

ZAVARIVANJE SITNOZRNATIH ČELIKA PRI REKONSTRUKCIJI PLATFORME „LABIN“

WELDING OF FINE-GRAINED STEELS DURING RECONSTRUCTION OF LABIN DRILLING PLATFORM

Igor JUZVIŠEN¹

Ključne riječi: sitnozrnati čelici, platforme

Key words: fine-grained steels, platforms

Sažetak: Mikrolegirani čelici danas imaju široku primjenu, te se najviše koriste za tlačne cjevovode, posude pod pritiskom, mostove, građevinske strojeve, u brodogradnji i offshore postrojenjima. Problem kod zavarivanja ovih čelika je sklonost povećanju tvrdoće u ZUT-u, što utječe na mogućnost pojave pukotina. Samo upotrebom pravilne tehnologije zavarivanja i poštivanjem tehnološke discipline mogu se dobiti zavareni spojevi odgovarajuće čvrstoće i žilavosti. Za vrijeme izvođenja rekonstrukcije platforme «Labin» najzahtjevniji zavarivački radovi bili su vezani za zavarivanje dijelova Cantilevera, produžetaka nogu platforme i ojačanje dijagonala nogu. Najopterećeniji, a ujedno i najvitalniji dijelovi platforme izrađeni su od čelika povišene čvrstoće S690QL (A 514 Gr.Q), a raspon debljina kretao se od 10 do 80 mm. U radu je prikazana cjelokupna problematika zavarivanja ovog čelika u montažnim uvjetima korištenog za ojačanje dijagonala nogu platforme.

Summary: Microalloyed steels have wide application. Mostly they are used for pressure pipes, pressure vessels, bridges, construction machines, in ship building and off-shore projects. The problem in welding of these steels is tendency to increased hardness in HAZ, what increases the possibility for occurrence of cracks. Only using correct welding procedure and following welding technology discipline will provide welded joints of proper strength and toughness. During reconstruction of Labin drilling platform the most demanding welding works were on welding of cantilevers, extension of platform legs and stiffening leg bracings. The most loaded and also the most essential parts of the platform are fabricated from high strength steel S690QL (A 514 Gr.Q), where the thicknesses ranged from 10 to 80 mm. The work showed all the problems related to welding of this steel in situ used for stiffening platform leg bracings.

¹ DD Montaža d.d., Dr.Mile Budaka 1, Slavonski Brod, Hrvatska, e-mail:ijuzvisen@dd-montaza.hr

1. UVOD

U sklopu vrlo opsežnih radova pri remontu platforme "LABIN" koji se izvodio u brodogradilištu "Lamjana" na otoku Ugljanu "Đuro Đaković –Montaža d.d" izvodila je najsloženije zavarivačke radove .

Zavarivački radovi izvodili su se na nekoliko dijelova platforme:

- radova na ojačanju dijagonala nogu platforme,
- radovi na stambenom dijelu,
- radovi na cantileveru (push up, hold down, guides)

Kao najsloženiji i tehnološki najzahtjevniji bili su radovi na ojačanju dijagonala nogu platforme.

2. OSNOVNI MATERIJAL

Za najvitalnije i najopterećenije dijelove platforme upotrebljen je čelik oznaka S690QL po DIN EN 10137, odnosno A514Gr Q po ASME propisima. Često se ovaj čelik susreće pod nazivom NAXTRA 70, WELDOX700, DILLIMAX 690 i sl.

Navedeni čelik pripada grupi sitnozrnatih mikrolegiranih čelika, koji uz dobra mehanička svojstva (čvrstoća i žilavost) ima i dobru zavarljivost.

