

IZRADA KOTLOVSKIH KOMPONENTI OD ČELIKA P91 ZAVARIVANJEM

Tihomir Marsenić, Božo Despotović, Tvrtko Majstorović
tihomir.marsenic@ddtep.power-m.hr

Đuro Đaković Termoenergetska postrojenja, Dr. Mile Budaka 1, Slavonski Brod, Hrvatska

Ključne riječi: Čelik P91, zavarivanje spojeva, priključci na komorama, tople pukotine

Sažetak:

U radu su specificirane bitne varijable za zavarivanje kotlovskih komponenti izrađenih od čelika P91. Posebna pažnja posvećena je pojavi toplih pukotina u zavarenim spojevima. Također, u radu su navedene mjere za sprječavanje pojave ovakvog tipa pukotina.

MANUFACTURING OF BOILER'S COMPONENTS FROM P91 STEEL BY WELDING

Key words: Steel P91, join welding, boiler's connections, hot cracks

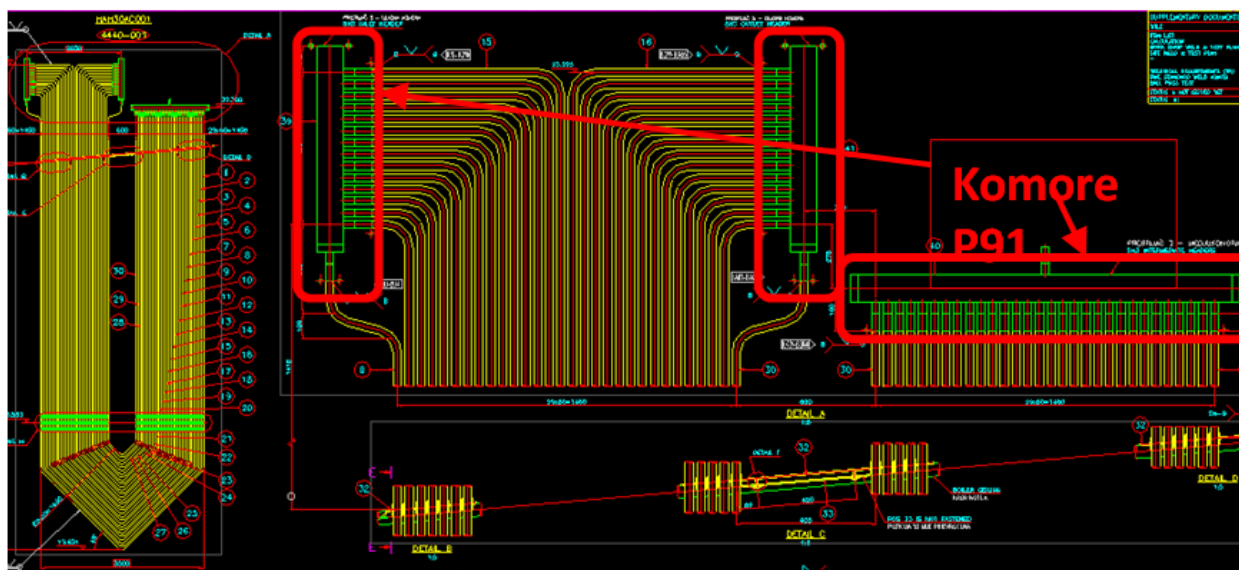
Abstract:

In paper essential variables for welding of boiler's components made from P91 steel are described. Special attention is focused on appearance of hot cracks. Also, in paper are specified actions for defects preventing such as hot cracks.

1. UVOD

U tvornici ĐĐTEP proizveden je kotao na biomasu snage 40 MW za danskog naručitelja, koji će biti instaliran na području Velike Britanije. Najsloženiji dio za izradu bili su pregrijači III i IV zbog osnovnog materijala od kojeg su izrađeni i zahtjeva za izradu definiranih u naručiteljevoj specifikaciji (slika 1).

Komore i priključci pregrijača izrađeni su od čelika martenzitne mikrostrukture X10CrMoVNb9-1 (P91), dok su cijevne zmiје izrađene od austenitnog čelika X7CrNiNb18-10, W.Nr.1.4912.

