

UTJECAJ BRZINE MIJEŠANJA MEDIJA ZA HLAĐENJE NA KVALITET MIKROSTRUKTURE I TVRDOĆE

THE INFLUENCE OF THE MIXING SPEED OF THE QUENCHING MEDIA ON THE QUALITY OF THE MICROSTRUCTURE AND HARDNESS

Almaida Gigović-Gekić, Hasan Avdušinović, Amna Hodžić
Univerzitet u Zenici, Metalurško-tehnološki fakultet
Zenica, Bosna i Hercegovina

Branka Muminović
Univerzitet u Zenici, Institut „Kemal Kapetanović“
Zenica, Bosna i Hercegovina

REZIME

Hlađenje čelika predstavlja izuzetno važnu tehnološku operaciju jer od brzine hlađenja zavisi konačna mikrostruktura čelika, a samim tim i njegova svojstva. Brzina hlađenja čelika zavisi od brojnih faktora, a jedan od njih je i miješanje medija u kojem se vrši hlađenje. U ovom radu su predstavljene rezultati ispitivanja brzine miješanja medija za hlađenje na mikrostrukturu i tvrdoću čelika. Za ispitivanje je korišten čelik 23MnB4 koji se između ostalog koristi i za proizvodnju vijaka. Ispitivanje je vršeno za dva medija (voda i ulje) a brzine miješanja su 500, 750, 1000, 1250, 1500 i 1750 obrtaja u minuti. Rezultati su pokazali da je mikrostruktura nakon hlađenja u vodi odnosno ulju martenzitno-beinitna sa različitim udjelima pojedinih konstituenata što se odrazilo na vrijednost tvrdoće. Brzina miješanja nije znatno utjecala na vrijednost tvrdoće u slučaju hlađenja u ulju, za razliku od hlađenja u vodi gdje sa porastom brzine miješanja do 1000 o/min raste i vrijednost tvrdoće.

Keywords: hlađenje, brzina hlađenja, mikrostruktura, tvrdoća

ABSTRACT

Cooling of a steel is very important technological operation because the final microstructure of the steel, and therefore its properties, depends of the cooling rate. The speed of steel cooling depends on a number of factors, one of which is the mixing of the quenching media. This paper presents the results of testing the mixing speed of the quenching media on the microstructure and hardness of steel. Steel 23MnB4 was used for testing. This steel is used, among other things, for the production of screws. The test was performed for two media (water and oil) and the mixing speeds were 500, 750, 1000, 1250, 1500 and 1750 rpm. The results showed that the microstructure after cooling in water or oil is martensitic-bainite with different proportions of individual constituents, which was reflected in the hardness value. The mixing speed did not significantly affect on the hardness in the case of cooling in oil, in contrast to cooling in water, where the hardness increases with the increase of the mixing speed up to 1000 rpm.

Keywords: quenching, cooling rate, microstructure, hardness

1. UVOD

Hlađenje čelika predstavlja izuzetno važnu tehnološku operaciju jer od brzine hlađenja zavisi konačna mikrostruktura čelika, a samim tim i njegova svojstva. U praksi se obično razlikuju tri

