



Stjepan Kožuh¹, Mirko Gojić^{1,a}, Ivana Ivanić¹, Aleš Nagode², Kristijan Jerković³

ZAVARIVANJE CIJEVI IZ NISKOUGLJENIČNOG ČELIKA TIG POSTUPKOM

WELDING OF PIPES FROM LOW-CARBON STEEL BY TIG PROCEDURE

Stručni rad / Professional paper

Rad primljen / Paper received:

Avgust 2022.

Rad prihvaćen / Paper accepted:

Maj 2023.

Adresa autora / Author's address:

¹ Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, Aleja narodnih heroja 3, 44000 Sisak, Republika Hrvatska

² Univerza v Ljubljani Naravoslovnotehniška fakulteta, Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana, Republika Slovenija

³ Termoelektrana Toplana, TE - TO ZAGREB, HEP - Proizvodnja, Kuševačka 10A, 10000 Zagreb, Republika Hrvatska

email: ^a gojic@simet.unizg.hr

Ključne reči: zavarivanje, niskougljenički čelik, mikrostruktura, tvrdoća

Keywords: welding, low-carbon steel, microstructure, hardness

Rezime

U ovom radu prikazani su rezultati zavarivanja cijevi iz niskougljičnog čelika St 35.8 (Č.1214, DIN17175, W. Nr. 1.0305, EN-P235GH) TIG postupkom. Nakon zavarivanja provedena je analiza mikrostrukture pomoću optičkog mikroskopa. Mikrostrukturna analiza je provedena na osnovnom materijalu, zoni utjecaja topline i zoni taljenja. Utvrđeno je da osnovni materijal ima feritno-perlitnu mikrostrukturu s tvrdoćom 148,3 HV10, dok je u zoni utjecaja topline prisutna također feritno-perlitna mikrostruktura s mjestimično prisutnim Widmanstattenovim feritom i tvrdoćom 176,0 HV10. U zoni taljenja zamijećena je lijevana mikrostruktura koja se sastoji od ferita i bainita s tvrdoćom (228,7 HV10).

Abstract

In this work the results of welding the pipes from low-carbon steel St 35.8 (Č.1214, DIN17175, W.Nr. 1.0305, EN-P235GH) by TIG procedure were shown. After welding, the microstructure analysis by means of optical microscope was performed. Microstructural analysis out on the base material, heat affected zone and melting zone was carried. It was found that the base material has ferrite-pearlite microstructure with hardness 148 HV10, while in the heat affected zone is present ferrite-pearlite microstructure with Widmanstatten ferrite in some places with hardness 176 HV10. A cast microstructure consisting of ferrite and bainite was observed in the melting zone with hardness 228.7 HV10.

Rad je u izvornom obliku objavljen u Zborniku radova sa 32. Savetovanja sa međunarodnim učešćem „Zavarivanje 2022“ održanog na Tari, Srbija od 12. do 15. oktobra 2022. godine



1. Uvod

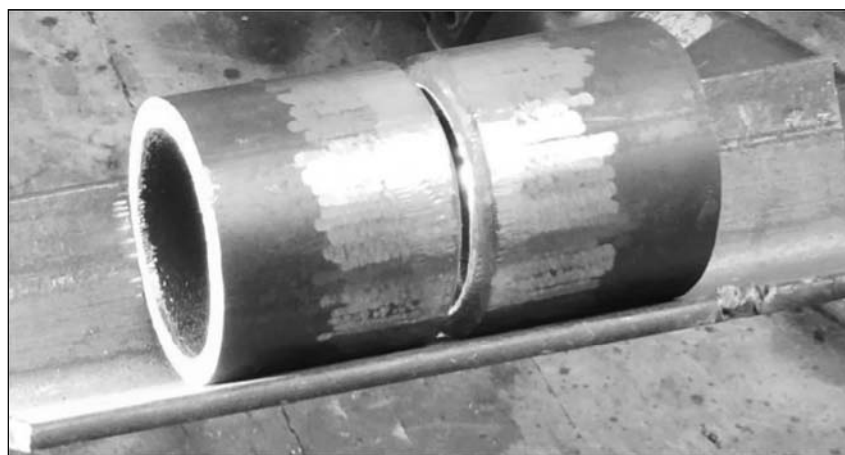
Zavarivanje je najčešća i gotovo univerzalna tehnologija spajanja istorodnih i/ili raznorodnih materijala taljenjem ili pritiskom, sa ili bez dodatnog materijala [1-3]. Cilj zavarivanja je dobijanje homogenog zavarenog spoja koji se može narušiti greškama (pukotine, uključci, poroznost itd.). Najvažniji uvjeti za zavarljivost čelika su: povoljan kemijski sastav (uz što manji sadržaj ugljika), dobra žilavost osnovnog materijala, itd. [4].