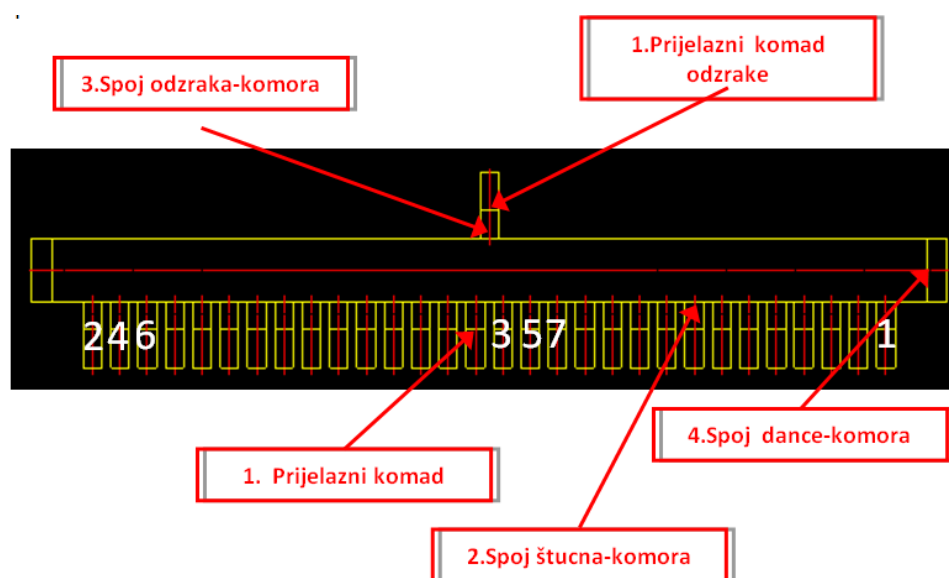


Slika 1. Prikaz pregrijača III i IV

2. REDOSLJED IZRADE PREGRIJAČA

Tehnološki redosljed izrade pregrijača sastojao se od:

1. Izrade komora koja obuhvaća strojnu obradu komora i priključaka, zavarivanja priključaka i podnica (danca) na komore. Prije zavarivanja priključaka na komore, na priključak je zavaren prijelazni komad od austenitnog čelika kako bi se izbjegla toplinska obrada prilikom međusobnog spajanja komora na cijevne zmijske. Nakon zavarivanja komora provedena je toplinska obrada (slika 2).



Slika 2. Redosljed zavarivanja tlačnih dijelova i priključaka na komoru

2. Izrade cijevnih zmijske savijanjem te zavarivanjem međusobnih pozicija prema slici 1
3. Međusobnog spajanje komora na cijevne zmijske zavarivanjem sučeljenih spojeva.

3. ZAVARIVANJE ISPITNOG UZORKA

Prije početka proizvodnje komora, prema specifikaciji kupca zahtijevala se izrada ispitnog uzorka zavarene komore s priključcima, kako bi se definirao najpovoljniji redosljed zavarivanja priključaka na komoru u cilju postizanja najmanje deformacije zavarene komore, te potvrdila ispravnosti metode ravnjanja. [2]

Zavarivanjem ispitne komore utvrdile su se bitne varijable zavarivanja priključaka. Sve upute za zavarivanje i toplinsku obradu prije samog početka zavarivanja dobile su odobrenje od angažirane inspekcije agencije i kupca.

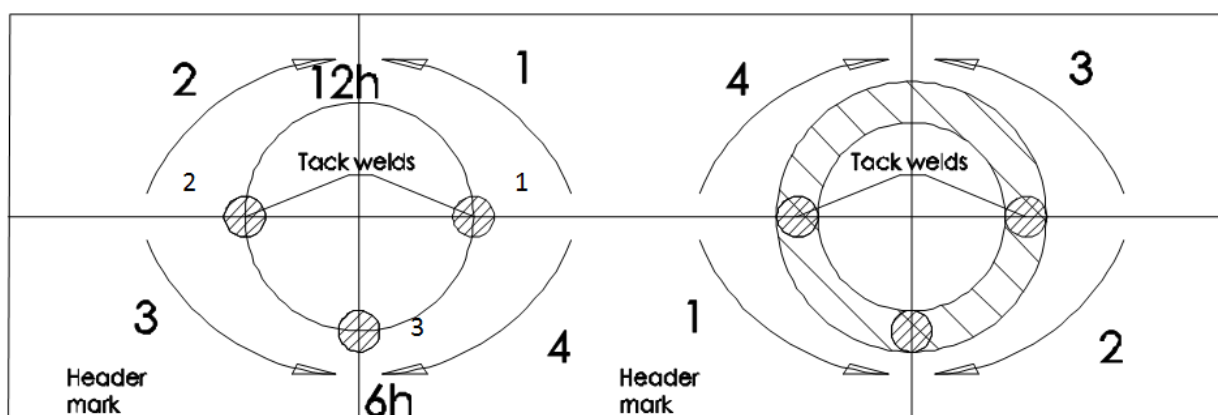
Ispitni uzorak imao je jednake dimenzije komore i priključaka kao pregrijač III:

- Dimenzije komore: $\text{Ø } 114,3 \times 12,5 \text{ mm}$,
- Dimenzije priključka: $\text{Ø } 33,7 \times 5,6 \text{ mm}$.