načina hlađenja; sporo, normalno i brzo. Sporo hlađenje je hlađenje komada u peći i primjenjuje se najčešće kod postupaka žarenja. Normalno hlađenje se izvodi na zraku kao što je slučaj kod normalizacije. Brzo hlađenje se primjenjuje kod termičke obrade kaljenjem i ima najveći utjecaj na mikrostrukturu i svojstva. Na brzinu hlađenja utječu različiti faktori kao što su: vrsta medija koji se koristi za hlađenje, kretanje medija, vrsta materijala koji se hladi, masa komada itd. Od navedenih faktora koji utječu na brzinu hlađenja u praksi se može samo utjecati na medij koji se koristi za hlađenje, odnosno na pravilan izbor sredstva za hlađenje i njegovog miješanja. Prema načinu djelovanja, sredstva za hlađenje se mogu podijeliti na: sredstva koja ne mijenjaju svoje agregatno stanje u toku hlađenja i sredstva koja mijenjaju svoje agregatno stanje jer im je temperatura ključanja ispod temperature austenitizacije. Intenzitet hlađenja sredstva se prema Grossmannu označava slovom H i zavisi od miješanja sredstva. Vrijednost H raste sa povećanjem brzine miješanja, a time se povećava i intenzitet hlađenja. U slučaju vode vrijednost H se mijenja od 1 za slučaj kada nema miješanja do 4 kada je vrlo brzo miješanje. Za ulje, intenzitet hlađenja je manji i kreće se od 0,25 bez miješanja do 1,1 kada je vrlo brzo miješanje. Iz ovog se može i vidjeti da voda ima veći intenzitet hlađenja u odnosu na ulje. U slučaju brzog hlađenja potapanjem komada u sredstvo koje mijenja svoje agregatno stanje odvođenje toplote je znatno složenije i podliježe tzv. Lajdenfrostovom fenomenu. Odvođenje toplote se odvija u tri stadija: stadij formiranja parnog omotača, stadij pucanja parnog omotača i stadij konvekcije. U toku prvog stadija koji nastupa neposredno pri potapanju komada s temperature kaljenja u sredstvo dolazi do formiranja parnog omotača na površini komada. Formirani parni omotač ima efekt izolacije i samim tim smanjuje brzinu hlađenja. Temperatura iznad koje se formira parni omotač zove se Lajdenfrostova temperatura (Johann Gottlieb Leidenfrost). Da bi se spriječilo pojavljivanje parnog omotača ili skratilo vrijeme njegovog postojanja koristi se miješanje sredstva za hlađenje ili pokretanje komada u sredstvu koje miruje. Kad temperatura površine komada bude niža od Lajdenfrostove temperature doći će do pucanja parnog omotača i površina komada dolazi u direktan kontakt s medijem za hlađenje, tj. dolazi do potpunog kvašenja komada. Ovo dovodi do intenzivne konvekcije i velike brzine hlađenja. Teoretski treći stadij bi trebao početi kada se površina komada ohladi na temperaturu ključanja medija za hlađenje. Međutim, eksperimentalno je dokazano da ovaj stadij počinje i nešto ranije, tj. nešto iznad temperature ključanja medija. Toplota se odvodi konvekcijom i provođenjem te je brzina hlađenja znatno manja u odnosu na druge stadije i zavisi od fizičkih svojstava sredstva za hlađenje [1-3]. Cilj ispitivanja koja su predstavljena u ovom radu je da se ispita utjecaj brzine miješanja medija na intenzitet hlađenja u smislu utjecaja na mikrostrukturu i tvrdoću. U prethodnim istraživanjima je dokazano da miješanje medija ima utjecaja na tvrdoću i da je taj utjecaj više izražen u slučaju hlađenja u vodi nego kod hlađenja u ulju [4]. Postavlja se pitanje kada brzina miješanja više nema utjecaja na vrijednost tvrdoće odnosno mikrostrukture. Kao rashladno sredstvo korištena su dva medija voda i ulje koji se inače najčešće koriste u tehnologiji kaljenja čelika.

2. EKSPERIMENTALNI DIO

Za ispitivanje se koristio čelik 23MnB4, hemijskog sastava datog u tabeli 1. Uzorci za ispitivanje su uzeti iz vijka (8.8), pa je prema tome hemijski sastav dat prema standardu EN 10263-4: 2001.

