



ISPITIVANJE MIKROSTRUKTURE CIJEVI PREGRIJAČA PARE PRIMJENOM METALOGRAFSKIH REPLIKA

INVESTIGATION OF THE MICROSTRUCTURE OF SUPERHEATER INLET TUBES BY APPLICATION OF THE METALLOGRAPHIC REPLICATION METHOD

A. Milinović^{1,*}, I. Opačak¹, I. Kladarić¹, J. Spajić¹

¹Mechanical Engineering Faculty in Slavonski Brod, University of Slavonski Brod, Croatia

* Corresponding Author. E-mail: andrijana.milinovic@unisb.hr

Sažetak

Strojna oprema i konstrukcijski elementi su tijekom rada izloženi različitim eksploatacijskim uvjetima, uslijed kojih može doći do promjene u njihovoj strukturi i svojstvima. Nastale promjene odražavaju se na kvalitetu rada i vijek trajanja komponenti. Ti problemi su naročito izraženi kod opreme koja je tijekom rada izložena visokim temperaturama, tlakovima i korozivnim medijima. U ovom radu ispitivana je mikrostruktura cijevi pregrijača pare, izrađenih od čelika 13CrMo4-5. Mikrostruktura je ispitana primjenom metalografskih replika. Kao dodatak metalografskom ispitivanju, provedeno je i ispitivanje tvrdoće. Rezultati su pokazali da je na svim ispitivanim cijevima prisutna sitnozrnata feritno-perlitna struktura. Također je utvrđeno da veličina zrna i vrijednosti tvrdoće odgovaraju nominalnim vrijednostima za čelik 13CrMo4-5.

Ključne riječi: Mikrostruktura, Metalografske replike, Pregrijači pare, Čelik 13CrMo4-5

Abstract

Machine parts and structural components are exposed to different operating conditions during their operation, which can lead to changes in their structure and properties. The resulting changes affect the quality of operation and the service life of the components. These problems are particularly pronounced for equipment exposed to high temperatures, pressures and corrosive media during



operation. In this study, the microstructure of superheater inlet tubes made of 13CrMo4-5 steel was investigated. The microstructure was examined using the metallographic replication method. In addition to the metallographic examination, a hardness test was also carried out. The results showed that all the tubes examined had a fine-grained ferritic-pearlitic microstructure. It was also found that the grain size and hardness values correspond to the nominal values for steel 13CrMo4-5.

Keywords: Microstructure, Metallographic replication, Superheater, 13CrMo4-5 steel

1. Uvod

Svojstva i kvaliteta korištenih materijala često su presudna za pouzdan i dug rad konstrukcijskih i strojnih elemenata. Tijekom rada, oprema i dijelovi opreme izloženi su različitim eksploatacijskim uvjetima, uslijed kojih može doći do promjene u njihovoj mikrostrukturi i svojstvima. Problemi su tim izraženiji, što su uvjeti rada teži. Visoke temperature, tlakovi i korozivno okruženje često rezultiraju promjenama u strukturi poput: pogrubljenja zrna, razugljičenja, oksidacije, interkristalne korozije, oštećenja uslijed puzanja, napetosne korozije i sl. Zbog svega navedenog, ključno je da proizvođači i korisnici opreme budu informirani o kvaliteti materijala i preostalom vijeku trajanja proizvoda te da na vrijeme budu upozoreni na postojeću ili potencijalnu štetu. U okviru metalografije razvijene su mnoge metalografske metode s ciljem utvrđivanja svojstava i optimiziranja izbora materijala, analize grešaka u strukturi i procjene preostalog vijeka trajanja komponente. Zbog svega navedenog, metalografija često predstavlja važan dio kontrole tekuće proizvodnje.