2.1. Kemijski sastav i mehanička svojstva

U dolje navedenim tablicama prikazana su pojedina svojstva ovog čelika:

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al
max	max	max	max	max	max	max	max	
0,20	0,80	1,70	0,025	0,015	1,50	0,70	1,5	>0,015

Tablica 1. Kemijski sastav

Debljina lima [mm]	ReH [MPa]	Rm [MPa]	A [%]	Tvrdoća HB
t<50	690	770-940	14	235-293
50<t<100	690	760-930	14	235-293
t>100	690	710-900	14	235-293

Tablica 2. Mehanička svojstva

Način ispitivanja	Udarne radnja loma [J]		
	0°C	-20°C	-40°C
Uzdužno	50	40	30
Poprečno	35	30	27

Tablica 3. Žilavost pri različitim temperaturama

2.2. Zavarivanje i plinsko rezanje [3]

Zavarivanje kao najčešći način spajanja ovih čelika predstavlja izuzetno složenu i tehnološki vrlo zahtjevnu operaciju.

Zavarivanje se može izvesti većinom uobičajenim postupcima (REL, MAG, EPP). Dobivaju se zavareni spojevi odgovarajuće čvrstoće i žilavosti, koji se mogu usporediti sa svojstvima osnovnog materijala. Pored konvencionalnih postupaka zavarivanja, kod zavarivanja tanjih limova moguće je vršiti zavarivanje i laserom prije svega zbog velikih brzina zavarivanja i male zone utjecaja topline. Kod zavarivanja treba voditi računa da je ovaj visokočvrsti čelik kao i uostalom većina sitnozrnatih čelika osjetljiv na pojavu hladnih pukotina. Kao osnovni uzročnici ove pojave su:

- prisutnost vodika
- martenzitna struktura
- naprezanja u konstrukciji

Zbog toga je prilikom zavarivanja potrebno izuzetno poštivanje tehnološke discipline što uključuje prije svega kontrolu:

- temperature predgrijavanja
- unosa topline
- međuslojne temperature
- redoslijeda zavarivanja
- sušenja dodatnog materijala
- pripreme žlijeba za zavarivanje

Plinsko rezanje. Naglo hlađenje nakon plinskog rezanja može uzrokovati pojavu pukotina kod rezanje limova većih debljina, stoga proizvođači čelika preporučuju predgrijavanje prije rezanja za debljine iznad 20 mm na temperaturu od 80-100°C.

3. PRIPREMNA FAZA ZAVARIVAČKIH RADOVA

Zbog vrlo složenih zavarivačkih radova bilo je očito kako je faza pripreme od izuzetnog značenja za kvalitetno izvođenje zavarivačkih radova. Zbog toga se ova faza koja se provodila u Slavonskom Brodu, sastojala od nekoliko segmenata:

1. Atestiranje postupka zavarivanja
2. Obuka i atestiranje zavarivača
3. Izrada potrebne opreme za izvođenje zavarivanja (grijači, naprave za podizanje i montažu gredica, kade za grijanje butanskih boca i sl.)

3.1. Atestiranje postupka zavarivanja

3.1.1. Odabir postupka zavarivanja

Budući da su se radovi ojačanja dijagonala nogu izvodili na visini iznad 100 m uz otežane uvjete rada (vjetar) i nemogućnost smještaja opreme za zavarivanje neposredno uz mjesto zavarivanja, te vrlo nepovoljne pozicije zavarivanja (nadglavni položaj) REL postupak zavarivanja pokazao se kao jedini koji bi zadovoljivo sve gore navedene zahtjeve.

3.1.2. Odabir dodatnog materijala

Kao dodatni materijal koristile su se bazično oplastene elektrode oznake po AWS:E 11018 ; proizvođača ESAB (OK 75.75) i BÖHLER (FOX EV 85) .
 Pojedina svojstva navedene elektrode ESAB (OK 75.75) prikazane su u tablicama:

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Nb	Cu
0,04	0,32	1,5	0,02	0,01	0,30	2,3	0,32	0,021	0,008	0,01

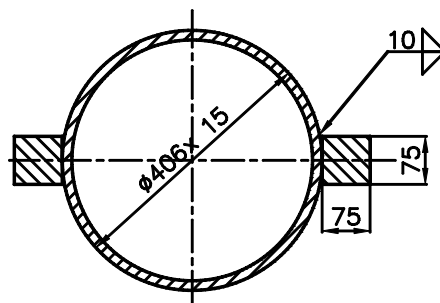
Tablica 4. Kemijski sastav

R _{p0.2} [N/mm ²]	R _m [N/mm ²]	A ₅ %	Temp. [°C]	Žilavost [J]
min 690	760/880	min20	-51	min 27

Tablica 5. Mehanička svojstva

3.1.3. Oblik i priprema spoja za zavarivanje

Za provođenje zavarivanja na gradilištu prema projektnoj dokumentaciji određen je kutni spoj z=13 mm (a=10 mm). (vidi skicu 1.)