Tabela 1. Hemijski sastav 23MnB4 [4]

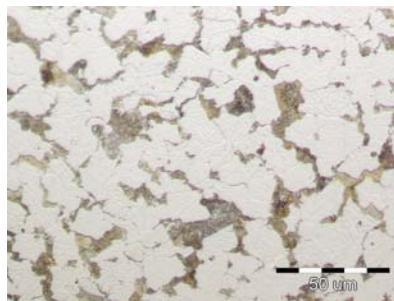
Hemijski sastav [mas.%]	C	Si _{maks}	Mn	P _{maks}	S _{maks}	Cr _{maks}	Cu _{maks}	B
	0.20-0.25	0.30	0.90-1.20	0.025	0.025	0.30	0.25	0.0008-0.005

Na 14 uzoraka koji su hlađeni u vodi i ulju sa različitim brzinama miješanja medija provedena je analiza mikrostrukture i izmjerena je vrijednost tvrdoće. Brzina miješanja medija je iznosila 500, 750, 1000, 1250, 1500 i 1750 o/min. Uzorci dimenzija Ø 18 x 10 mm su zagrijavani zajedno sa peći na temperaturu austenitizacije 880 °C u peći bez zaštitne atmosfere, držani na

ovoj temperaturi 5 minuta i hlađeni u vodi ili ulju. Količina medija koji se koristio za hlađenje je iznosio dva litra. U toku hlađenja uzoraka praćena je temperatura vode i ulja. Temperatura polaznog medija iznosila je oko 25 °C a prilikom hlađenja zagrijanog komada temperatura oba medija je rasla za najviše dva stepena. Za miješanje medija koristila se miješalica tipa “Digital overhead Stirrer LLG-uniSTIRRER OH2” sa brzinom miješanja od 50 do 2200 o/min, slika 1. Za analizu mikrostrukture korišten je optički mikroskop Olympus sa maksimalnim povećanjem 1000 puta. Analizi mikrostrukture prethodila je priprema uzorka koja se sastojala od brušenja, poliranja i nagrizanja uzoraka u rastvoru kiseline Nital ($\text{HNO}_3 + \text{etanol}$). Polazna mikrostruktura čelika je feritno-perlitna, slika 2. Ispitivanje tvrdoće provedeno je na uzorcima nakon metalografskih ispitivanja prema standardu BAS EN ISO 6506-1:2015 i BAS EN ISO 6508-1:2017



Slika 1. Digitalni miješač
LLG-uniSTIRRER OH2

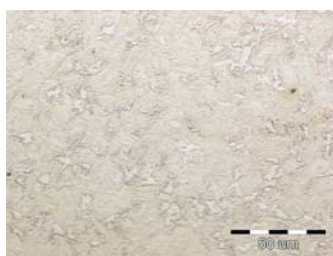


Slika 2. Feritno-perlitna
mikrostruktura polaznog stanja, x500

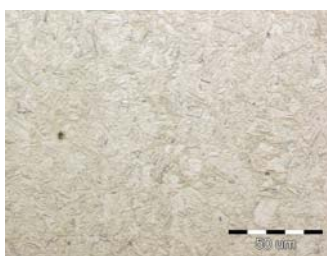
3. REZULTATI I ANALIZA

3.1. Analiza mikrostrukture

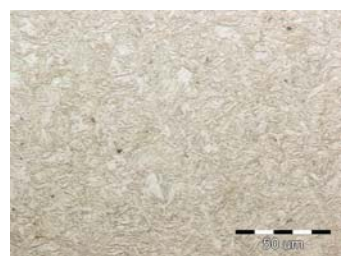
Na slikama 3 i 4 dat je prikaz mikrostrukture uzoraka nakon hlađenja u vodi odnosno u ulju za različite brzine miješanja. Pošto se radi o sitnozrnastoj mikrostrukтури u radu su prikazane slike sa povećanjem 500 puta da bi se lakše uočila mikrostruktura odnosno njene različitosti. Mikrostruktura na svim uzorcima je slična tj. martenzitno-beinitna sa različitim udjelima pojedinih mikrokonstituenata.