Greške u zavarenom spoju su uvijek moguće, s obzirom na veliki broj utjecajnih faktora [2]. Brojni su postupci zavarivanja, od kojih se često koristi i postupak zavarivanja netaljivom elektrodom (TIG-postupak) [4-5]. To je elektrolučni postupak zavarivanja u zaštitnoj atmosferi inertnih plinova (argon, helij) ili smjesi plinova. Ovim se postupkom mogu, osim čelika, zavarivati i obojeni metali bilo ručno, poluautomatski ili automatski. Postupak je pogodan za zavarivanje tankih limova (do debljine 6 mm). Zavarivanje TIG postupkom se često koristi u automobilskoj industriji, konstrukcijama, posebno je povoljan za korijenske zavare cijevi itd. Osnovne prednosti TIG postupka su: uska zona utjecaja topline, minimalno rasprskavanje, nastaje minimalna količina troske i štetnih plinova, mogućnost zavarivanja u svim položajima, pogodnost za reparaturna zavarivanja, estetski izgled zavarenog spoja itd. Osnovni nedostaci TIG

postupka su: mala brzina zavarivanja, mali depozit dodatnog materijala, relativno visoka cijena opreme i zaštitnih plinova, otežanost izvođenja zavarivanja na otvorenim prostorima, itd. Najvažniji element, sa stajališta zavarljivosti kod ugljičnih konstrukcijskih čelika je ugljik, čiji sadržaj je najčešće od 0,1 do 0,6 mas. %. Ugljični čelici sa sadržajem ugljika ispod 0,20 mas. % tj. $C_E \leq 0,45$ i debljinom materijala ispod 25 mm ne zahtijevaju predgrijavanje [1]. U okviru ovog rada prikazani su rezultati zavarivanja cijevi od niskougljičnog čelika, te je provedena mikrostrukturalna karakterizacija i mjerenje tvrdoće, počevši od osnovnog materijala, preko zone utjecaja topline do zone taljenja.

2. Eksperiment

Zavareni spoj je pripremljen u obliku V-spoja uz otklanjanje nečistoća i produkata oksidacije brušenjem. Kao osnovni materijal korištena je valjana cijev (slika 1) vanjskog promjera 45 mm uz debljinu stijenke 4 mm iz niskougljičnog čelika kemijskog sastava: do 0,17 % C; 0,10-0,35 % Si; do 0,40 % Mn; 0,05 % Pmax; 0,05 % S max (mas. %). Zavareni spoj je postignut u tri prolaza. Kao dodatni materijal za zavarivanje cijevi (korijen, popuna i završni sloj) korištena je žica oznake AWS A5.28 ER70S-A1 kemijskog sastava: 0,12 % C, 1,3 % Mn, 0,025 % P, 0,025 % S, 0,3-0,7 % Si (mas. %).



Slika 1. Fotografski snimak pripremljenog osnovnog materijala (cijevi) za zavarivanje

Figure 1. Photography of the prepared base material (pipe) for welding

Uzorci za metalografsku analizu i mjerenje tvrdoće zavarenog spoja izrezani su na uređaju Isomet Buehler. Brušenje i poliranje, tj. metalografska priprema uzoraka provedena je strojno na uređaju Phoenix Beta Buehler. Za brušenje je korišten brusni papir (SiC) gradacije 120, 240, 400 i 600 uz konstantno hlađenje vodom. Brzina brušenja uzorka je bila 150 o/min., pod

tlačnom silom od 30 N. Vrijeme brušenja je iznosilo 5 minuta za svaku gradaciju papira. Poliranje se provodilo na posebnoj podlozi od "filca" uz dodatak vodene otopine glinice ($0,3 \mu\text{m Al}_2\text{O}_3$). Vrijeme poliranja uzorka nakon brušenja je iznosilo oko 10 minuta. Poslije poliranja uzorak je nagrižen otopinom nitala (otopina azotne kiseline u alkoholu) u trajanju od 2 sekunde. Za metalografsku analizu

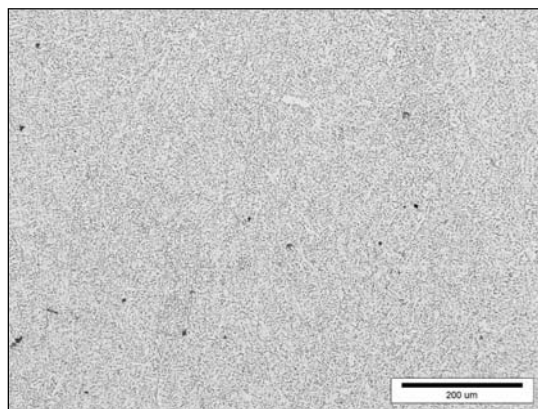


korišten je optički mikroskop Olympus BX 61 s mogućnošću povećanja od 50 puta do 1000 puta, koji je opremljen integriranom kamerom i povezan s računalom. Tvrdća uzoraka ispitivana je Vickersovom metodom (HV10).