Slika 1. Oblik spoja za zavarivanje

3.1.4. Određivanje parametara zavarivanja [1],[2]

Na osnovu podataka dobivenih od proizvođača osnovnog materijala određeni su parametri zavarivanja. Kontrola unosa topline kod REL postupka zavarivanja definirana je pojmom "dužina izvlačenja elektrode". To je ona dužina gusjenice koju zavarivač mora povući (sa jednom elektrodom) uz pretpostavljeni ostatak (čik) od 50 mm.

$$Q = \eta \cdot \frac{U \cdot I}{v} \text{ [J/mm]} \quad (1)$$

pri čemu je

- Q - unešena energija u [J/mm]
- U - napon zavarivanja u [V]
- I - struja zavarivanja [A]
- v - brzina zavarivanja [mm/sec]

Brzina zavarivanja definirana je:

$$v = \frac{l_i}{t} \text{ [mm/sec]} \quad (2)$$

pri čemu je

l_i – dužina izvlačenja elektrode [mm]

t - vrijeme gorenja elektrode pri zadanim parametrima [sec]

Temperatura predgrijavanja odabrana je 150°C, te na osnovu preporuka za $t_{8/5}$ (između 15 i 20 s) iz izraza (3) određen je toplinski input, a na osnovu njega i dužina izvlačenja elektrode.

$$t_{8/5} = (6700 - 5 \cdot T_o) \cdot Q \cdot \left(\frac{1}{500 \cdot T_o} - \frac{1}{800 - T_o} \right) \cdot F_3 \quad (3)$$

gdje je :

$t_{8/5}$ – vrijeme hlađenja od 800 do 500°C

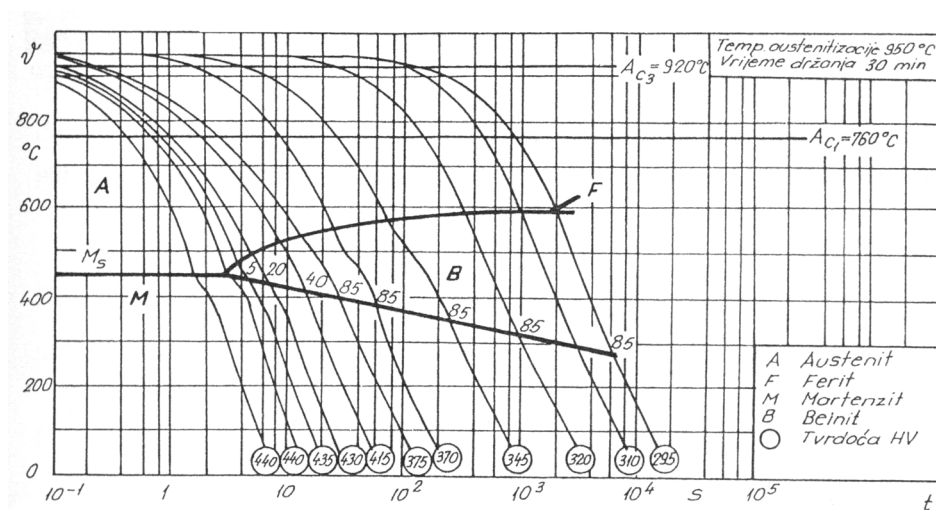
T_o – temperatura predgrijavanja

Q – toplinski input [KJ/mm]

F_3 – faktor zavara ovisan o načinu odvođenja topline

Kod odabira parametara vodilo se računa o maksimalno dozvoljenim vrijednostima tvrdoće (vidi Sliku 2.) kako bi se time osigurao zavareni spoj zadovoljavajućih svojstava.