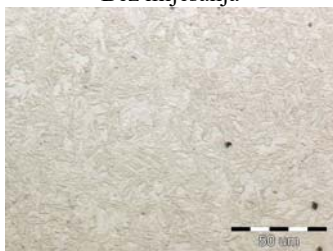
Bez miješanja



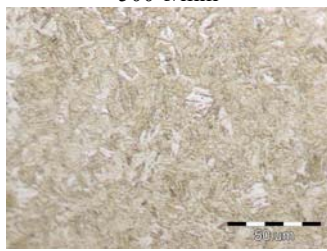
500 o/min



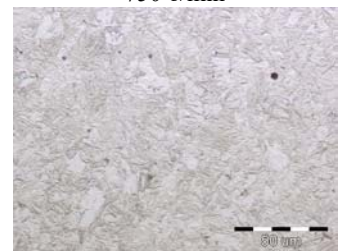
750 o/min



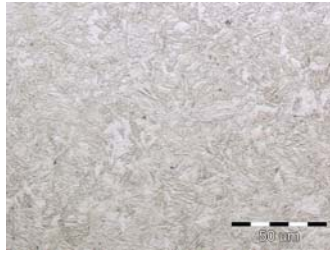
1000 o/min



1250 o/min



1500 o/min

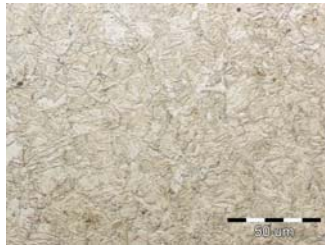


1750 o/min

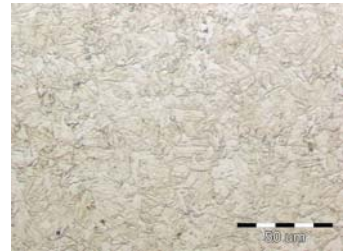
Slika 3. Mikrostruktura čelika 23MnB4 hlađenog u vodi, x500