Metalografija obuhvaća metode sa i bez razaranja. Može se reći da metalografski postupci najčešće obuhvaćaju metode s razaranjem. Kod tih postupaka, ispitni uzorak se izrezuje iz materijala ili gotovog proizvoda, a samo ispitivanje provodi se u laboratoriju. Ponekad je metalografska ispitivanja potrebno provesti na licu mjesta na gotovim proizvodima i dijelovima koji se ne smiju uništiti. U takvim slučajevima provodi se ispitivanje metalografskim replikama. Ispitivanje replikama je postupak kojim se mikrostruktura površine reproducira (replificira) pomoću folije, a struktura se potom analizira pomoću prijenosnoga mikroskopa ili u laboratoriju. Iako ispitivanje replikama obuhvaća isti postupak pripreme kao i standardna metalografija (brušenje, poliranje i nagrivanje), ova metoda ispitivanja je praktički nerazorna, jer je uzorkovanje samo površinsko. Kao i kod svakog metalografskog postupka, i ovdje je priprema površine ključna za dobivene rezultate, što znači da kvaliteta replike uvelike ovisi o vještini i iskustvu osobe koja provodi ispitivanje. Rezultati dobiveni primjenom metalografskih replika usporedivi su s onima koje bi dali standardni metalografski (laboratorijski) postupci. Ti rezultati mogu se koristiti za identificiranje širokog spektra promjena i nedostataka koji mogu utjecati na rad komponente te za procjenu stanja i preostalog radnog vijeka komponente. Pri tome, materijal, oblik i dimenzije komponente nisu ograničenja za primjenu ove metode. Ispitivanje metalografskim replikama često je i najisplativija opcija kada je potrebno donijeti zaključak o trenutnom stanju opreme i potrebama za eventualnim popravcima ili zamjenama, jer klasična metalografija podrazumijeva uklanjanje opreme iz upotrebe i njeno razaranje zbog



uzorkovanja. Zbog svega navedenog, ispitivanje metalografskim replikama često je nezaobilazan postupak kod ispitivanja i evaluacije opreme i dijelova opreme izloženih visokim temperaturama, tlakovima i korozivski agresivnim medijima (peći, grijači, kotlovi, cjevovodi, spremnici, reaktori) [1-3].

Čelik 13CrMo4-5 spada u skupinu niskolegiranih čelika namijenjenih radu na temperaturama do 550 °C. Radi se o čeliku otpornom na puzanje kod kojega legiranje Mo poboljšava mehanička svojstva na povišenim temperaturama, dok dodatak Cr poboljšava svojstva vremenske (trajne) čvrstoće. Karakterizira ga izvrsna strojna obradivost, zavarljivost te zadržavanje svojstava čvrstoće na sobnoj i povišenim temperaturama. Koristi se za izradu dijelova kotlova, cijevi pregrijača, turbina, parnih vodova, dijelova tlačne opreme i dijelova elektroenergetskih sustava [4-6]. U ovome radu ispitana je mikrostruktura i tvrdoća cijevi ulazne komore pregrijača pare, izrađenih od čelika 13CrMo4-5. Ispitivanje je provedeno na novim dijelovima pregrijača, prije njegovog puštanja u pogon. Mikrostruktura je ispitana primjenom metalografskih replika prema normi HRN ISO 3057:1999, dok je tvrdoća ispitivanja prema normi ASTM A1038.