Naime, zavarivanje s premalim unosom topline daje povećanu čvrstoći i tvrdoću zavarenog spoja što uz napetosti i prisustvo vodika može uzrokovati pojavu pukotina, a uz to smanjuje se deformabilnost i povećava se sklonost krtom lomu. Kod zavarivanja s prevelikim unosom topline dolazi do krhkosti uz granicu taljenja, a na visokim temperaturama uslijed dugog zadržavanja dolazi do porasta zrna. Brzim hlađenjem ovog područja javlja se krhki martenzit, koji će uzrokovati jak pad duktilnosti i udarne žilavosti. Zbog toga parametre zavarivanja treba odabirati tako da se dobije bainitna struktura koja će osigurati zavareni spoj sa zadovoljavajućim svojstvima.

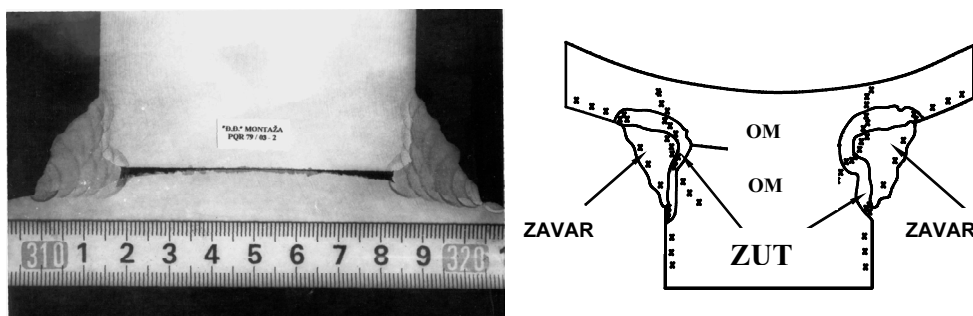


Slika 2. TTT dijagram za čelik NAXTRA 70

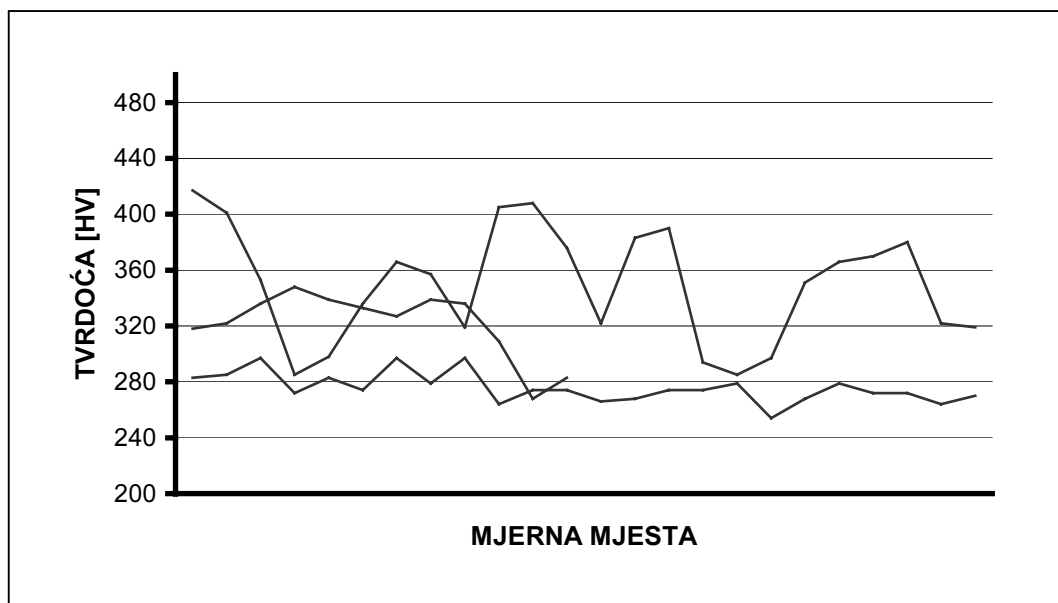
3.1.5. Izvođenje zavarivanja atestnog uzorka

Temeljem gore navedenih podataka izrađen je WPS, odobren od ovlaštenog inspektora ABS-a. Zavarivanje je provedeno u položaju koji će se izvoditi na gradilištu uz poštivanje svih zadanih parametara sukladno WPS-u.

