

MIKROSTRUKTURNA ANALIZA ZAVARENOG SPOJA NI-CU LEGURE

THE MICROSTRUCTURAL ANALYSES OF A NI-CU ALLOY WELD

Vera Rede, Danko Ćorić, Jurica Radić

Fakultet strojarstva i brodogradnje, I. Lučića 1, Zagreb

Ključne riječi: *metalografsko ispitivanje, mikrostruktura, zavareni spoj, Monel*

Key words: *metallographic examination, microstructure, welded joint, Monel*

Sažetak:

Metalografsko ispitivanje je jedan od postupaka koji se često koristi u kontroli kvalitete izvedenog zavarivanja. To je destruktivni postupak kojim se otkrivaju makroskopske i mikroskopske značajke zavarenog spoja. Sve što je vezano uz makroskopsko i mikroskopsko ispitivanje zavarenih spojeva metalnih materijala propisano je normom HRN EN 1321.

U radu su prikazani rezultati metalografske analize zavarenog spoja Ni-Cu legure (Monel 400). Zavarivanje je izvedeno TIG postupkom. Na pripremljenim metalografskim uzorcima napravljena je makroskopska i mikroskopska analiza. Provedena je analiza mikrostrukture osnovnog materijala, zone utjecaja topline i metala zavara. U navedenim područjima izmjerena je mikrotvrdoća HV 0,2. Na temelju dobivenih rezultata doneseni su zaključci o kvaliteti zavarenog spoja

Abstract:

Metallographic examination is one of methods which frequently used to verify the stipulated weld quality. It is a destructive test which is available for detection of macroscopic and microscopic features of welds. The European standard EN 1321 specifies the methods of specimen preparation, test procedures and their main objectives for the macroscopic and microscopic examination of welds in metallic materials.

In this paper the results of metallographic examination of weld in Ni-Cu alloy (Monel 400) is presented. The welding is done by TIG welding process. The macroscopic and microscopic analysis of the metallographic sample was performed. The unaffected base metal, the weld metal and the heat-affected zone was analysed. The Vickers microhardness values at these areas have been determined using indentation loads of 1.961 N. Based on the metallographic examination results, conclusions about the quality of welded joint have been done.

1. UVOD

Metalografsko ispitivanje zavara metalnih materijala je nezaobilazno ispitivanje u svakom ozbiljnijem postupku analize utjecajnih čimbenika pri zavarivanju.. To je razorno ispitivanje, izvodi se nakon zavarivanja, a dokazuje kvalitetu zavarenog spoja, [1].

Za metalografsku analizu zavara potreban je kvalitetno pripremljen uzorak, svjetlosni mikroskop te određeno znanje i iskustvo. Metalografska ispitivanja izvode se na dvije vrste za to pripremljenih uzoraka: makroizbrusku i mikroizbrusku, [2].

Hrvatska norma HRN EN 1321 propisuje sve što je vezano uz makroskopsko i mikroskopsko ispitivanje zavarenih spojeva metalnih materijala. Norma propisuje način pripreme uzoraka, postupak ispitivanja te glavni cilj ispitivanja. Za analizu zavarenih spojeva metalografski uzorci izrađuju se iz klasičnim postupcima pripreme: izrezivanjem, ulijevanjem u masu, brušenjem, poliranjem te nagrizanjem površine. U velikoj većini slučajeva analizira se površina okomita na

uzdužni smjer zavora. Pripremljeni uzorci se analiziraju u poliranom (nenagriženom) i nagriženom stanju.

Sredstva za nagrizanje površine uzorka kao i način nagrizanja definirani su normom CR 12361. Analiza uključuje makroskopsko ispitivanje vizualnim pregledom i mikroskopsko ispitivanje svjetlosnim mikroskopom, uz povećanje do tisuća puta. U nekim slučajevima koristi se i elektronski mikroskop gdje se postižu povećanja i do nekoliko stotina tisuća puta. Norma daje precizne smjernice o značajkama koje se promatraju u poliranom i nagriženom stanju, pri makro- i mikro-ispitivanju.

Značajke koje se pri ispitivanju vrednuju i na koje treba obratiti posebnu pozornost jesu sljedeće:

- tople, hladne i uzdužne pukotine;
- šupljine, pore, segregacije, precipitati i različiti uključci;
- priprema zavora, geometrijski oblik, nedovoljni provar, slojevi i prolazi;
- zona utjecaja topline, granice zrna, struktura zrna, usmjerenost strukture i sl.