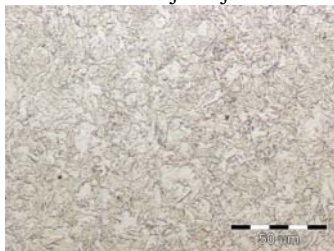
Bez miješanja



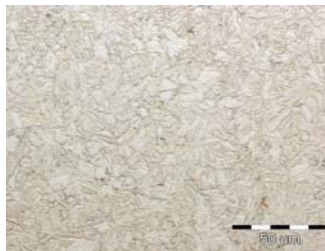
500 o/min



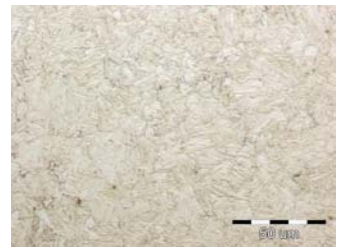
750 o/min



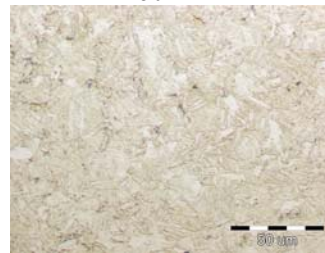
1000 o/min



1250 o/min



1500 o/min

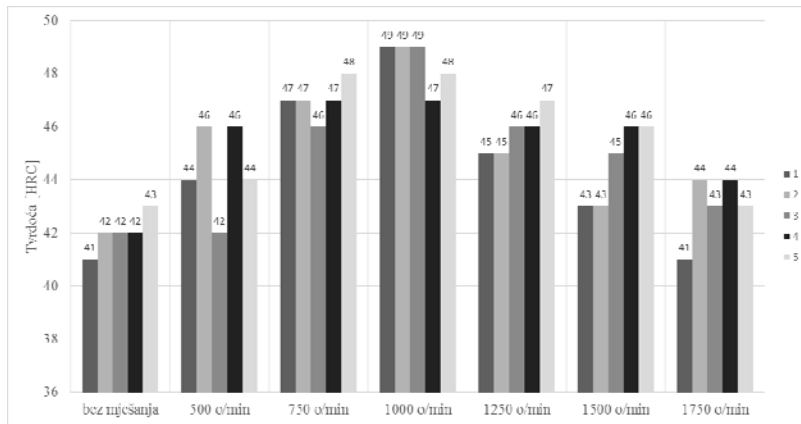


1750 o/min

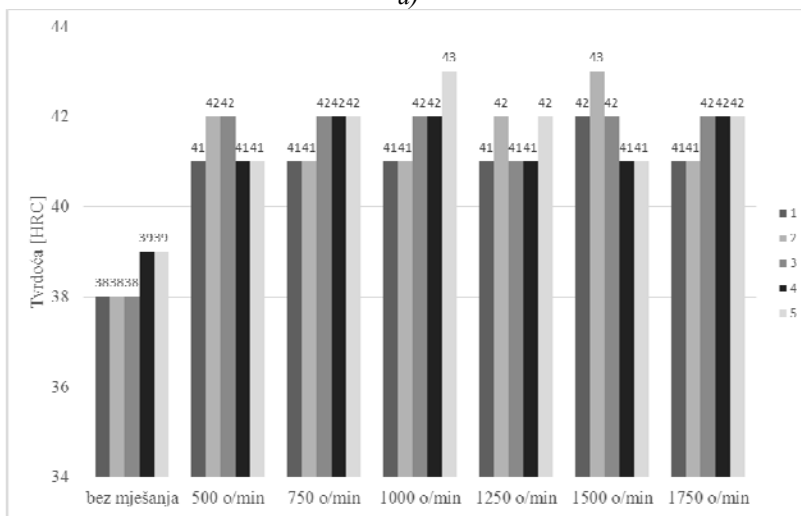
Slika 4. Mikrostruktura čelika 23MnB4 hlađenog u ulju, x500

3.2. Analiza tvrdoće

Rezultati ispitivanja tvrdoće na uzorcima čelika 23MnB4 za različite medije i različite brzine miješanja dati su na slikama 5 i 6. Za svaki uzorak, a u skladu sa standardom urađeno je pet mjerenja, slika 5. Rezultati mjerenja pokazuju da su vrijednosti tvrdoće prilično ujednačene i da nema rasipanja rezultata. Vrijednosti tvrdoće su veće u slučaju hlađenja u vodi nego u ulju što se i očekivalo budući da voda ima veći intenzitet hlađenja, slika 6. Povećanje brzine u intervalu od 500 do 1750 o/min nije znatno utjecalo na tvrdoću uzoraka kaljenih u ulju. U slučaju kaljenja u vodi porast brzine miješanja do 1000 o/min je intenzivirao odvođenje toplote i postignute su nešto veće vrijednosti tvrdoće. Međutim sa daljim porastom brzine miješanja došlo je do smanjenja vrijednosti tvrdoće. Miješanje je bilo previše intenzivno što je donekle spriječilo kontakt vode i komada koji se hladio i na taj način smanjilo intenzitet hlađenja.

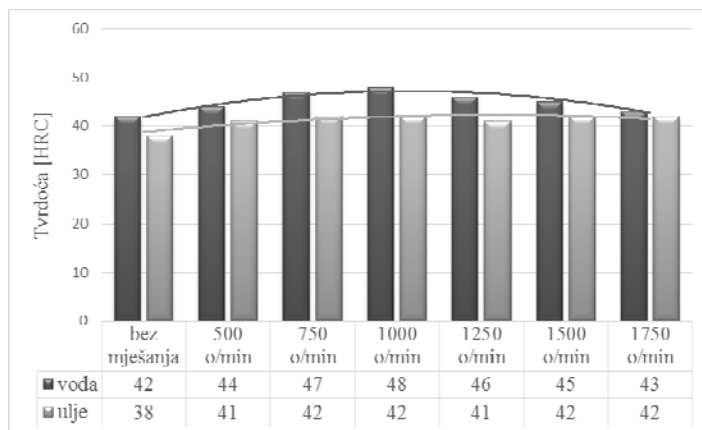


a)



b)

Slika 5. Vrijednosti tvrdoće za uzorke a) hlađene u vodi i b) za uzorke hlađene u ulju



Slika 6. Prosječna vrijednost tvrdoće za uzorke hlađene u vodi i ulju za različite brzine miješanja sredstva