Provedena ispitivanja na zavarenom spoju izvedena su prema EN 288-3.



Slika 3. Prikaz makro izbruska i položaja mjernih mjesta tvrdoće

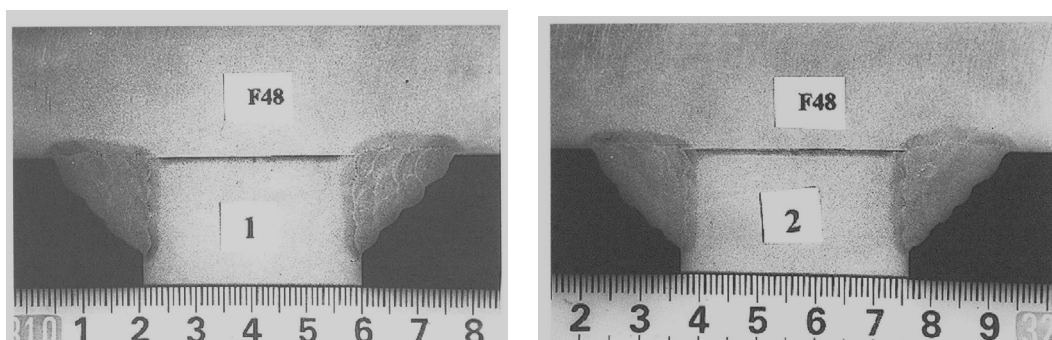


Slika 4. Dijagram ovisnosti tvrdoće o mjestu mjerenja na uzorku

Na osnovu izmjerenih vrijednosti tvrdoće vidljivo je da je i uz poštivanja tehnološke discipline došlo do povećane tvrdoće u ZUT-u što ukazuje kako se radi o zakaljivom materijalu, te da je kontrola unosa topline od iznimnog značenja za kvalitet zavarenog spoja.

3.2. Obuka i atestiranje zavarivača

Zbog specifičnosti tehnologije zavarivanja bilo je nužno izvršiti obuku zavarivača. Obuka se izvodila primjenom osnovnog i dodatnog materijala istovjetnog onom koji će se primjenjivati na objektu. Cilj obuke je obučiti zavarivače za pravilno "izvlačenje" elektrode u nadglavnom položaju. U prosjeku zavarivači su trebali 7 radnih dana kako bi pravilno savladali tehniku zavarivanja. Na kraju obuke izvršeno je atestiranje. Izvršeno je ispitivanje magnetskom metodom i napravljena su po 4 makro izbruska od svakog uzorka.