U radu su prikazani rezultati makroskopskog i mikroskopskog ispitivanja zavarenog spoja Ni-Cu legure - Monel 400, izvedenog TIG postupkom zavarivanja.

Monel 400 je monofazna legura s plošno centriranom kubičnom rešetkom (FCC), [3]. Ima visoku čvrstoću i žilavost u širokom temperaturnom intervalu te odličnu korozivnu postojanost u raznim medijima. Može očvrstnuti samo hladnom deformacijom. Ima široku primjenu, posebno u kemijskoj industriji te za dijelove izložene agresivnim kapljevina, osobiti morskoj vodi. Koristi se kod proizvodnje sumporne kiseline, kod procesa koji uključuju klorovodičnu i fluorovodičnu kiselinu, te kod proizvodnje masnih kiselina. U brodogradnji se koristi za izradu propelera i osovina. U industriji prerade i vađenja nafte i plina od njega se izrađuju ventili, cijevi, spone i slično. Zbog dobrih toplinskih svojstva koristi se za izmjenjivače topline. Dobro je zavariv različitim postupcima, [4].

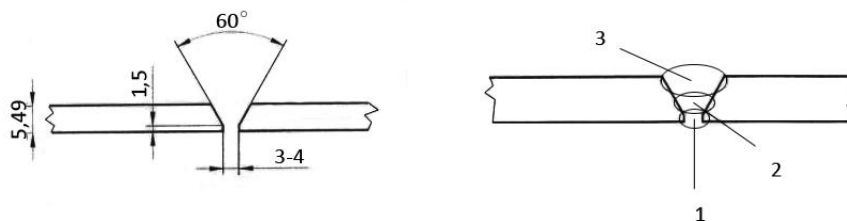
2. EKSPERIMENTALNI DIO

Materijal za ispitivanje

Ispitni uzorci za makroskopsko i mikroskopsko ispitivanje izrezani su iz zavarenog spoja cijevi od Ni-Cu legure poznate pod nazivom Monel 400. Vanjski promjer cijevi iznosi 88,9 mm, a debljina stjenke 5,49 mm. Kemijski sastav legure prikazan je u tablici 1, a mehanička svojstva u tablici 2.

Zavarivanje je provedeno TIG postupkom. Tip spoja je sučeoni V spoj, a pozicija zavarivanja H-L045. Priprema i čišćenje spoja provedeno je strojnim, mehaničkim i kemijskim postupkom. Kao zaštitni plin tijekom zavarivanja koristio se argon s protokom 10-15 l/min. Pri zavarivanju cijevi korišten je dodatni materijal trgovačkog naziva Bohler NIBAS 400-IG, dimenzija $\varnothing 1,6 \times 1000$ mm. U tablici 3 prikazan je kemijski sastav dodatnog materijala zajamčen od strane proizvođača.

Na slici 1 prikazana je priprema spoja i redoslijed prolaza, a na slici 2 prikazan je dio cijevi iz kojeg je izrezan uzorak za makroskopsko i mikroskopsko ispitivanje.



Slika 1- Priprema spoja i redoslijed zavarivanja

Tablica 1 - Kemijski sastav legure Monel 400

| Maseni udio elemenata, [%] | | | | | | | | |
|----------------------------|------|-------|------|-------|-------|------|------|---------|
| C | Fe | S | Si | Cu | Ni | Al | Co | Ostatak |
| 0,13 | 1,65 | 0,002 | 0,19 | 32,66 | 64,23 | 0,04 | 0,03 | 1,068 |

Tablica 2 - Mehanička svojstva legure Monel 400

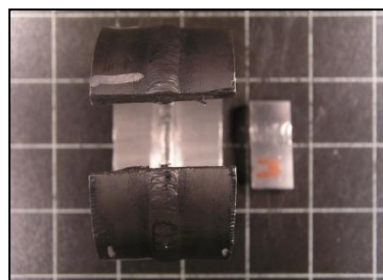
| | |
|---|------|
| Vlačna čvrstoća (R_m), [N/mm ²] | 555 |
| Konvencionalna granica razvlačenja ($R_{p0,2}$), [N/mm ²] | 219 |
| Istezljivost A, [%] | 46,2 |
| Tvrdoća HRB | 70,4 |