4. ZAKLJUČAK

U radu su predstavljene rezultati analize mikrostrukture i tvrdoće čelika 23MnB4 hlađenog u vodi i ulju za različite brzine miješanja medija. Cilj ispitivanja je bio pokazati da li postoji zavisnost između brzine miješanja i intenziteta hlađenja, odnosno da li će brže miješanje medija dovesti do veće brzine hlađenja. Proces hlađenja je povezan sa koeficijentom prenosa toplote (kondukcijom i konvekcijom) ili intenzitetom hlađenja medija a što zavisi od vrste medija, miješanja medija, viskoznosti medija, temperature itd. U odnosu na literaturne izvore [4,5] za ovaj čelik tvrdoća za mikrostrukturu sa 100 % martenzita, dakle za brzine hlađenja veće od kritične bi trebala biti veća od 420 HV, tj. oko 454 HV. Rezultati u ovom radu pokazuju da vrijednost tvrdoće uzoraka koji su kaljeni u vodi odnosno u ulju za slučaj kada nema miješanja medija iznosi 42 HRC (406 HV) odnosno 38 HRC (361 HV), što ukazuje da za ovaj intenzitet hlađenja u mikrostrukтури je prisutan martenzit i bainit. Sa povećanjem brzine miješanja vode tj. sa povećanjem intenziteta hlađenja povećava se i tvrdoća što ukazuje na postizanje brzine hlađenja koja je veća od kritične i postizanje potpune martenzitne transformacije. Međutim sa povećanjem brzine miješanja iznad 1500 o/min efekat se gubi, tvrdoća pada. Razlog za to je prebrzo miješanje vode (prskanje od stjenke posude), što za posljedicu ima smanjen kontakt vode i komada koji se hladi i time manji intenzitet hlađenja. U slučaju hlađenja u ulju, može se vidjeti da brzina miješanja nema značajnog utjecaja na tvrdoću osim činjenice da je veća brzina hlađenja i veća tvrdoća za medij koji se miješa u odnosu na medij koji ne. Dakle sa miješanjem koeficijent prijenosa toplote konvekcijom raste (prisilna konvekcija) jer se smanjuje stabilnost parnog omotača na površini komada. Kada se govori o intenzitetu hlađenja medija važan parametar je i viskoznost medija. Voda u odnosu na ulje ima manju viskoznost. Sa povećanjem viskoznosti smanjuje se brzina hlađenja. Viskoznost medija zavisi od vrste medija, temperature, brzine miješanja itd. U toku ispitivanja mjerena je temperatura medija i pokazalo se da je temperatura medija rasla u prosjeku za dva stepena što nije vidljivo utjecalo na viskoznost. Povećanje brzine miješanja medija je izazvalo „snažnije“ miješanje vode u odnosu na ulje i slabiji kontakt između medija i uzorka koji se hladio, što je za posljedicu imalo manji intenzitet hlađenja.

ZAHVALA

Autori se zahvaljuju Institutu “Kemal Kapetanović” na ukazanoj pomoći pri izradi rada.

5. LITERATURA

- [1] Steel Heat Treatment Handbook: Steel Heat Treatment Metallurgy and Technologies, Edited by G.E. Totten, Taylor & Francis Group, 2006.
- [2] K. E. Thelning: Steel and its heat treatment, Butterworth-Heinemann, Oxford, Second edition 1984, Reprinted 2000.
- [3] A. Gigović-Gekić, H. Avdušinović: Termička obrada metala, Praktikum s teorijom, Univerzitet u Zenici, Metalurško-tehnološki fakultet, Zenica, 2019.
- [4] A. Gigović-Gekić, H. Avdušinović, B. Muminović, A. Hodžić: Effect of mixing of cooling media on microstructure and hardness of steel 23MnB4, 14th Scientific/Research Symposium with International Participation „Metallic and Nonmetallic materials“ Zenica, B&H, 27-28th April 2023.
- [5] https://www.lucefin.com/wp-content/files_mf/152336964123MnB4.pdf [13.02.2023.]