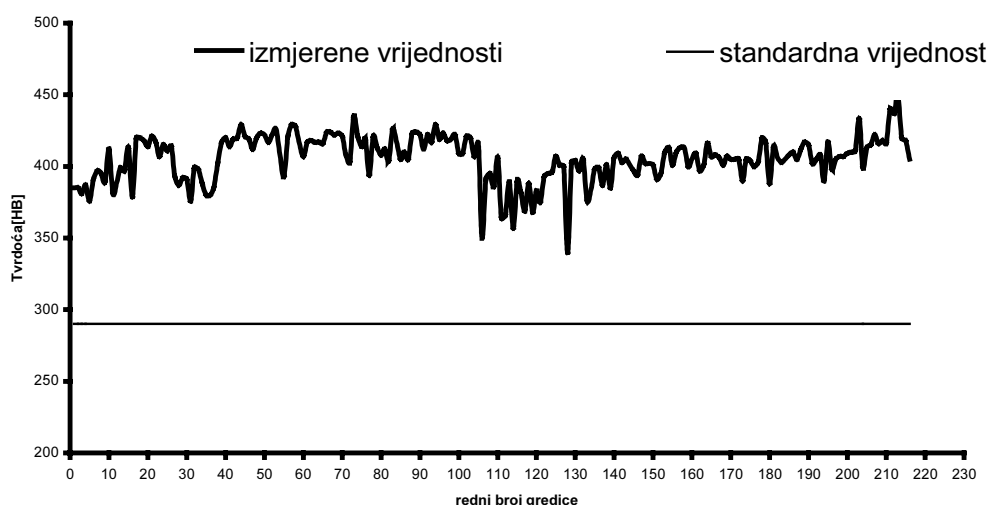


Slika 5. Prikaz 2 makro izbruska atestnog uzorka

4. ZAVARIVAČKI RADOVI NA GRADILIŠTU

Neposredno nakon dolaska započeli su radovi na ostalim dijelovima platforme, dok su radovi na ojačanjima započeli nešto kasnije. Kvadratna ojačanja (gredice) nisu bila isporučena iz tvornice čelika već su se izrađivala plinskim rezanjem.

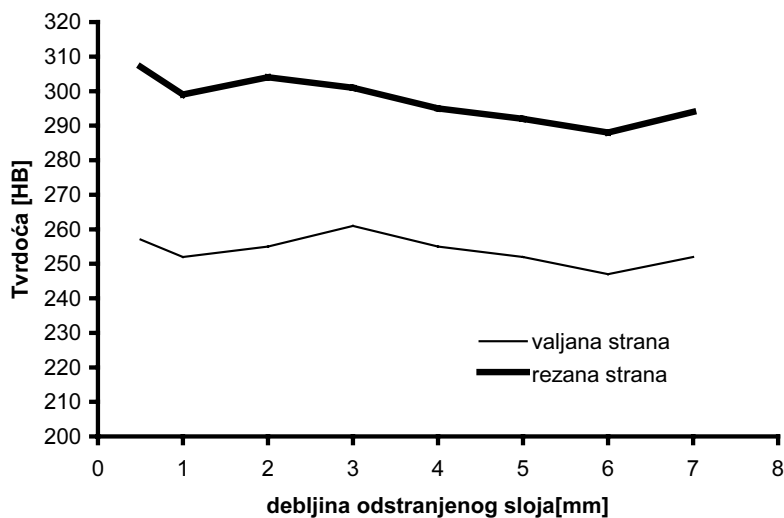
Imajući u vidu spoznaju da se radilo o zakaljivom čeliku postavljalo se pitanje tvrdoće izrezanih gredica. Stoga je izvršeno mjerenje tvrdoće (3 područja po tri mjerenja) sa svake strane svih 216 gredica.



Dijagram 1. Ispitivanje tvrdoće gredica nakon plinskog rezanja

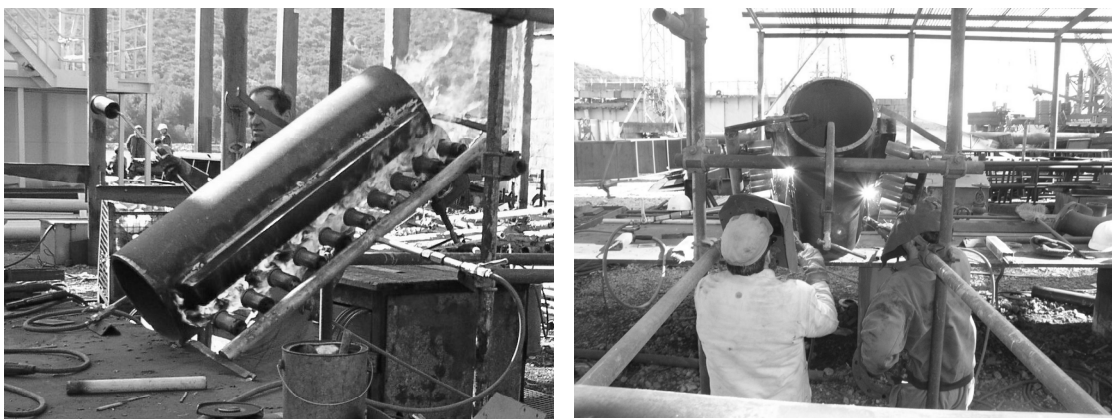
Nakon mjerenja tvrdoće gredica došlo se do zaključka da vrijednosti daleko prekoračuju one koju garantira proizvođač osnovnog materijala (max 300HB). Bilo je vidljivo kako je došlo do zakaljivanja materijala uslijed plinskog rezanja.