Tablica 3 - Kemijski sastav dodatnog materijala

| Maseni udio elemenata, [%] | | | | | | | | | |
|----------------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| C | Si | Mn | P | S | Ni | Cu | Ti | Al | Fe |
| 0,015 | 0,02 | 3,42 | 0,004 | 0,002 | 63,40 | 29,61 | 2,35 | 0,10 | 0,90 |



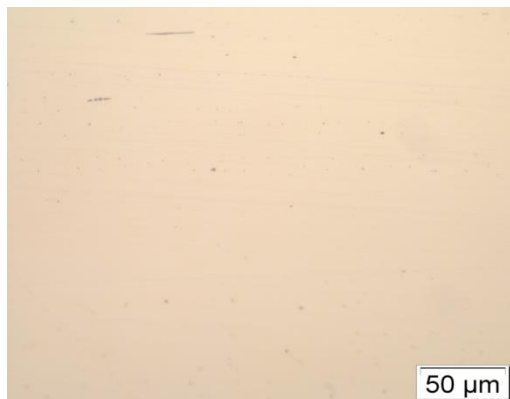
Slika 2. - Zavareni spoj na cijevi Monel 400



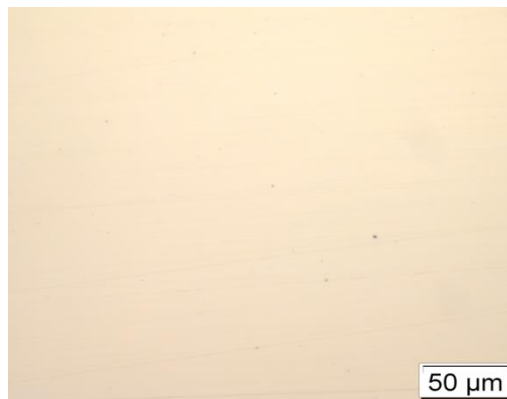
Slika 3. – Izrezani uzorak za metalografsko ispitivanje

Metalografsko ispitivanje zavarenog spoja

Uzorak za metalografsko ispitivanje izrezan je iz cijevi tako da je analizirana površina okomita na smjer zavarivanja, slika 3. Zbog lakšeg daljnjeg rukovanja i bolje metalografske pripreme uzorci su zaliveni u polimernu masu, brušeni i polirani. Završno poliranje obavljeno je dijamantnim česticama veličine 1 μm . Nakon poliranja uzorci su isprani u vodi i alkoholu te potom osušeni u struji toplog zraka. Na slikama 4 i 5 prikazana je polirana površina u području osnovnog materijala i području metala zavara. U osnovnom materijalu vide se mjestimice sitni usmjereni uključci. U metalu zavara nema vidljivih nepravilnosti.



Slika 4. - Osnovni materijal, polirano stanje



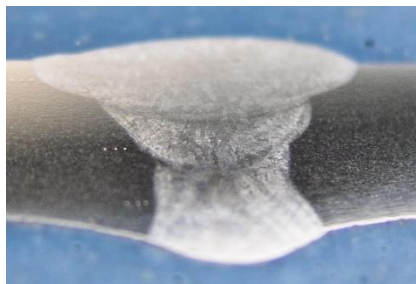
Slika 5. – Metal zavara, polirano stanje

Mikrostruktura ispitnih uzoraka izazvana je nagrivanjem u otopini etilnog alkohola, klorovodične kiseline i vodikovog peroksida sljedećeg sastava:

- 65 ml etilnog alkohola (C_2H_5OH),
- 35 ml klorovodične kiseline (HCl),
- 4 ml vodikovog peroksida (H_2O_2).

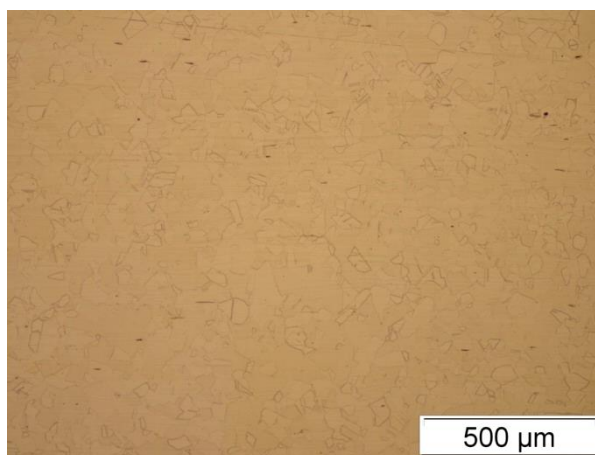
Makrostruktura je izazvana nagrivanjem u Adlerovom reagensu.

