremi ("Narodne novine" br. 135/05, 44/06 i 126/08)
- [6] Izvještaj TPK br. Z/IMR/-350-240-09
- [7] Izvještaj TPK br. Z/IMR/-320-256-09
- [8] Certifikat o kvalifikaciji atesta postupka zavarivanja br. TO-1/08 C 0618/9, TÜV Croatia
- [9] British Standard BS 4515-2:1999, "Specification for welding of steel pipelines on land and offshore"
- [10] Tehnička specifikacija Chevron br. EXH-SU-5011-D "Materials and fabrication requirements for duplex stainless steel"