Smanjivanje vrijednosti tvrdoće na propisanu moglo se postići jedino strojnom obradom izrezane površine. Zbog toga je uzet uzorak i ispitana tvrdoća valjane i rezane strane nakon plinskog rezanja. Izvršena je strojna obrada izrezane plohe tako da se skidalo po 0,5 mm da bi se dobio podatak koliko je duboko u materijalu došlo do zakaljivanja.



Dijagram 2. Ovisnosti tvrdoće nakon strojne obrade

Iz dijagrama je vidljivo da se odstranjivanjem ~2,5 mm materijala dolazi do zadovoljavajućih vrijednosti tvrdoće. Međutim, zbog velike količine strojne obrade odustalo se od njene primjene te se pristupilo izradi "demo" uzorka s tako povišenim tvrdoćama. Ispitivanja su pokazala povišene tvrdoće i dopušten je početak zavarivačkih radova.



Slika 6. Zavarivanje "demo uzorka"

4.1. Izvođenje zavarivanja na objektu

Kao jedan od većih problema, a koji nije bio usko vezan za samu tehnologiju zavarivanja, bio je i rad u iznimno teškim montažnim uvjetima. Naime, radovi su izvođeni na visini iznad 100 m u posebno izgrađenoj skeli u kojoj je bila smještena sva oprema (osim uređaja za zavarivanje koji su se nalazili na 50 m). Radovi su se izvodili u 3 smjene od 9 sati, a sama izmjena smjena vršila se u skeli, tako da praktički nije bilo prekida zavarivanja.

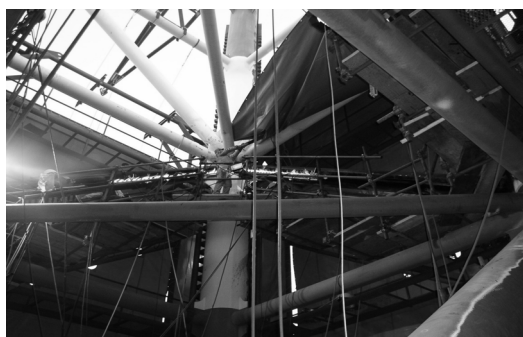
Vrlo bitni čimbenici tijekom izvođenja procesa zavarivanja su:

1. Predgrijavanje i međuslojna temperatura

Izvodilo se postavljanjem specijalno izrađenih linijskih grijača dužine 3 m sa donje strane gredice. Propisana temperatura (150°C) kontrolirala se sa gornje strane gredice i na površini cijevi (~100mm od mjesta zavara) upotrebom termo krede ili digitalnog termometra. Međuslojna temperatura (~220°C) se također morala poštivati uz stalnu kontrolu.