Na slici 6 prikazana je fotografija makronagriženog uzoraka zavarenog spoja na kojoj se vidi geometrija zavara s tri izvedena prolaza. Greške i nepravilnosti nisu uočene.

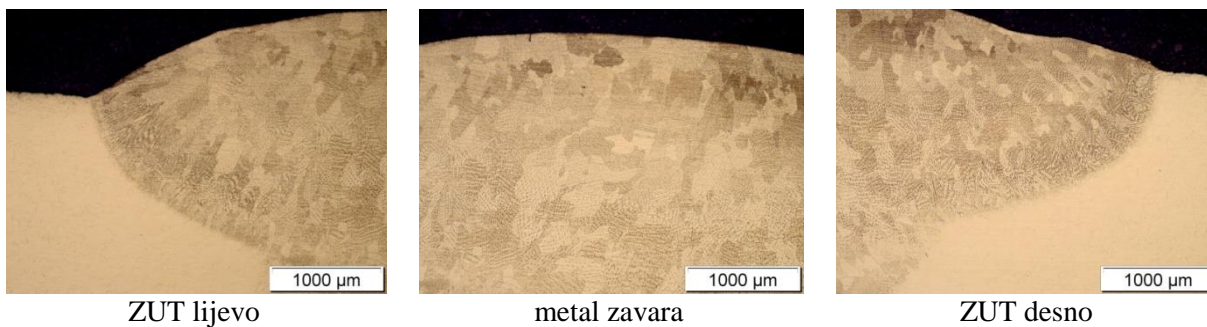


Slika 6. Makronagriženi uzorak zavarenog spoja

Rezultati analize mikrostrukture zavarenog spoja u nagrivanom stanju prikazani su slikama 7 do 12.



Slika 7. - Mikrostruktura osnovnog materijala



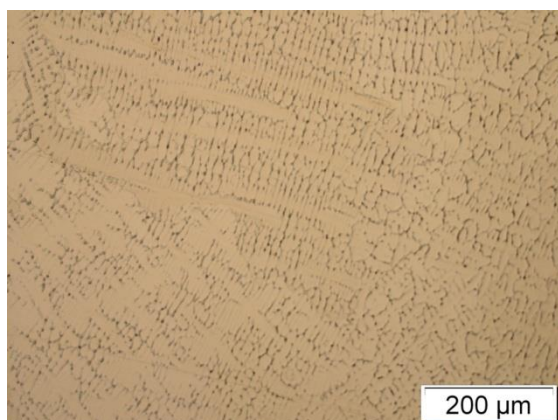
Slika 8. Mikrostruktura zavarenog spoja u tjemenu zavara



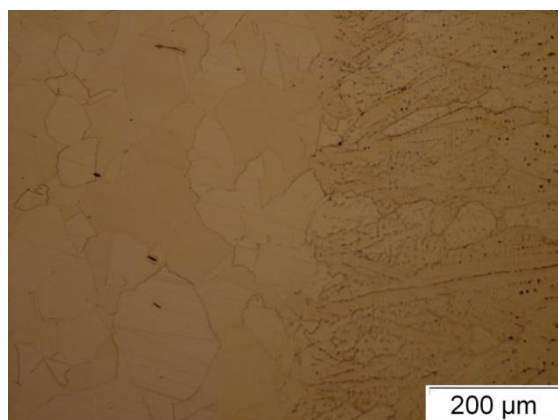
Slika 9. Mikrostruktura zavarenog spoja u sredini zavara



Slika 10. Mikrostruktura zavarenog spoja u korijenu zavara



Slika 11. – Metal zavara



Slika 12. Linija staljivanja , lijevo od zavara

Mikrostruktura osnovnog materijala sastoji se, gotovo u potpunosti, od samo jedne faze – γ kristala mješanaca. Mjestimice se mogu uočiti vrlo sitni uključci, koji su uobičajeni za ovu leguru.

Njihov volumni udio manji je od 0,5 %. Veličina kristalnih zrna γ - faze je između 5 i 6. Zrna su ujednačena po obliku i veličini, slika 7.

