



# UTJECAJ ZAŠTITNE MJEŠAVINE AR-HE NA MEHANIČKA SVOJSTVA ZAVARENOG SPOJA ČELIKA P91

**K. Jurgec<sup>1</sup>, I. Garašić<sup>1</sup>, M. Jurica<sup>1</sup>, J. Eržišnik<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Sveučilište u Zagrebu; Fakultet strojarstva i brodogradnje, Ul. Ivana Lučića 5, 10000, Zagreb, Hrvatska

## Sažetak

Kod izrade i reparature dijelova visokoenergetskih postrojenja poput termoelektrana, kotlovnica i drugih energetske postrojenja, u većini slučajeva koriste se čelici kao najekonomičnije rješenje. Materijali koji se koriste u ovim postrojenjima moraju biti otporni na puzanje zbog povišene radne temperature. Za odabir materijala također su presudni tlak radnog fluida, predviđeni radni vijek elemenata te kemijski i mehanički utjecaji radne okoline. Visokolegirani martenzitni čelici P91 zbog svojih svojstava i pristupačne cijene sve se više koriste u izgradnji i reparaturi termoeenergetskih postrojenja. Međutim, uporaba ovog materijala dovodi do specifičnih problema. U radu su opisani problemi koji se javljaju kod zavarivanja ovog materijala. U eksperimentalnom radu izrađena su dva uzorka, spojevi cijevi izrađenih od čelika P91. Ocijenjena je primjenjivost mješavine Ar-He kao zaštitnog plina za zavarivanje uzoraka ručnim TIG postupkom. Također je ispitan utjecaj toplinske obrade nakon zavarivanja na svojstva zavarenog spoja.

**Ključne riječi:** čelik P91, energetska postrojenja, TIG zavarivanje

## Abstract

When manufacturing and repairing parts of high-energy plants such as thermal power plants, boiler houses, and other energy plants, in most cases steel is used as the most economical solution. The materials used in these plants must be creep resistant due to the elevated operating temperature. The pressure of the working fluid, the expected service life of the elements, and the chemical and mechanical influences of the working environment are also crucial for the selection of materials. Highly alloyed martensitic steels P91, due to their properties and affordable price, are increasingly used in the construction and repair of thermal power plants. However, the use of this material leads to specific problems. The paper describes problems that occur when welding this material. In the experimental part, two samples were made - pipe joints of P91 steel pipes. The applicability of the



Ar-He mixture as a shielding gas for welding samples using the manual TIG process was evaluated. The influence of the post-weld heat treatment on the properties of the welded joint was also examined.

**Key words:** P91 steel, power plants, TIG welding

## 1. Uvod

Kod odabira materijala za dijelove, sklopove ili konstrukcije, važno je razmotriti njihovo funkcioniranje tijekom cijelog životnog vijeka. Visoke radne temperature su uobičajene u kemijskoj i procesnoj industriji, turbostrojevima, toplinskim strojevima i drugim uređajima. Budući da ovi uređaji često zahtijevaju kontinuirani rad tijekom dugog razdoblja, materijali koji se koriste za izgradnju njihovih dijelova moraju biti otporni na visoke temperature tijekom nekoliko godina, čak i više od 20 godina [1]. S ciljem udovoljavanja suvremenim potrebama za energijom, odnosno sa zahtjevima za povećanje iskoristivosti termoenergetskih postrojenja, raste radni tlak i radna temperatura elemenata u postrojenjima za dobivanje električne energije. U ovim postrojenjima je uobičajeno imati cijevi u kojima je radni medij para temperature između 570 °C i 600 °C, na tlakovima u rasponu od 170 do 230 bara. Ovi radni uvjeti su prilično teški za većinu uobičajenih čelika. Zahtijeva se povećana čvrstoća i visoka otpornost na puzanje. Kroz istraživanja su razvijeni čelici koji su postojani na povišenim tlakovima i temperaturama, a jedan od njih je čelik P91 [2].