Slika 7. Grijači za predgrijavanje i kade za grijanje butanskih boca



Slika 8. Predgrijavanje postavljenih gredica

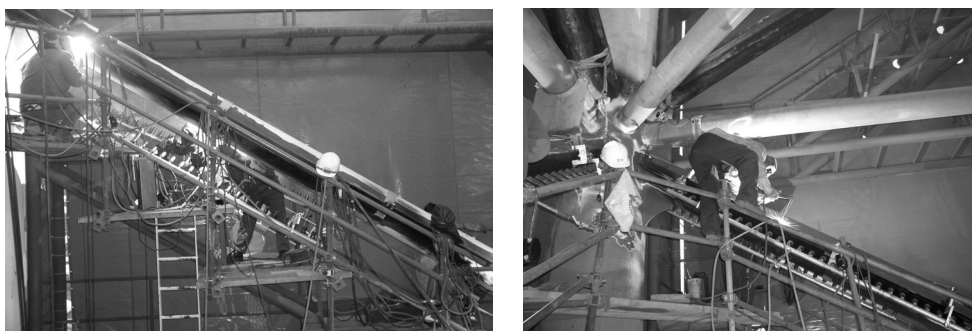
4.2. Sušenje dodatnog materijala

Jedan od mogućih uzroka pojave hladnih pukotina kod ove vrsta čelika je vodik koji u zavareni spoj može dospjeti preko dodatnog materijala (elektrode). Zbog toga se posebna briga vodila o pravilnom sušenju i prijenosu elektrode. Elektroda je bila uskladištena u suhom i zračnom prostoru, zaštićena od nepovoljnih vremenskih utjecaja, a posebno od vlage. Sušenje se provodilo na temperaturi od ~350°C u trajanju od 2 sata. Prijenos od peći u kojoj se vršilo sušenje do mjesta zavarivanja na kojemu je bila postavljena druga peć, koja je

služila za dnevnu potrošnju, vršio se u prethodno zagrijanim tobojcima. Zavarivači su na samom mjestu zavarivanja uzimali elektrodu iz peći i držali je u zagrijanim tobojcima.

4.3. Raspored zavarivača

Zbog dužine dijagonala ~ 7 m na koju se postavljaju 2 gredice nužno je bilo naći optimalan broj zavarivača kako bih se izbjeglo neprestano dogrijavanje, te kako bi deformacije bile svedene na najmanju moguću mjeru. Najbolje se pokazao razmještaj od 6 zavarivača po cijevi, odnosno tri sa svake strane. Tijekom izvođenja zavarivanja jedne cijevi bilo je nužno dogrijavati 3 do 4 puta kako bi se zadana temperatura mogla održati.



Slika 9. Zavarivanje

5. PROVOĐENJE ISPITIVANJA NAKON ZAVARIVANJA

Ispitivanje zavarenih spojeva izvedeno je magnetskom metodom u opsegu od 100 % minimalno 48 sati nakon zavarivanja. Početna ispitivanja pokazala su pojavu pukotina na krajevima gredica što je ukazivalo na nedovoljno predgrijavanje u toj zoni tj .zbog velike mase vertikalne cijevi noge platforme dolazilo je do naglog odvođenja topline. Kod zavarivanja idućeg polja posebno se vodilo računa o dodatnom zagrijavanju tog područja.



Slika 10. Ispitivanje zavarenih spojeva



6. IZVOĐENJE POPRAVAKA

Izvođenje popravaka vršilo se odmah nakon ustanovljenih grešaka. Otklanjanje greške izvodilo se brušenjem, uz istovremenu kontrolu magnetskim česticama te naknadnim lokalnim predgrijavanjem butanskim bakljama i ponovnim zavarivanjem.

7. ZAKLJUČAK

Sitnozrnati čelici oznake S690QL (A514 GrQ) odlikuju se visokom granicom razvlačenja, visokom čvrstoćom, zadovoljavajućom radnjom loma na niskim temperaturama, otpornošću prema krhkom lomu i otpornošću prema atmosferskoj koroziji. Zbog toga je njihova primjena u izradi čeličnih konstrukcija potpuno opravdana. Tijekom radova na platformi izvršeno je dodatno atesiranje postupaka zavarivanja na sučeljenim spojevima na navedenom materijalu. Dobiveni rezultati, prije svega tvrdoća, čvrstoća i žilavost ukazuju na ispravno odabranu tehnologiju zavarivanja.

Zavarivanje ovih čelika moguće je i u iznimno teškim montažnim uvjetima. Samo primjenom pravilne tehnologije zavarivanja i uz iznimno poštivanje tehnološke discipline mogu se ostvariti zavareni spojevi odgovarajuće kvalitete uz minimalan broj grešaka.

8. LITERATURA

1. "Zavarivanje" - Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu
2. SEW 088 –1993
3. Savjetovanje: "Materijali i zavarivanje u naftnim i petrokemijskim postrojenjima"
4. Atest postupka br.79/03-1
5. Podloge od proizvođača osnovnog materijala SALZGITTER