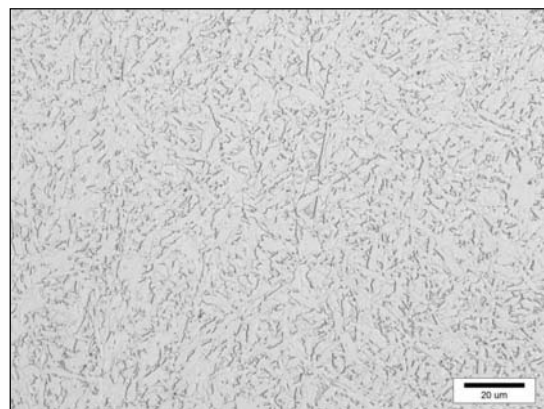
3. Rezultati i diskusija

Na slikama 2-4 prikazane su optičke mikrografije osnovnog materijala, zone taljenja i zone utjecaja topline pri različitim povećanjima (200 -1000 puta) i pri različitim pozicijama [6]. Analizom dobivenih mikrografija može se uočiti feritno-perlitna mikrostruktura osnovnog materijala sa zrnima izduženim u smjeru valjanja (slika 2). Budući da istraživani čelik pripada skupini podeutektoidnih niskougličnih nelegiranih čelika u mikrostrukturi je zamijećen znatno veći udio ferita nego perlita. Tijekom hlađenja čelika najvažnije reakcije se odnose na raspad iz austenitnog područja kod različitih brzina hlađenja. Sporo hlađenje

podeutektoidnog čelika karakterizira da na temperaturi iznad 800 °C čelik ima austenitnu mikrostrukturu. Na temperaturi iznad 723 °C mikrostruktura istog čelika se sastoji od ferita i austenita. Međutim, na temperaturi ispod 723 °C austenit se pretvara u perlit, pa se mikrostruktura sastoji od ferita i perlita. Pritom perlit predstavlja eutektoidnu mješavinu ferita i cementita. Lamelarna struktura perlita sastoji se od bijele feritne osnove ili matrice (koja čini većinu eutektoidne mješavine) i tankih pločica cementita. Zona utjecaja topline (slika 4) pokazuje također feritno-perlitnu mikrostrukturu s mjestimično prisutnim Widmanstattenovim feritom po granicama primarnih austenitnih zrna. U zoni utjecaja topline nije zamijećena značajna promjena (porast) veličine zrna. Nasuprot tome, u zoni taljenja zamijećena je lijevana mikrostruktura koja se sastoji od ferita i bainita (slika 3).

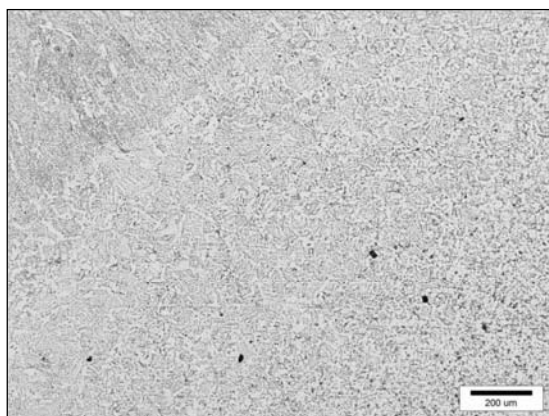


(a)

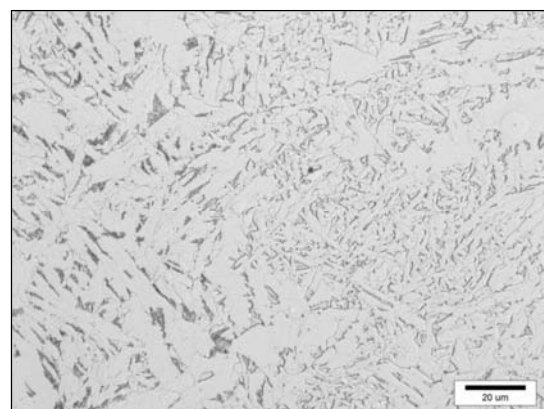


(b)