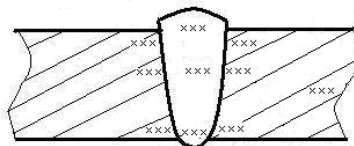
Na slici 8 vidljiva je mikrostruktura ZUT-a i metala zavara u tjemenu zavarenog spoja, dok slike 9 i 10 prikazuju mikrostrukturu ZUT-a i metala zavara na sredini zavarenog spoja odnosno u korijenu zavara.

Metal zavara ima tipičnu ljevačku mikrostrukturu, što se vidi na slici 11, snimljenoj pri većem povećanju. U metalu zavara nisu uočene nikakve nepravilnosti.

Na slici 12 jasno je izražena linija staljivanja, dok zone utjecaja topline gotovo i nema.

Mjerenje mikrotvrdoće

Ispitivanje mikrotvrdoće vrlo je često uključeno u kvantitativnu analizu mikrostrukture. Ovo je ispitivanje najbolje provesti na poliranoj površini ali zbog preciznijeg određivanja mjernog mjesta poželjno je da površina bude blago nagrižena. Mjerenje Vickersove mikrotvrdoće s opterećenjem 0,2x9,81 N (HV0,2) provedeno je u osnovnom materijalu, metalu zavara i zoni utjecaja topline u tjemenu, sredini i korijenu zavara, kako prikazuje slika 13.



Slika 13. Ispitna mjesta mjerenja mikrotvrdoće

U tablici 4 sažete su srednje vrijednosti izmjerenih mikrotvrdoća. Kao što je vidljivo nema značajne razlike u vrijednostima mikrotvrdoće između osnovnog materijala, zone utjecaja topline i metala zavara. Također nema značajnije razlike u tjemenu, sredini i korijenu zavara. Najniže vrijednosti mikrotvrdoće izmjerene su u metalu zavara.

Tablica 4. Rezultati mjerenja mikrotvrdoće HV0,2 zavarenog spoja

| Mjesto ispitivanja | | HV 0,2 |
|--|---------|--------|
| Osnovni materijal | sredina | 154 |
| | tjeme | 149 |
| Zona utjecaja topline desno od zavara | sredina | 152 |
| | korijen | 155 |
| | tjeme | 147 |
| Metal zavara | sredina | 146 |
| | korijen | 142 |
| | tjeme | 150 |
| Zona utjecaja topline lijevo od zavara | sredina | 153 |
| | korijen | 152 |

3. ZAKLJUČAK

Metalografska ispitivanja imaju važnu ulogu u vrednovanju kvalitete zavarenog spoja. Makronagrizanjem se otkrivaju različite konstrukcijske, tehnološke i metalurške greške koje mogu jako narušiti svojstva zavarenog spoja u cjelini. Mikroskopskim ispitivanjem mikronagrižene

površine mogu se otkriti greške koje golim okom nisu nevidljive, a koje mogu također jako utjecati na kvalitetu zavarenog spoja.

Rezultati metalografske analize zavarenog spoja cijevi iz Ni-Cu legure, Monela 400, pokazuju da je zavareni spoj u potpunosti izveden kvalitetno, bez grešaka i nepravilnosti bilo koje vrste. Mikrostrukturu osnovnog materijala čini čvrsta otopina g-kristala mješanca sa zanemarivo malom količinom uključaka. Metal zavara ima karakterističnu ljevačku mikrostrukturu u kojoj nisu uočene nikakve nepravilnosti. Linija staljivanja je jasno izražena, a mikrostruktura u zoni utjecaja topline gotovo se ne razlikuje od osnovnog materijala.

Rezultati mjerenja mikrotvrdoće vrlo su ujednačeni što je u skladu sa rezultatima analize mikrostrukture.

4. LITERATURA

- [1] I. JURAGA, K. LJUBIĆ, M: ŽIVČIĆ, Pogreške u zavarenim spojevima, HDTZ, Zagreb;
- [2] H. SCHUMAN, Metallographie, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig;
- [3] ASM Specialty Handbook: Nickel, Cobalt, and Their Alloys, 2000.
- [4] J. PAVIĆ, M. DUSPARA, M. HORVAT, Welding of alloy MONEL 400 with TIG welding process, 6. Međunarodno znanstveno-stručno savjetovanje SBZ 2011 SUVREMENE TEHNOLOGIJE I POSTUPCI PRI IZRADI TLAČNE OPREME, ZAVARENIH METALNIH KONSTRUKCIJA I PROIZVODA, Slavonski Brod, 2011.