2. Postupak ispitivanja metalografskim replikama

Ispitivanje mikrostrukture metalografskim replikama normirano je i provodi se u skladu s normom HRN ISO 3057:1999 [2]. Prva faza postupka ispitivanja mikrostrukture je metalografska priprema površine i može se reći da je ključna za uspješnu replikaciju. Priprema počinje čišćenjem i odmašćivanjem te sušenjem u struji toplog zraka. Potom slijedi niz operacija brušenja, brusnim papirima različitih granulacija, pri čemu se pri svakom novom brušenju koristi finiji brusni papir. Debljina skinutog sloja može biti max 0,2 mm, no većinom su te debljine značajno manje. Prilikom brušenja potrebno je obratiti pozornost na hlađenje, kako uslijed pregrijavanja i pritiska na uzorak ne dođe do promjena u strukturi odn. svojstvima. Nakon brušenja, ispitni uzorak se polira mehanički ili elektrolitski, a rezultat je glatka, zrcalna površina. Po završenom poliranju, uzorak se prvo ispiru u vodi, zatim u alkoholu te se suši u struji toplog zraka. Kako bi se otkrile granice zrna i prisutni konstituenti, površinu je nakon poliranja potrebno nagristi nanošenjem odgovarajuće otopine, ovisno o vrsti materijala koji se ispituje. Nakon nagrizanja, ponovo je potrebno isprati uzorak na isti način kao i prije nagrizanja [2, 3].

Nakon što je uzorak pripremljen, slijedi nanošenje replika, pri čemu se kao replikati mogu koristiti folije i prozirni nitrocelulozni lakovi. Ukoliko se kao replikati koriste folije, prije njihovog postavljanja potrebno je ovlažiti površinu odgovarajućom otopinom te je potrebno foliju postaviti tako da dobro prione na površinu. Ukoliko se koriste lakovi, lak se u tankom ravnomjernom sloju nanese na površinu te se suši 1 – 1,5 h [2, 3]. Nakon što se replika ukloni s površine, slijedi ispitivanje mikrostrukture. Kada se replika ispituje u reflektiranom svjetlu, kako bi se pojačao kontrast replike za mikroskopsko ispitivanje, potrebno ju je zalijepiti na ogledalo ili metalnu površinu koja dobro reflektira svjetlo. Kvalitetna replika trebala bi točno reproducirati sve mikrostrukturne značajke prisutne na površini koja je replicirana (faze, granice zrna, precipitate, pukotine, šupljine itd.)

3. Eksperimentalni dio

U ovome radu provedeno je ispitivanje na tri cijevi ulazne komore pregrijača (slika 1), koje je bilo potrebno ispitati prije prvog puštanja u rad kako bi se utvrdilo da li je tijekom izrade pregrijača došlo do promjene strukture i degradacije svojstava.



Slika 1. Cijev ulazne komore pregrijača

Ispitivanje je provedeno na cijevima promjera \varnothing 323,9 x 28 mm, izrađenima od čelika 13CrMo4-5. Kemijski sastav čelika 13CrMo4-5 dan je u tablici 1.

Tablica 1. Kemijski sastav čelika 13CrMo4-5, % mase [5]

C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Cu	N
0,08- 0,18	0,4-1,0	< 0,35	< 0,025	< 0,01	0,70 – 1,15	0,4 – 0,6	< 0,30	< 0,012

Mirostrukturu je bilo potrebno ispitati na gotovim cijevima koje nisu smjele biti oštećene, pa je za ispitivanje odabrana metoda metalografskih replika, pri čemu su kao replikati korištene folije. Analiza otisaka mikrostrukture provedena je na svjetlosnom mikroskopu Leica DM 2500M. Primjenom norme ASTM E112 (metodom usporedbe s referentnim slikama), određena je veličina zrna. Kao dodatak metalografskom ispitivanju, provedeno je ispitivanje tvrdoće prijenosnim tvrdomjerom MIC 10 DL, a prema normi ASTM A1038. Na svakom ispitnom mjestu provedeno je 5 mjerenja, a rezultati ispitivanja tvrdoće predstavljaju njihovu aritmetičku sredinu.