Broj priključaka koji se zavarivao na komoru je 30. Predgrijavanje komore izvođeno je elektrootporno, uz kontrolu temperature, dok se priključci predgrijavaju u posebnoj peći. Temperatura predgrijavanja iznosila je od 210 - 250°C. Položaj pripoja te početaka i krajeva zavarivanja priključaka za prva tri prolaza prikazan je na slici 3. [1]

Redosljed zavarivanja korijena zavora

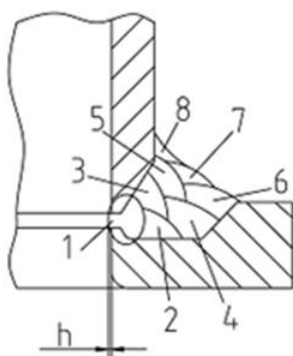
Redosljed zavarivanja prve i druge popune



Slika 3. Mjesto pripoja spoja priključaka komore, redosljed zavarivanja korijena i prve dvije popune

Priključci su pripajani s tri pripoja. Zavarivanje korijena izvodi se na način da je prekid zavarivanja (odnosno završetak korijena zavora) bio u 6 i 12 sati. Počeci zavarivanja su bili u 3 i 9 sati. Redosljed zavarivanja popune vrućih prolaza odgovarao je prikazan je desno na slici 3. Na slici 4 prikazan je redosljed zavarivanja prolaza s parametrima spoja priključak - komora.

Header Ø114,3 x 12,5mm
Tube Ø33,7 x 5,6mm



PASSES / DIAMETER	WELDING CURRENT - I [A]
1. PASS (ROOT) / ϕ 2.00 mm	80 - 105
2. PASS (FILLING) / ϕ 2.00 mm	100 - 130
3. PASS (FILLING) / ϕ 2.40 mm	100 - 130
4. PASS (FILLING) / ϕ 2.40 mm	130 - 155
5. PASS (FILLING) / ϕ 2.40 mm	145 - 170
6. PASS (FINAL LAYER) / ϕ 2.40 mm	150 - 175
7. PASS (FINAL LAYER) / ϕ 2.40 mm	135 - 160
8. PASS (FINAL LAYER) / ϕ 2.40 mm	130 - 155

Slika 4. Redosljed polaganja gusjenica spoja priključak – komora P91

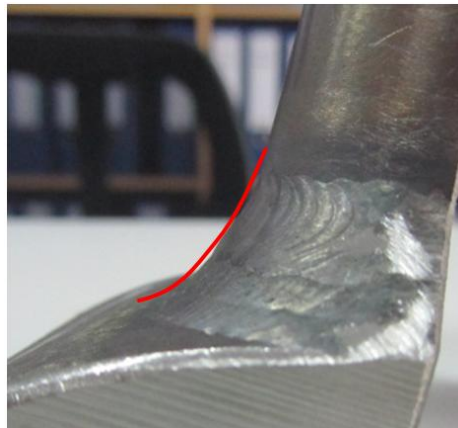
Slijed zavarivanje priključaka na komoru izvođen je prema slici 2. Prvo je zavaren korijen zavora, a potom su paralelno s korijenom zavarivane popune. Redosljed zavarivanja priključaka odvijao se prema sljedećem: zavarivanje korijena na priključku br. 1, zavarivanje korijena na priključku br. 2, zavarivanje prve popune na priključku br. 1, zavarivanje korijena na priključku br.3, zavarivanje prve popune na priključku br. 2 sve do zavarivanje posljednjeg priključka.

Nakon zavarivanja korijena i vrućih prolaza provedena je vizualna kontrola korijena zavora. Kako je priključak s zavarenim prijelaznim komadom dugačak, a unutrašnji promjer priključka malen, kontrola korijena se izvodila pomoću ogledala i dodatnog osvjetljenja ručnom lampom. Sve greške geometrije korijena zavora koje su se mogle ukloniti brušenjem odstranjene su, dok je komora bila još u toplom stanju ili tek nakon toplinske obrade.

Greške tipa vezivanja također su se uklanjale, dok je komora bila predgrijana rezanjem i ponovnim zavarivanjem ili nakon toplinske obrade. Svaka nepravilnost u korijenu zavora koja je uklonjena bilo brušenjem ili ponovnim zavarivanjem korijena bila je registrirana na posebnom obrascu prema zahtjevu kupca. Nakon vizualnog pregleda korijena zavora nastavljeno je sa zavarivanjem popune spoja priključak – komora.