## 2. Zavarivanje čelika P91

Čelik P91 najosjetljiviji je na pojavu pukotina u sitnozrnatoj strukturi interkritične zone zbog niske čvrstoće na puzanje u ovoj zoni. Tijekom zavarivanja, sitna zrna u blizini karbida apsorbiraju veće količine ugljika na visokoj temperaturi, dok sitna zrna koja su nastala daleko od karbida ne apsorbiraju ugljik. Pojava puzanja i nastanka pukotina može se javiti zbog velike zastupljenosti krupnih karbida koji narušavaju čvrstoću materijala u pojedinim zonama. Na granici kritično nastalog karbida javljaju se šupljine puzanja u relativno ranoj fazi rada. Veliki karbidi ostaju neotopljeni i razlog su pojave pukotina. Nehomogena mikrostruktura u zoni utjecaja topline podobna je za nastanak pukotina, a to se može reducirati reaustenitizacijom i toplinskom obradom popuštanjem [3]. Za kvalitetnu izvedbu zavarenog spoja čelika P91, neophodno je provesti kritične toplinske obrade. Postupci uključuju predgrijavanje, održavanje međuprolazne temperature i naknadnu toplinsku obradu. Ovim postupcima osigurava se odgovarajuću žilavost, dobra otpornost na puzanje te se smanjuje vjerojatnost pojave pukotina.

Prema literaturi [4], preporučuje se predgrijavanje metala prije zavarivanja na temperaturu od oko 200 °C kako bi se izbjegle hladne vodikove pukotine. Predgrijavanje usporava brzinu hlađenja, ali to ne sprečava potpunu transformaciju ZT i ZUT u martenzit čak i kada je hlađenje usporeno. Predgrijavanje se stoga ne koristi za sprečavanje martenzitne strukture nakon zavarivanja, već za smanjenje negativnih učinaka temperaturnih naprezanja tijekom stezanja. Predgrijavanje smanjuje temperaturnu razliku između zavarenog spoja i osnovnog materijala te u određenoj mjeri granicu razvlačenja, što dovodi do manjih zaostalih naprezanja. Pri povećanoj temperaturi se povisuje



istezljivost i žilavost, što je povoljno. Osim toga, viša temperatura predgrijavanja omogućava izlazak difuzijskog vodika iz zavarenog spoja.

Kod zavarivanja čelika P91 potrebno je održavanje međuprolazne temperature. Preporučena temperatura međuprolaza je oko 300 °C i manje, a maksimalno do 350 °C. Visok udio niobija i silicija u metalu zavara može dovesti do stvaranja toplih pukotina, zbog čega je važno strogo kontrolirati temperaturu. Nakon zavarivanja, zavareni spoj treba postupno hladiti ispod 80-100 °C za tanke materijale ili na sobnu temperaturu za deblje materijale kako bi se osigurala potpuna martenzitna pretvorba i izbjeglo stvaranje neželjenih toplih pukotina [4].

Nakon zavarivanja martenzitnih čelika P91 preporučljivo je izvršiti toplinsku obradu kako bi se postigla struktura popuštenog martenzita i kako bi se smanjila preostala naprezanja uzrokovana zavarivanjem. U zoni taljenja i dijelu zone utjecaja topline, pojavljuje se krhka martenzitna mikrostruktura čija mehanička svojstva nisu zadovoljavajuća, te je potrebna toplinska obrada. Toplinskom obradom nakon zavarivanja osigurava se potrebna žilavost zavarenog spoja i produljuje se radni vijek komponente. Čak i kod manjih cijevi, preporučuje se toplinska obrada kako bi se postigla adekvatna mikrostruktura, žilavost i osigurao predviđeni radni vijek.

Za deblje materijale od čelika P91, preporučuje se zagrijavanje na temperaturu od 750 - 760 °C te držanje u vremenu od najmanje 2 sata, ovisno o debljini, obliku spoja i korištenom postupku zavarivanja. Temperatura toplinske obrade ne smije prijeći liniju Ac1 jer bi u tom slučaju moglo doći do nepovoljnih promjena koje bi negativno utjecale na otpornost materijala na puzanje. Optimalna tvrdoća zavarenog spoja nakon toplinske obrade trebala bi biti u rasponu od 200 - 275 HB. Prihvatljive vrijednosti tvrdoće su do 300 HB. Svaka vrijednost iznad ove ukazuje na to da toplinska obrada nije provedena adekvatno. Pravilno provedena toplinska obrada sa strogo definiranim parametrima smanjuje rizik od pojave pukotina uslijed napetostne korozije [3], [5], [6].

### 3. Eksperimentalni rad

Eksperimentalni rad proveden je u Laboratoriju za zavarivanje na Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu. Cilj rada bio je odrediti utjecaj mješavine Ar-He na zavareni spoj dvaju uzoraka. Zavarivanje uzoraka izvedeno je ručnim TIG postupkom. Uzorci su zavareni spojevi cijevi od čelika P91. Korišteni izvor struje za TIG zavarivanje je uređaj Fronius MagicWawe 2200 Job G/F.