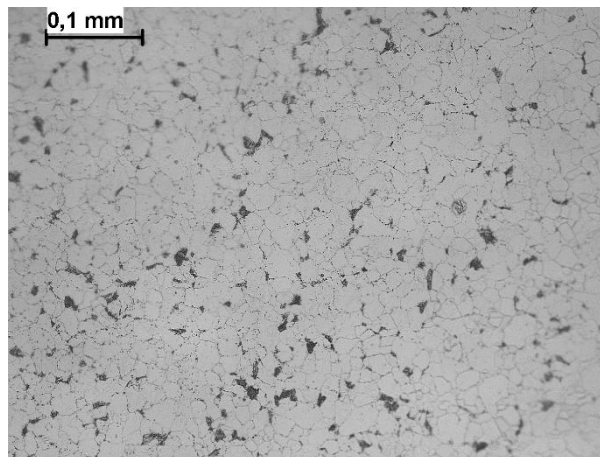
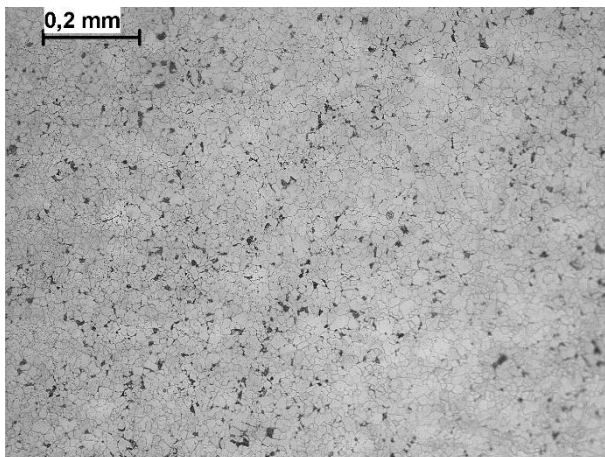
4. Rezultati i analiza rezultata

Na slici 2 prikazana je ispitna cijev br. 1. Na slici 2 lijevo crvenom je bojom označeno ispitno mjesto, dok je na slici 2 desno prikazano ispitno mjesto s nanesenom folijom za repliciranje.



Slika 2. Ispitna cijev br. 1 s označenim mjestom ispitivanja (lijevo) i nanesenom folijom za repliciranje (desno)

Mikrostruktura replike 1 snimljena pod povećanjem 100:1 i 200:1 dana je na slici 3. Na slikama se može uočiti da se radi o feritno-perlitnoj strukturi, pri čemu je udio ferita značajno veći od udjela perlita. Također se može uočiti da su zrna ujednačene veličine, a ispitivanjem po normi ASTM E112 utvrđeno je da veličina zrna iznosi 7-8. Prosječna tvrdoća cijevi br. 1, dobivena kao srednja vrijednost 5 mjerenja, iznosi 136 HV.



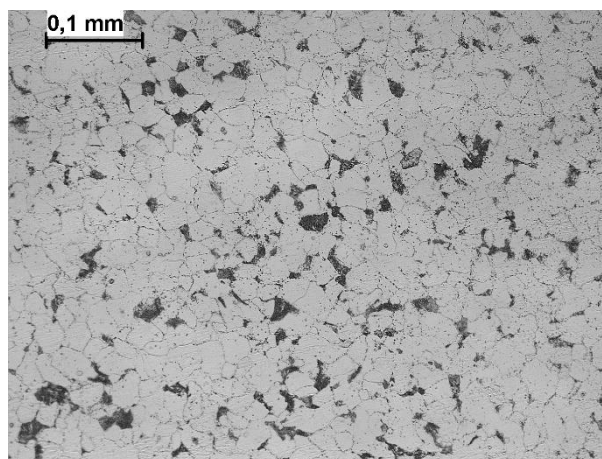
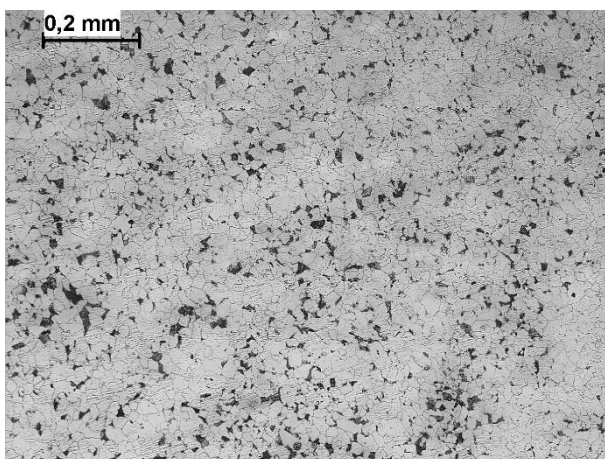
Slika 3. Mikrostruktura replike 1: povećanje 100:1 (lijevo), povećanje 200:1 (desno)