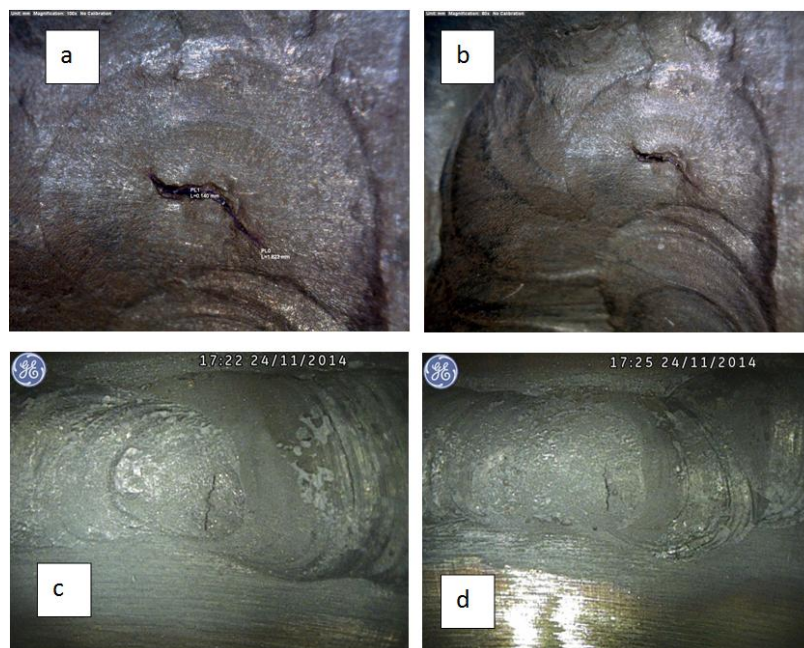
Po završetku zavarivanja, a prije toplinske obrade u hladnom stanju provedena je kontrola zavarene komore prema planu kontrole. Dimenzijska kontrola komore koja obuhvaća kontrolu ukupne duljine, korak između priključaka, ravnost komore, nagib priključaka bila je zadovoljavajuća u zadanim tolerancijama. Također izvršena je vizualna kontrola zavarenih spojeva, lica i korijena zavara.

Poseban zahtjev kupca odnosio se na lice zavara koje je trebalo biti izvedeno bez utora i zajedno te imati konkavan oblik uz blagi prijelaz sa zavara na osnovni materijal gdje radijus prijelaza treba iznositi minimalno 3 mm. Na slici 5 je prikazana geometrija lica jednog zavarenog spoja. Zbog uske tolerancije geometrije lica zavara i zbog malih dimenzija priključaka, zavarivanje priključaka je izvedeno TIG postupkom.



Slika 5. Geometrija zavara spoja priključak – komora P91

Korišteni dodatni materijal bio je Thermanit MTS 3. Kriterij prihvatljivosti definiran je prema normi EN ISO 5817 nivo B. Na osnovu tih kriterija, maksimalno dopušteno nadvišenje u korijenu zavara moglo je iznositi 2,6 mm, ako je širina korijena nakon zavarivanja iznosila 6 do 8 mm. Tijekom direktne vizualne kontrole lica i korijena zavara nisu otkrivene neprihvatljive greške. Osim direktne vizualne kontrole provedena je indirektna vizualna kontrola, upotrebom endoskopa. Endoskopskom kontrolom korijena zavara uočene su greške tipa pukotina na korijenom prolazu (slika 6.)



Slika 6. Pukotine u zavaru spoja priključak – komora otkrivene endoskopskom kontrolom

Ove greške jako su malih dimenzija, tako da nisu otkrivene direktnom vizualnom kontrolom. Učestalost ove pojave je bila 20%, odnosno 6 grešaka na ispitnoj komori.

Ove pukotine bile su povod za daljnju analizu pojave grešaka ovog tipa. U cilju otkrivanja uzroka nastajanja ovog tipa pukotina zavarani su dodatni probni uzorci. Tijekom probnog zavarivanja varirani su parametri zavarivanja: struja zavarivanja, način izvlačenja gusjenice (sa i bez šetanja), detalj spoja, tehnika rada i međuprolazna temperatura. Neke od grešaka na ispitnom uzorku su namjerno proizvedene kako bi se mogao utvrditi uzrok nastajanja grešaka.

4. KARAKTERISTIKE PUKOTINA

Većina grešaka koje su se pojavljivale tijekom zavarivanja priključaka na komore su greške poznate pod nazivom tople ili solidifikacijske pukotine. Vrlo malih su dimenzija, pa se također mogu nazvati i mikropukotinama. Zbog male veličine ne mogu se detektirati vizualnom kontrolom upotrebom ogledala i bez uvećanja. Pukotine su se pojavljivale samo u korijenu zavara.

S obzirom na pojavnost i vrijeme nastajanja, pukotine se mogu podijeliti:

- Prema mjestu pojave u zavarenom spoju,
- Lokaciji nastanka,
- Prema vremenu nastanka,
- Prema dimenzijama,

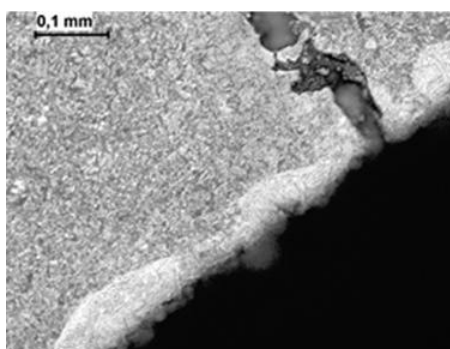
Prema mjestu pojave u zavarenom spoju pukotine su se pojavljivale u korijenu zavara ili na mjestu pretaljivanja (propaljivanja) osnovnog materijala priključka, neposredno iznad korijenog prolaza.

S obzirom na lokaciju pukotine nastaju u završnom krateru. Najčešće se pojavljuju na mjestu zatvaranja korijena u 6 sati i 12 sati, i to u kupki koja se posljednja skrućuje s unutrašnje korijene strane (slika 6 c i d). Pukotine se uglavnom protežu poprečno na korijen zavara, i to u dijelu korijena prema priključku. Također, pojavljuju se u pretaljenom (propaljenom) osnovnom materijalu priključka u završnim kraterima (slika 6 a i b).

Prema vremenu nastanka pukotine se pojavljuju u zadnjoj fazi skrućivanja taline, tijekom prekida električnog luka u korijenom prolazu na mjestu sastava korijena u 6 i 12 sati. Prekid luka izvodi se na mjestu sastava korijenog prolaza kako je prikazano na slici 6 c i d.

Pukotine koje se pojavljuju zbog ponovnog protaljivanja (propaljivanja) su nešto veće ovisno o unosu topline (slika 6 a i b). Pukotina na slici 6 a jedna je od većih i ima sljedeće dimenzije: duljina x širina x dubina = 1,823 x 0,140 x 1,4 mm.

Na slici 7 prikazana je mikrostruktura u okolini pukotine. Sa slike se može zaključiti da se radi o pogrubljenju zrna u okolini pukotine i promjeni strukture na površini korijena zavara. Oko pukotine izraženo je pogrubljenje feritnih zrna, dok u ostatku korijena zavara prevladava pravilna martenzitna struktura. Uzrok promijene mikrostrukture i pojave pukotina može se opisati velikim unosom topline tijekom zavarivanja.



Slika 7. Mikrostruktura u okolini pukotine korijena zavara, uzorak PTC NW9

5. UZROCI POJAVE PUKOTINA

Prema navodima iz stručne literature tople pukotine (*eng. Solidification Cracks*) pojavljuju se u metalu zavaru ili ZUT - u zbog pratećih elemenata poput sumpora i fosfora. Navedeni elementi tvore niskotaljive faze - filmove oko granica zrna koje se skrućuju posljednje u sredini zavara. Zbog slabe deformabilnosti te faza, povećanog naprezanja uzrokovano skupljanjem zavara i skrućivanja taline dolazi do pojave pukotina ovog tipa. Osnovni uzroci nastajanja toplih pukotina su nečistoće i naprezanja u zavarenom spoju uzrokovana skrućivanjem zavara, ali i oblikom spoja.

Drugi izvori ovakve pukotine povezuju se sa toplim trganjem (*eng. Hot Tearing*). Najčešće se pojavljuju prilikom lijevanja debelih komponenti i legiranih čelika. Pojavljuju se u poluskrućnutome stanju, kada je 85 - 95 % volumena taline skrućnuto. Ove pukotine povezane su sa kristalizacijskim skupljanjem, protokom preostalog rastaljenog metala u krutnini, toplinskim naprezanjem i stresom tijekom kristalizacije.

Prilikom procesa kristalizacije poluskrućnuti materijal može smjestiti i popuniti praznine i pore s preostalim tekućim metalom ukoliko za to postoji dovoljno vremena. Nedostatak vremena uzrokuje neispunjavanje šupljina unutar strukture materijala, koje se usljed toplinskog naprezanja spajaju i na taj način formiraju pukotine. Fenomen nastajanja ovakvog tipa pukotina tipičnog za lijevanje još je u fazi istraživanja.

Zavarivanjem ispitnih uzoraka zabilježeni su neki od uzroka nastajanja pukotina. Na osnovu dosadašnjih spoznaja mogu se donijeti sljedeći zaključci o uzrocima pojave toplih pukotina:

- Preveliki unos topline tijekom zavarivanja, posebno na mjestu završetka u korijenom zavaru. Na povećanje unosa topline utječu: visoke vrijednosti struje zavarivanja, male brzine zavarivanja, predugo zadržavanje električnog luka na mjestu prekida zavarivanja te neodgovarajuće dodavanje žice za zavarivanje u rastaljenu talinu.

- Neodgovarajuća priprema spoja koja odstupa od detalja pripreme koja je specificirana prema crtežu. U prvom redu misli se na duljinu nosa na priključku, koja je u stvarnosti ispod 0,5 mm, pa čak i manja zbog tolerancije debljine stjenke cijevi. Definirana visina nosa na crtežu iznositi će 1 mm u minusu 0,2 mm. Tijekom zavarivanja spoja uz ovakvu pripremu, ivica nosa se rastaljuje brzo i nekontrolirano, čime je rad zavarivača otežan. Na mjestu zatvaranja korijena zavara malo dužim zadržavanjem i štanjanjem električnog luka dolazi do propaljivanja gornjeg dijela ovako tankog nosa na priključku što ponekad uzrokuje pukotinu u završnom krateru (slika 8).



Slika 8. Neodgovarajuća visina nosa na priključku

- Mjesta spajanja u korijenu zavara (na 6 i 12 sati) bruse kako bi se osiguralo pravilno spajanje u korijenu zavara. Tijekom brušenja odstranjuje se dio zavara uz priključak, a ponekad i dio pripreme na priključku čime se dodatno smanjuje debljinu stjenke priključka. U fazi zatvaranja korijena, zbog male debljine stjenke pripreme dolazi do pregrijavanja i nekontroliranog rastaljivanja

oštećene debljine nosa na priključku što uzrokuje pojavu pukotina na mjestu spajanja korijena zavara.

- Tokom zavarivanja 2. i 3. prolaza (posebno 3. prolaza) često dolazi do propaljivanja korijena zavara ili osnovnog materijala – priključka. Propaljivanje ne mora biti veliko, ali mogu uzrokovati sitnu pukotinu u završnom krateru na korijenu zavara (slika 6 a) ili na rastaljenom priključku. Propaljivanje korijena zavara ili priključka uzrokovano je visokim unosom topline tijekom zavarivanja 3. prolaza.
- Nepravilna tehnika rada zavarivača (preveliko šetanje gorionika, velika širina i debljina zavara, mala brzina zavarivanja, velika struja zavarivanja za vrijeme zavarivanja vrućih prolaza).
- Visoka međuprolazna temperatura, posebno tijekom zavarivanja vrućih prolaza. Više puta potrebno je izmjeriti međuprolaznu temperaturu, posebno prilikom zavarivanja vrućeg prolaza 3.
- Nekvalitetna zaštita korijena zavara uzrokovana nepravilnim brtvljenjem spoja prije zavarivanja i povećanog protoka zaštitnog korijenog plina argona. Velika količina plina uzrokuje naglo hlađenje taline i veću napetost tijekom kristalizacije korijena zavara, što može uzrokovati pukotine u završnom krateru.
- Premala debljina korijena zavara ispod 2,5 mm se ne preporučuje, jer na mjestu zatvaranja korijena zavara dolazi do nekontroliranog rastaljivanja korijena zavara. To uzrokuje povećanje promjera rastaljene kupke i napetosti u talini, što povećava mogućnost nastanka toplih pukotina u završnom krateru. Mala debljina korijena zavara omogućiti će protaljivanje korijena ili priključka u 3. prolazu. Također, manja debljina korijena ne može izdržati veća naprezanja koja se pojavljuju tijekom kristalizacije korijena zavara. Kao posljedicu toga dolazi do formiranja pukotina u korijenu zavara.
- Nastajanje pukotina u pripojima (posebno na pripoju na 6 sati) uslijed naprezanja. Pukotine na pripoju se pojavljuje s unutrašnje strane i protežu se od kraja pripoja prema unutra.
- Nepripremljenost zavarivača za izvođenje korijena spoja, bilo da se radi o neiskusnom zavarivaču ili iskusnom zavarivaču na početku smjene. Iskusnom zavarivaču potrebna su dva priključka na kojima bi izveo probno zavarivanje kako bi bio spreman (odnosno smiren za zavarivanje posebno korijena zavara na proizvodu).
- Naglo gašenje električnog luka sigurno uzrokuje pukotinu. Također, prekratko vrijeme gašenja električnog luka, (tkz. nedovoljan Slope Down).
- Previsoka struja zavarivanja, posebno kod primjene druge, visoke struje prilikom zatvaranja korijena zavara.
- Prilikom zavarivanja korijena zavara u nekim slučajevima primijećeno je da debljinu korijena nije moguće korigirati tehnikom rada zavarivača. Ne može se postići veća debljina korijena zavara kako bi se izbjeglo stvaranje pukotine u završnom krateru zbog pregrijavanja završnog kratera, napetosti u talini i male debljine korijena. Uzrok ovoj pojavi je prevelika količina zaštitnog plina koji potiskuje rastaljeni metal na vanjsku stranu priključka, posebno u toku zavarivanja zadnje četvrtine.
- Neispravna oprema za zavarivanje također može biti uzrokom pojave pukotine u korijenu zavara. Tako npr. neispravan TIG gorionik koji ne osigurava dobru zaštitu rastaljenog metala, odnosno uzrokuje miješanje argona sa zrakom. Onečišćen zaštitni plin argon sa zrakom uzrokuje propaljivanje korijena zavara ili osnovnog materijala u 3. prolazu iako se zavarivanje ne izvodi sa visokim unosom topline i velikom strujom zavarivanja. Ovakva odstupanja mogu se prepoznati izgledom lica zavara koje treba biti glatko i sjajno. U slučaju nekvalitetne zaštite zavar je taman i nekontrolirano se oblikuje (slika 9).



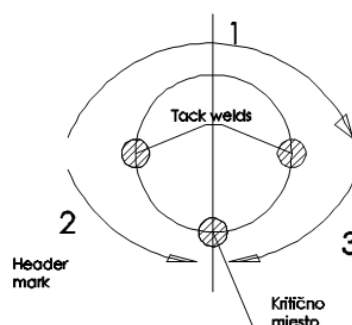
Slika 9. Oksidirana površina lica zavara zbog neispravnog TIG gorionika koji uzrokuje miješanje argona sa zrakom

6. PREPORUKE ZA ZAVARIVANJE SPOJEVA PRIKLJUČAKA KOMORE

Prva tri prolaza su najkritičnija i uzrokuju najveći broj grešaka tipa toplih pukotina. Da bi broj pukotina bio što manji potrebno je obratiti pažnju na sljedeće:

- Priprema spoja treba biti sa što užim tolerancijama, posebno visina nosa na priključku koja treba biti minimalno 1 mm. Preporuka je da kut na priključku iznosi manje od 60° , a razmak u grlu žlijeba 3 - 3,5 mm.
- Predgrijavanje se treba izvoditi električnim načinom, a temperatura predgrijavanja treba biti ujednačena na cijeloj komori u području od $200^\circ - 250^\circ\text{C}$. Temperatura priključaka treba iznositi od $200^\circ - 230^\circ\text{C}$.
- Pripajanje priključaka na komoru treba izvesti s tri pripoja, kao što je prikazano na slici 3.
- Zaštita korijenog prolaza treba se izvoditi raspršivačem plina. Protok plina treba biti 2 do 3 l/min. tijekom zavarivanja. Spoj treba dobro zabrtviti.
- Zavarivanje korijena treba izvesti prema kvalificiranom WPS-u i parametrima specificiranim na posebnoj uputi. Prilikom zavarivanja u PC položaju, zavarivanje korijena treba izvesti kao što je prikazano na slici 10. U ovom slučaju korijen zavara ima samo jedno kritično mjesto na mjestu zatvaranja korijena zavara u 6 sati.

Redoslijed zavarivanja korijena zavara



Slika 10. Redoslijed zavarivanja korijena zavara

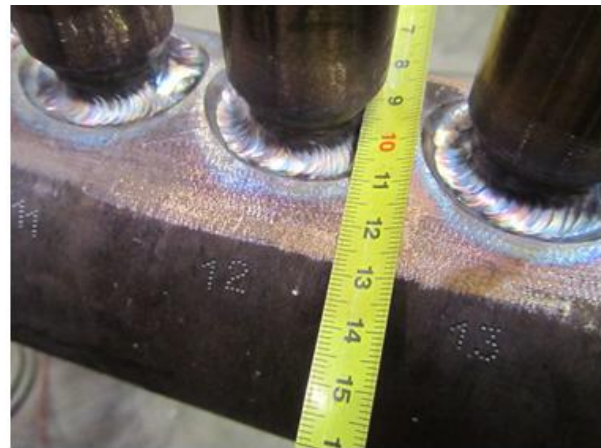
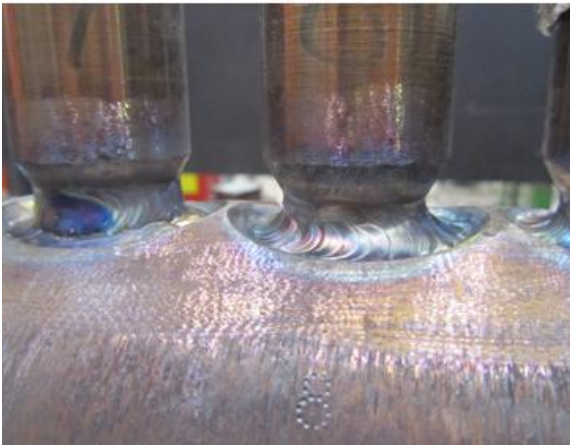
- Zaštita korijenog prolaza potrebno je izvoditi raspršivačem plina. Protok plina treba biti 2 - 3 l/min. tijekom zavarivanja, a spoj treba biti dobro zabrtvljen.
- Zavarivanje korijena treba izvesti prema kvalificiranom WPS-u i parametrima specificiranim na posebnoj uputi. Kod zavarivanja u PC položaju, zavarivanje korijena treba izvesti kao što je prikazano na slici 10. U ovom slučaju korijen zavara ima samo jedno kritično mjesto na mjestu zatvaranja korijena zavara u 6 sati.
- Parametre zavarivanja potrebno je držati u što užem području. U ovom slučaju struja zavarivanja treba iznositi između 90 - 108 A. Šetanje volframove elektrode tijekom zavarivanja treba biti što manje, a zavar treba izvesti s nadvišenjem korijena od minimalno 1 mm.
- Vizualnu kontrolu potrebno je provesti nakon zavarivanja polovine korijena zavara od strane zavarivača.
- Prije zavarivanja druge polovine korijena potrebno je z brusiti i stanjiti treći pripoj.
- Zavarivanje druge polovine korijena zavara sastoji se od zavarivanja treće i četvrte četvrtine. Mjesto spoja je na 6 sati. Nakon zavarivanja treće četvrtine korijena zavara potrebno je obavezno z brusiti završni krater (mjesto spoja na 6 sati). Prilikom z brusavanja ne smije se oštetiti priključak, z brušenje je potrebno više usmjeriti na komoru i korijen zavara. Duljina z brusenog dijela trebala bi se kretati od 6 - 9 mm (slika 11).