#### 3.1. Osnovni i dodatni materijal

Osnovni materijal korišten u eksperimentu su cijevi izrađene od čelika P91. Ispitni uzorci izrađeni su zavarivanjem dva para cijevi TIG postupkom zavarivanja. Dimenzije cijevi su Ø51x6,3 mm, duljine 150 mm. U tablici 1 prikazan je njegov kemijski sastav, a u tablici 2 mehanička svojstva osnovnog materijala.

**Tablica 1.** Kemijski sastav osnovnog materijala [7]

| Oznaka čelika | Sadržaj kemijskih elemenata, % |           |           |           |      |           |           |           |           |      |
|---------------|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|
|               | C                              | Mn        | Si        | Cr        | Ni   | Mo        | V         | Nb        | N         | Al   |
| P91           | 0.08-0.12                      | 0.30-0.60 | 0.20-0.50 | 8.00-9.50 | 0.40 | 0.85-1.05 | 0.18-0.25 | 0.08-0.10 | 0.03-0.07 | 0.04 |

**Tablica 2.** Mehanička svojstva osnovnog materijala [7]

| Oznaka čelika | Mehanička svojstva        |                                     |                |               |
|---------------|---------------------------|-------------------------------------|----------------|---------------|
|               | $R_m$ , N/mm <sup>2</sup> | $Rp_{0,2}$ , N/mm <sup>2</sup> min. | $A_5$ , % min. | $KV$ , J min. |
| P91           | 620                       | 450                                 | 19             | 190           |

Kao dodatni materijal za vrijeme zavarivanja korištena je žica trgovačkog naziva BÖHLER C 9 MV-IG proizvođača dodatnog materijala Böhler. To je žica za zavarivanje 9 – 12 Cr martenzitnih čelika. Korištena je žica promjera 2,4 mm. Mehanička svojstva dodatnog materijala prikazana su u tablici 3, a njegov kemijski sastav je prikazan u tablici 4.

**Tablica 3.** Mehanička svojstva dodatnog materijala [8]

| Mehanička svojstva dodatnog materijala BÖHLER C 9 MV-IG |  |                 |                             |
|---|--|-----------------|-----------------------------|
| Vlačna čvrstoća, N/mm <sup>2</sup>                      | Granica razvlačenja, N/mm <sup>2</sup> | Istezljivost, % | Udarni rad loma (+20 °C), J |
| 760   | 640                                    | 19              | 150                         |

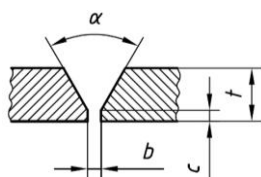
**Tablica 4.** Kemijski sastav dodatnog materijala [8]

|   | C    | Si  | Mn  | Cr  | Ni  | Mo  | V   | Nb   |
|---|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| % | 0.11 | 0.3 | 0.5 | 9.0 | 0.5 | 0.9 | 0.2 | 0.06 |

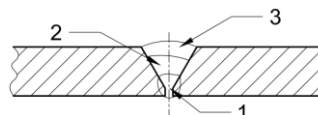
Zaštitni plin se koristi kod zavarivanja kako bi zaštitio talinu zavara od vanjskih utjecaja i stvorio pogodnu atmosferu za ionizaciju što utječe na stabilnost električnog luka, geometriju i izgled zavarenog spoja, kao i na količinu metalnih para koje se oslobađaju tijekom postupka zavarivanja. Za zavarivanje u ovom slučaju korištena je plinska mješavina argona i helija u omjeru 50:50 (ISO 14175-I3-ArHe-50), dok je kod zaštite korištena korišten 100 % argon (ISO 14175-I1-Ar).

### 3.2. Postupak zavarivanja cijevi čelika P91

Površina cijevi je očišćena prije zavarivanja. Priprema spoja za zavarivanje se sastoji od rezanja, brušenja, odmaščivanja i otklanjanja nečistoća. Priprema koja se koristi je sučeljeni jednostrani spoj prema normi HRN EN ISO 9692 – 1. Na slici 1 prikazana je priprema spoja za zavarivanje, a slika 2 prikazuje shemu spoja s prolazima.



Slika 1. Priprema spoja



Slika 2. Izgled spoja s prolazima

Dimenzije pripreme spoja iznose:  $t = 6,3$  mm,  $b = 3$  mm,  $c = 1$  mm,  $\alpha = 60^\circ$ .

Prije zavarivanja, cijevi su se predgrijavale na  $200$  °C. Nakon predgrijavanja, cijevi su pripojene približno na svakih  $120^\circ$  po obodu. Kako bi se odstranili atmosferski plinovi s unutarnje strane cijevi i osigurao dovod zaštitnih plinova, provodila se je zaštita korijenskog prolaza s unutarnje strane. Za zavarivanje je korištena lijeva tehnika rada. Kod svih prolaza korištena je žica promjera  $2,4$  mm. Zavarivanje je provedeno istosmjernom strujom (DC), s elektrodom na (-) polu. Nakon svakog prolaza potrebno je zavar dobro očistiti od površinskih oksida, a to je provedeno korištenjem čiste četke. U tablici 5 prikazani su parametri za vrijeme zavarivanja svakog pojedinog prolaza kod zavarivanja uzoraka. Položaj zavarivanja je PA.

Tablica 5. Parametri zavarivanja uzoraka

|          | Redni broj prolaza | Struja zavarivanja, A | Napon zavarivanja, V | Brzina zavarivanja, cm/min | Unos topline, kJ/cm | Protok plina, l/min |          |
|----------|--------------------|-----------------------|----------------------|----------------------------|---------------------|---------------------|----------|
|          |                    |                       |                      |                            |                     | Zaštita             | Zaštitni |
| Uzorak 1 | Korijen            | 80                    | 11,5                 | 4,2                        | 7,9                 | 3                   | 5        |
|          | 1                  | 90                    | 11,6                 | 4,4                        | 8,5                 | 3                   | 5        |
|          | 2                  | 100                   | 11,9                 | 4,1                        | 10,4                | 3                   | 5        |
| Uzorak 2 | Korijen            | 80                    | 11,8                 | 4,1                        | 8,3                 | 3                   | 5        |
|          | 1                  | 90                    | 11,7                 | 4,2                        | 9,0                 | 3                   | 5        |
|          | 2                  | 100                   | 12,0                 | 4,1                        | 10,5                | 3                   | 5        |

Unos topline izračunat je sukladno normi HRN EN 1011–1:1999.

Odstupanje parametara od vrijednosti namještenih na upravljačkom sučelju izvora struje je za vrijeme zavarivanja bilo minimalno. Električni luk je kod zavarivanja bio stabilan i raspodjela taline je bila

jednolika. Propisana međuprolazna temperatura bila je između 200 °C i 300 °C. Na slikama 3 i 4 vide se uzorci 1 i 2 nakon zavarivanja.



Slika 3. Uzorak 1 nakon zavarivanja

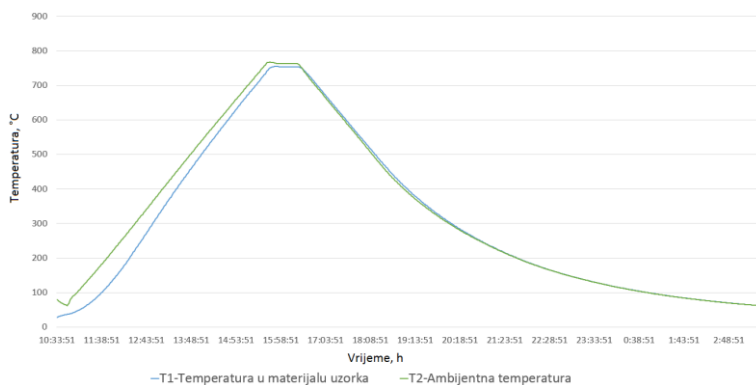


Slika 4. Uzorak 2 nakon zavarivanja

Izgled zavara je sličan za oba uzorka. Estetski izgled uzoraka je prihvatljiv što upućuje na pravilno odabrane parametre zavarivanja i zadovoljavajuću kvalitetu izvedenog zavarenog spoja.

### 3.3. Toplinska obrada uzorka

Nakon zavarivanja uzoraka, potrebno je na jednome od njih provesti toplinsku obradu (uzorak 2) kako bi se ispitaio utjecaj predložene toplinske obrade poslije zavarivanja na svojstva zavarenog spoja. Drugi uzorak nije toplinski obrađivan kako bi se ispitaio utjecaj zavarivanja na svojstva materijala. Toplinska obrada provedena je u Laboratoriju za toplinsku obradu prema uputama za čelik P91. Pomoću termoparova je praćena temperatura u materijalu uzorka i temperatura unutar peći. Korišteni termoparovi su tipa K (NiCrNi). Uzorak je zagrijavan s brzinom grijanja od 150 °C/h na temperaturu držanja od 760 °C. Vrijeme držanja je bilo 45 min, a brzina hlađenja 150 °C/h. Temperatura je praćena pomoću četverokanalnog digitalnog termometra TC 390 koji ima mogućnost istovremenog priključka do 4 termopara. Slika 5 prikazuje dijagram ovisnosti temperature o vremenu tijekom toplinske obrade. Termoparovima se mjere temperatura T1 koja predstavlja temperaturu unutar materijala uzorka, a T2 je ambijentna temperatura unutar peći.

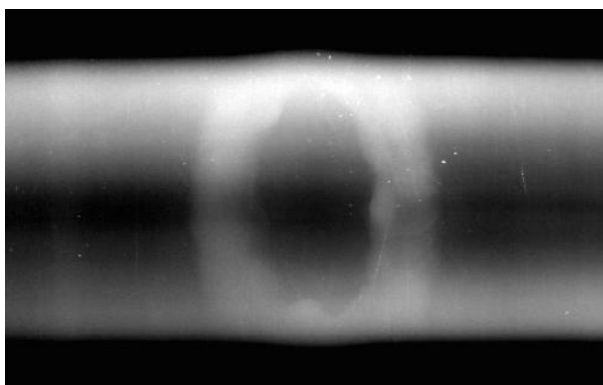


Slika 5. Dijagram promjene temperature u materijalu uzorka i ambijentne temperature

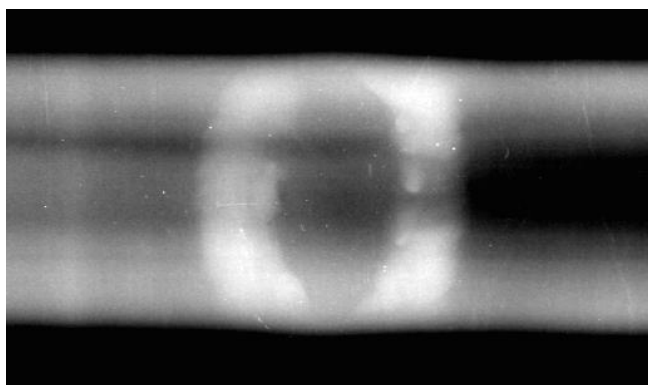
Ambijentna temperatura na početku raste brže od temperature u materijalu uzorka zbog mehanizma prijenosa topline do unutrašnjosti materijala. Razlika između mjerenih temperatura se smanjuje s vremenom te se one gotovo izjednačavaju na temperaturi držanja od 760 °C. Nakon isteka vremena držanja se uzorak sporo hladi do sobne temperature.

### 3.4. Radiografska kontrola zavarenih spojeva

Ispitivanje je provedeno je s ciljem detekcije geometrijskih nepravilnosti, poroznosti, pora, uključaka i pukotina u metalu zavora, a provedeno je u Laboratoriju za nerazorna ispitivanja. Upotrijebljen je rendgenski uređaj BALTEAU GM 300D. Snimanje je izvedeno izvorima zračenja (RTG) na slikovne ploče. Skeniranjem se slika sa slikovnih ploča pretvara u digitalni zapis koji se kasnije može analizirati na računalu. Na slici 6 prikazan je radiogram uzorka 1, a na slici 7 radiogram uzorka 2 (toplinski obrađen).



Slika 6. Radiogram uzorka 1

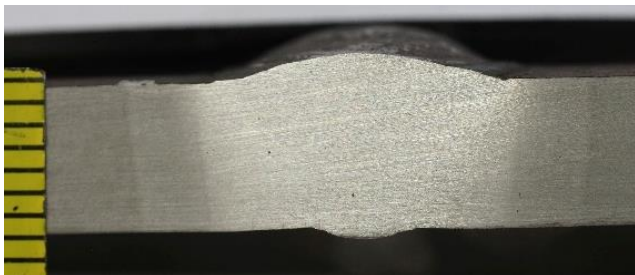


Slika 7. Radiogram uzorka 2

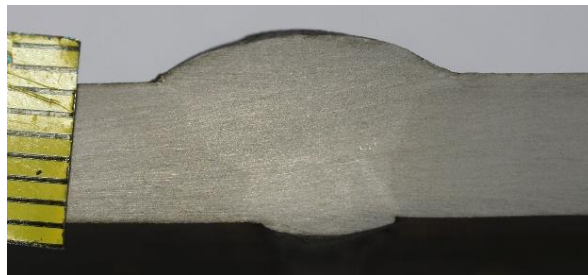
Slike su detaljnije obrađene u programskom paketu.

### 3.5. Analiza makrostrukture i mjerenje tvrdoće

Iz svakog uzorka izrezan je po jedan makroizbrusak. Pomoću makroizbruska može se djelomično utvrditi uspješnost provođenja zavarivanja. Također je provedeno ispitivanje tvrdoće Vickersovom metodom (HV10). Na slikama 8 i 9 prikazani su makroizbrusci uzorka 1 (nije toplinski obrađen) i uzorka 2 (toplinski obrađen).



Slika 8. Makroizbrusak uzorka 1

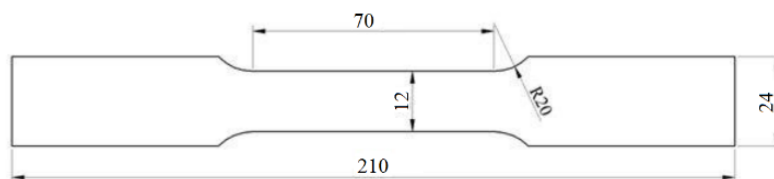


Slika 9. Makroizbrusak uzorka 2

Vizualnom kontrolom makroizbrusaka nisu uočene greške naljepljivanja što upućuje na adekvatan odabir parametara zavarivanja i tehnike rada. Mjerenje tvrdoće je provedeno na oba uzorka, a na svakom uzorku je napravljeno 30 mjerenja (2 pravca po 15 mjerenja). Prosječna tvrdoća osnovnog materijala je jednaka kod oba uzorka (285 HV10). Prosječna tvrdoća u ZUT-u uzorka 1 iznosi 444 HV10, a u ZUT-u uzorka 2 (s T.O.) iznosi 290 HV10. U metalu zavara uzorka 1 izmjerena je prosječna tvrdoća od 476 HV10, dok prosječna tvrdoća u metalu zavara uzorka 2 iznosi 322 HV10. Rezultati mjerenja poklapaju se s teorijskim pretpostavkama. Zavarivanjem čelika P91 utječe se na njegova svojstva, a to se između ostaloga očituje kroz povećanje tvrdoće. Provođenjem toplinske obrade poslije zavarivanja u određenom dijelu se je smanjila tvrdoća u metalu zavara i ZUT-u.

### 3.6. Statičko vlačno ispitivanje

Statičkim vlačnim pokusom se ispituje elastično i plastično ponašanje materijala u uvjetima statičkog vlačnog napreznja. Mjerenje je provedeno na kidalici WPM EU 40 mod. Epruvete za statički vlačni pokus izrađene su prema normi ISO 4136:2012. Ispitane su dvije epruvete (jedna iz svakog uzorka). Na slici 10 prikazane su dimenzije ispitivanih epruveta.



Slika 10. Dimenzije ispitivanih epruveta

Statički vlačni pokus odvijao se je sve do loma epruveta. Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja navedeni su u tablici 6.



**Tablica 6.** Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja

| Epruvete | $R_m$ , N/mm <sup>2</sup> | $F_m$ , kN | $F_k$ , kN | Mjesto loma       |
|----------|---------------------------|------------|------------|-------------------|
| Uzorak 1 | 617,71                    | 51,13      | 35,56      | Osnovni materijal |
| Uzorak 2 | 628,15                    | 50,49      | 34,00      | Osnovni materijal |

Sila kidanja kod toplinski obrađenog uzorka je manja za 1,56 kN. Maksimalna postignuta sila kod toplinski obrađenog uzorka je manja za 0,64 kN u odnosu uzorak koji nije bio toplinski obrađen.

#### 4. Zaključak

Martenzitni čelici P91 su materijal koji se sve češće koristi u izgradnji i reparaturi termoenergetskih postrojenja zbog svoje sposobnosti da izdrži zahtjevne radne uvjete. Njihova glavna prednost je otpornost na puzanje. Cjenovno su pristupačniji od drugih materijala koji bi se mogli koristiti kod izgradnje i popravaka termoenergetskih postrojenja. Kako bi se osigurala zadovoljavajuća svojstva konstrukcije, pri zavarivanju ovog čelika potrebno je provesti predgrijavanje te održavati odgovarajuću međuprolaznu temperaturu. Nakon zavarivanja, nužna je toplinska obrada. U eksperimentu se je ocjenjivala primjenjivost mješavine Ar-He pri zavarivanju čelika P91. Zavarena dva uzorka, od kojih je jedan nakon zavarivanja podvrgnut toplinskoj obradi, a drugi nije, kako bi se ispitao utjecaj toplinske obrade na svojstva zavarenog spoja. Nakon provedenih ispitivanja na ispitnim uzorcima, zaključeno je:

- Električni luk je za vrijeme zavarivanja bio stabilan, a raspodjela taline je bila jednolika.
- Parametri zavarivanja nisu puno varirali što upućuje na njihov pravilan odabir.
- Radiografskim ispitivanjem nisu uočene veće greške u metalu zavara.
- Kod analize makrostrukture nisu uočene nepravilnosti i greške unutar profila zavara.
- Mjerenjem tvrdoće uzorka koji nije bio toplinski obrađen utvrđuje se znatna promjena tvrdoće po presjeku. Tvrdoća uzorka koji je toplinski obrađen varira znatno manje po zonama zavarenog spoja.
- Oba zavarena spoja zadovoljavaju statičko vlačno ispitivanje.

Provedena ispitivanja su pokazala da se zaštitna mješavina Ar-He može uspješno primijeniti pri zavarivanju čelika P91. Korištenjem mješavine Ar-He umjesto 100 % Ar može se postići veća brzina zavarivanja, veća penetracija, uspostava i stabilnost luka je bolja.

#### 5. Literatura

- [1] T. Filetin, F. Kovačiček, J. Indol, Svojstva i primjena materijala, Zagreb, 2011.
- [2] F. J. G. Silva, A. P. Pinho, A. B. Pereira, O. C. Paiva, Evaluation of Welded Joints in P91 Steel under Different Heat-Treatment Conditions, Metals, MDPI, 2020.



Društvo za tehniku  
zavarivanja Slavonski Brod

## 12. Međunarodno znanstveno-stručno savjetovanje SBZ 2023

### „STROJARSKE TEHNOLOGIJE U IZRADI ZAVARENIH KONSTRUKCIJA I PROIZVODA, SBZ 2023.“

Slavonski Brod, 26. i 27. 04. 2023. i Požega 28. 04. 2023.

- 
- [3] Lj. Milović, Significance of cracks in the heat-affected zone of steels for elevated temperature application, Structural integrity and life, p. 55-64. 2008.
- [4] T. Vuherer, V. Gliha, Lj. Milović, M. Dunder, I. Samardžić, Instruction of welding and review of steels for power plant equipment and possibility of using HAZ simulation in order improve weld joint quality, Međunarodno znanstveno-stručno savjetovanje SBZ 2011, Slavonski Brod 2011.
- [5] I. Samardžić, Analiza tehnološkičnosti zavarenih konstrukcija, Digitalni udžbenik. <http://www.sfsb.unios.hr/kth/zavar> (dostupno 15. 03. 2023.)
- [6] V. Šiljački, G. Bakić, M. Đukić, Mismatched Welded Joints of X10CrMoVNb91 Steel - Beneficial And Non Beneficial Properties, International Conference Power Plants 2012, Serbian Society of Thermal Engineers, 2012.
- [7] B. Despotović, T. Marsenić, D. Bajić, T. Vuherer, I. Samardžić, Zavarljivost suvremenih 9-12 Cr martenzitnih čelika za komponente u kotlogradnji, Zavarivanje i zavarene konstrukcije, str. 5-4, 2013.
- [8] [www.alruqee.com/Userfiles/Product/TablePdf/29102015000000B\\_Boehler%20C%209%20MV-IG\\_tr.pdf](http://www.alruqee.com/Userfiles/Product/TablePdf/29102015000000B_Boehler%20C%209%20MV-IG_tr.pdf) (dostupno 16. 03. 2023.)
- [9] Norma HRN EN 1011 – 1 : 1999