Na slici 4 prikazana je cijev br. 2, pri čemu je crvenom je bojom označeno ispitno mjesto. Na desnoj strani slike 4 prikazano je ispitno mjesto s nanesenom folijom za repliciranje.



Slika 4. Ispitna cijev br. 2 s označenim mjestom ispitivanja (lijevo) i nanesenom folijom za repliciranje (desno)

Na slici 5 prikazana je mikrostruktura replike 2 snimljena pod povećanjem 100:1 i 200:1. Može se uočiti da se radi o feritno-perlitnoj strukturi, s većim udjelom ferita u odnosu na perlit. Ispitivanjem prema normi ASTM E112, utvrđeno je da veličina zrna iznosi 7-8. Prosječna tvrdoća dobivena kao srednja vrijednost 5 mjerenja iznosi 142 HV.



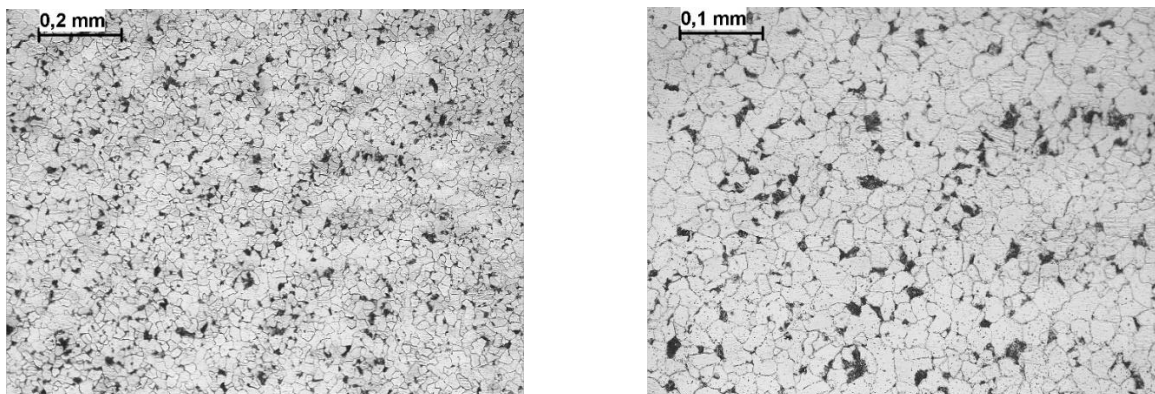
Slika 5. Mikrostruktura replike 2: povećanje 100:1 (lijevo), povećanje 200:1 (desno)

Na slici 6 prikazana je ispitna cijev br. 3 s označenim mjestom za ispitivanje (slika 6 lijevo) te nanesenom folijom za repliciranje (slika 6 desno).



Slika 6. Ispitna cijev br. 3 s označenim mjestom ispitivanja (lijevo) i nanesenom folijom za repliciranje (desno)

Na slici 7 prikazana je mikrostruktura replike 3 snimljena pod povećanjem 100:1 i 200:1. Kao i u prethodnim slučajevima, i ovdje se radi o feritno-perlitnoj strukturi s većim udjelom ferita. Ispitivanjem prema normi ASTM E112 utvrđeno je da veličina zrna iznosi 7-8. Prosječna tvrdoća dobivena kao srednja vrijednost 5 mjerenja iznosi 144 HV.