Slika 11. Priprema mjesta spoja u korijenu zavara

- Provjeriti temperaturu predgrijavanja na priključku u blizini 6 sati. Temperatura treba biti manja od 230°C.
- Zavarivanje zadnje četvrtine korijena zavara uz popunu brušenjem pripremljenog žlijeba. Gašenje električnog luka izvodi se na komori uz dodavanje žice za zavarivanje dok to veličina taline dopušta. Na ovakav način izbjegnuto je pregrijavanje završnog kratera i pojava toplih pukotina.
- Vizualnu kontrolu zavarenog korijena zavara, posebno na 6 sati (na mjestu zatvaranja korijena).
- U slučaju postojanja indikacije u korijenu, istu je potrebno ukloniti pažljivim brušenjem dok je komora predgrijana.

- Kontrolu međuprolazne temperature prije zavarivanja 2. prolaza, maksimalna temperatura na komori treba iznositi 260°C.
- Zavarivanje 2. Prolaza, tj. popunu zavara izvoditi sa šetanjem na način da se navedeni prolaz obuhvaća dijelom žlijeba na komori i više od pola korijenog zavara. Širina zavara kretati će se od 9 – 11 mm. Struja zavarivanja iznosi maksimalno 150A. Korijeni zaštiti plin treba biti od 2 do 4 l/min. Zavarivanje se može izvoditi kao što je prikazano na slici 3, ili se u jednom zahvatu zavaruje pola prolaza bez prekida. Tijekom zavarivanja električni luk se ne smije dugo zadržavati na korijenu zavara već samo toliko da se rastopi pri čemu se istovremeno dodavanje žice za zavarivanje. Preporuka je da se zavaruje nekoliko ovih prolaza istovremeno (slika 12).



Slika 12. Drugi prolaz, geometrija zavara, širina zavara od 9 do 11 mm

- Također, potrebno je provoditi kontrolu međuprolazne temperature, a temperatura na priključku može iznositi maksimalno 230°C.
- Zavarivanje 3. prolaza, koji obuhvaća trećinu drugog i preostali dio korijena izvodi se šetanjem električnog luka u PC položaju. Širina zavara iznositi će 7 - 9 mm, a redoslijed zavarivanja biti će u skladu sa skicom prikazanoj na slici 3. Maksimalna struja zavarivanja je 130 A. Downslope treba iznositi 6 sekundi. Zaštita korijena se primjenjuje i kod ovog prolaza. Nakon zavarivanja polovine prolaza provjerava se međuprolazna temperatura koja može biti maksimalno 220°C. Zavarivanje izvoditi sa više dodavanja žice, a prekid električnog luka izvesti na drugom prolazu. Zavarivanje 3. prolaza potrebno je izvoditi na više priključaka istovremeno (slika 13).



Slika 13. Treći prolaz, geometrija zavara, širina 8 mm

7. ZAKLJUČAK

U ovom radu su navedene trenutno poznate varijable koje u većoj ili manjoj mjeri utječu na pojavu pukotina u zavarenim spojevima priključak-komora od materijala P91. Prilikom zavarivanja priključaka na komore od materijala P91 posebnu pažnju potrebno je obratiti na prva tri prolaza. Navedeni prolazi su najkritičnija mjesta i uzrokuju najveći broj grešaka tipa toplih pukotina u korijenom prolazu.

Na pojavu toplih pukotina utječe više faktora koji su spomenuti u poglavlju 5 (unos topline, oblik pripreme spoja, zaštitni korijeni plin, napetosti, tehnika rada zavarivača, osnovni materijal itd). Bitno je naglasiti da je u radu utvrđeno mjesto i vrijeme nastajanja pukotina.

Greške su vrlo male i nije ih moguće pouzdano otkriti direktnom vizualnom kontrolom, već samo indirektnom metodom kao endoskopsko vizualno ispitivanje. Primjena ove metode je moguća samo nakon zavarivanja i hlađenja zavara na sobnu temperaturu. Kada se otkriju greške one se često ne mogu ukloniti odmah već samo nakon PWHT.

Pojava toplih pukotina uzrokovati će zastoje u proizvodnom ciklusu zbog kašnjenja izrade komora, povećanje troškova izrade zbog reparatura i ponovne toplinske obrade i ispitivanja, te moguće kašnjenje isporuke komponente i penalizaciju. Kako bi se izbjegao ili smanjio broj ovakvih pojava potrebno se pridržavati preporuka navedenih u poglavlju 6.

8. LITERATURA

- [1] Marsenić, T., Zovko M., „ADS 06.000.104“, ĐĐ TEP, 2012, Slavonski Brod
- [2] Technical Requirements For Manufacturing of Grate Panels and Headers, BWE, 2013, Denmark