Slika 3. Optičke mikrografije zone taljenja pri različitim povećanjima a) povećanje 200 puta, b) povećanje 1000 puta
Figure 3. Optical micrographs of the melting zone at different magnifications a) magnification 200 times, b) magnification 1000 times



(a)



(b)

Slika 4. Optičke mikrografije zone utjecaja topline pri različitim povećanjima a) povećanje 200 puta, b) povećanje 1000 puta
Figure 4. Optical micrographs of the heat-affected zone at different magnifications a) magnification 200 times, b) magnification 1000 times



U tabeli 1 prikazane su srednje vrijednosti mjerenja tvrdoće. Tvrdoća je izmjerena na tri dijela zavarenog spoja: na osnovnom materijalu, zoni taljenja i zoni utjecaja topline. Analizom dobivenih rezultata može se uočiti najmanja vrijednost tvrdoće kod osnovnog materijala (148 HV10). Zona taljenja je pokazala najveće vrijednosti tvrdoće (229 HV10), dok je tvrdoća zone utjecaja topline između vrijednosti tvrdoće osnovnog materijala i zone

taljenja te je iznosila 176 HV10. Može se zaključiti da je do porasta tvrdoće u zoni utjecaja topline došlo zbog unosa topline uslijed zavarivanja. Budući je tijekom zavarivanja zona taljenja bila u rastaljenom stanju te je tijekom hlađenja došlo do njenog skrućivanja i nastanka lijevane mikrostrukture (ferit i bainit) bilo je za očekivati da će ona imati i najveću tvrdoću.

Tabela 1. Srednje vrijednosti rezultata mjerenja tvrdoće [6]

Table 1. Mean values of hardness measurement results [6]

Dio zavarenog spoja	Srednja vrijednost tvrdoće, HV10
Osnovni materijal (OM)	148
Zona utjecaja topline (ZUT)	229
Zona taljenja (ZT)	176

4. Zaključak

Na temelju provedene analize mikrostrukture i tvrdoće zavarene cijevi iz niskougličnog čelika St 35.8 (Č.1214, DIN17175, W. Nr. 1.0305, EN-P235GH) može se zaključiti sljedeće:

1. Optičke mikrografije ukazuju na feritno-perlitnu mikrostrukturu osnovnog materijala.
2. Feritno-perlitna mikrostruktura s mjestimično prisutnim Widmanstattenovim feritom po granicama primarnih austenitnih zrna uočena je i u zoni utjecaja topline.
3. Zonu taljenja karakterizira lijevana mikrostrukturu koja se sastoji od ferita i bainita.
4. Zona taljenja je pokazala najveće vrijednosti tvrdoće (229 HV10), dok je tvrdoća zone utjecaja topline između vrijednosti tvrdoće osnovnog materijala (148 HV10) i zone taljenja te je iznosila 176 HV10.

Literatura / References

- [1] Gojić, M. (2003), Tehnike spajanja i razdvajanja materijala, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, Sisak.
- [2] Lancaster, J. F. (1980), Metallurgy of welding, George Allen & Unwin, London.
- [3] Gil, O. (2016), Welding engineering, Research World, New York.

4. Conclusion

Based on the microstructure and hardness analysis of the welded pipe made of low carbon steel St 35.8 (Č.1214, DIN17175, W. Nr. 1.0305, EN-P235GH), the following can be concluded:

1. Optical micrographs indicate the ferrite-pearlite microstructure of the base material.
2. Ferrite-pearlite microstructure, with locally present Widmanstatten ferrite at boundaries of the primary austenite grains was observed also in the heat-affected zone.
3. The melting zone is characterized by a cast microstructure consisting of ferrite and bainite.
4. The melting zone showed the highest hardness values (229 HV10), while the hardness of the heat affected zone between the hardness value of the base material (148 HV10) and melting zone and was 176 HV10.

[4] Horvat, M., Kondić, V., Brezovečki, D. (2014), Teorijske i praktične osnove TIG postupka zavarivanja, Tehnički glasnik, 8, 4, 426-432.

[5] Samardžić, I., Bogovac, D., Jorgić, T., Kovačić, K. (2015), Primjena TIG postupka zavarivanja u spajanju pozicija, Tehnički glasnik, 9, 2, 202-208.

[6] Jerković, K. (2021), Mikrostruktura i tvrdoća zavarenog niskougličnog čelika, završni rad, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, Sisak.