Slika 7. Mikrostruktura replike 3: povećanje 100:1 (lijevo), povećanje 200:1 (desno)

Može uočiti da je kod svih cijevi prisutna feritno-perlitna struktura, s većim udjelom ferita u odnosu na perlit. Ova mikrostruktura tipična je za čelik 13CrMo4-5. U strukturi se ne uočavaju nepravilnosti (pukotine, interkristalna korozija, uključci i sl.). Što se veličine zrna tiče, utvrđeno je da je kod sve tri cijevi prisutna struktura koju karakterizira sitno zrno ujednačene veličine. Nominalna vrijednost tvrdoće čelika 13CrMo4-5 iznosi 134 HB [7], što odgovara tvrdoći od 134 HV [8]. Budući da tvrdoće izmjerene na cijevima br. 1, br. 2 i br. 3 redom iznose 136, 142 i 144 HV, može se reći da tvrdoće odgovaraju nominalnoj vrijednosti za ovaj čelik. Rezultati ispitivanja pokazuju da u strukturi nije došlo do promjena, stoga se može zaključiti da tijekom izrade, nije došlo do promjena u strukturi i svojstvima cijevi.



5. Zaključak

U ovome radu ispitana je mikrostruktura i tvrdoća tri cijevi izrađene od čelika 13CrMo4-5 koje su dio pregrijača pare. Mikrostruktura je ispitivana prema normi HRN ISO 3057:1999 primjenom metalografskih replika, veličina zrna prema normi ASTM E112, dok je tvrdoća ispitivana prema normi ASTM A1038. Utvrđeno je da:

- sve tri cijevi imaju feritno – perlitnu mikrostrukturu, pri čemu je udio ferita značajno veći
- u strukturi se ne uočavaju greške tipa pukotina, uključaka, korozije
- veličina zrna kod sve tri cijevi iznosi 7-8
- tvrdoća ispitivanih cijevi iznosi 136, 142 i 144 HV.

Rezultati pokazuju kako tijekom izrade ulazne komore pregrijača nije došlo do promjene mikrostrukture i svojstava cijevi. Što se tiče metode ispitivanja mikrostrukture primjenom metalografskih replika, ona se pokazala kao najbolji izbor za ovakav tip kontrole, jer su dobiveni rezultati pouzdani, a za ispitivanja nije bilo potrebno razoriti cijev radi uzorkovanja pa su dijelovi pregrijača nakon ispitivanja mogli biti pušteni u rad. Budući se radi o opremi koju je tijekom eksploatacije potrebno periodički ispitivati, dobiveni rezultati poslužiti će za usporedbu s rezultatima narednog ispitivanja.

6. Literatura

- [1] Schumann, Herman. (1981). Metalografija. Beograd : Tehnološko – metalurški fakultet u Beogradu.
- [2] HRN ISO 3057: 1999 Nerazorno ispitivanje - Tehnike ispitivanja površine metalografskom replikom (ISO 3057:1998)
- [3] ASTM E1351 – 01 Standard Practice for Production and Evaluation of Field Metallographic Replicas
- [4] Novosel, Mladen; Krumes, Dragomir. (1998). Posebni čelici. Slavonski Brod: Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu.
- [5] Virgamet: 13CrMo4-5, 1.7335, 13CrMo4-4 - boiler steel
<https://virgamet.com/13crmo45-1-7335-13crmo44-a182-f11-f12-a335-p11-p12-boiler-steel.html>
- [6] URSSA ACEROS ESPECIALES
<https://www.acerosurssa.es/en/steels-for-medium-and-high-temperatures/12-urssa-16mo313crmo4-5-steel-for-high-work-temperatures.html>
- [7] Steel Grades 13CrMo4-5
13CrMo4-5 Steel, Datasheet, Properties, Cross-Reference Table, Suppliers (steel-grades.com)
- [8] Vitez, Ivan. (2006). Ispitivanje mehaničkih svojstava metalnih materijala. Slavonski Brod: Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu.