

UTJECAJ PARAMETARA NARMALIZACIJSKOG ŽARENJA NA VELIČINU ZRNA

EFFECT OF NORMALIZING PARAMETARS ON GRAIN SIZE

Ivica KLADARIĆ¹⁾, Štefanića KLARIĆ¹⁾, Melita KUZIK¹⁾

Ključne riječi: normalizacijsko žarenje, veličina zrna, podeutektoidni čelici

Key words: normalizing, grain size, hypo-eutectoid steel

Sažetak: Normalizacijsko žarenje je postupak toplinska obrada koja se primjenjuje, u nekim slučajevima, prije i poslije zavarivanja. Postupak normalizacijskog žarenja se uglavnom provodi radi uklanjanja mogućih grešaka, koje mogu nastati prilikom samog postupka zavarivanja. Djelovanje postupka normalizacijskog žarenja u velikoj mjeri ovisi o pravilnom odabiru parametara toplinske obrade. U ovom radu eksperimentalno je ispitana utjecaj temperature normalizacije, vremena držanja na toj temperaturi i načina ohlađivanja na promjenu veličine zrna podeutektoidnog čelika.

Abstract: Normalizing is the type of the heat treatment that is, in some cases, used also before, and after the welding process. The normalizing process is mostly used for elimination of possible defects that can appear during welding process. The effect of normalization process mostly depends of proper selection of heat treatment parameters. In this paper, the effect of normalization temperature, duration of the heating on the normalization temperature and cooling type on the hypo-eutectoid steel grain size changes is experimentally investigated.

¹⁾ Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Trg Ivane Brlić-Mažuranić 2, 35000 Slavonski Brod

1. UVOD

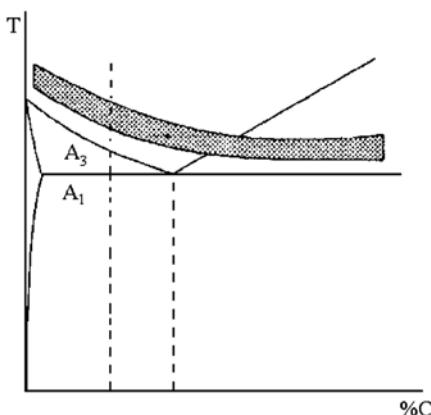
Postupkom zavarivanja u metal se unosi određena količina toplinske energije. Širenjem toplinske energije kroz metal izaziva se ugrijavanje metala. Zone oko zavara, zbog temperaturnog gradijenta, su tada u određenom trenutku ugrijane na različitim temperaturama što za posljedicu daje različite strukturne formacije. Tako u relativno uskom pojusu oko zavara, kod podeutektoidnih čelika, susrećemo; potpunu talinu, djelomično rastaljeno stanje, grubo austenitno zrno, fino austenitno zrno, mješano austenitni-feritno zrno, feritno-perlitnu zonu rekristalizacije i konačno početno feritno-perlitno zrno. Ukoliko je ubrzano hlađenje spoja, može u bivšim austenitnim zrnima doći do pojave stvaranja martenzita. Prisutnost martenzita, bainita, troostita ili sorbita snižava duktilna svojstva, pa dolazi do pojave krtosti ispod varu. [1]

Radi uklanjanja mogućih nepravilnosti u strukturi provodi se toplinska obrada zavarenih, s ciljem vraćanja onih svojstva metalu koja su snižena pod utjecajem topline zavarivanja, t.j. da reducira napetosti i proizvede željenu mikrostrukturu u osnovnom i dodanom materijalu. [2]

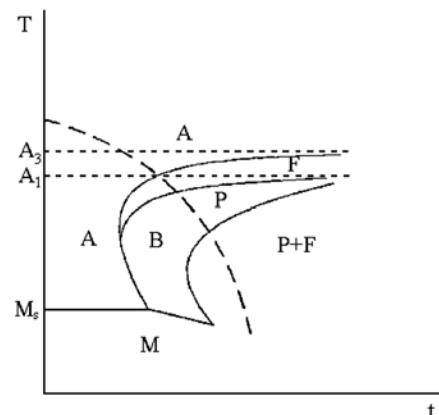
Toplinska obrada zavarenih spojeva obično se može podijeliti u toplinsku obradu prije i poslije postupka zavarivanja. Postupci toplinske obrade, koji se koriste prije zavarivanja, najčešće su predgrijavanje, žarenje za redukciju zaostalih naprezanja i normalizacijsko žarenje. Uobičajeni postupci toplinska obrada nakon zavarivanja najčešće su žarenje za redukciju zaostalih naprezanja, normalizacijsko žarenje, kaljenje i niskotemperaturno popuštanje. [1]

1.1. Normalizacijsko žarenje

Normalizacijsko žarenje je postupak toplinska obrada koja se primjenjuje, u nekim slučajevima, prije i poslije zavarivanja. Normalizacijsko žarenje je postupak toplinske obradbe koji se provodi u cilju postizanja jednolikih i sitnih kristalnih zrna s perlitom (kod podeutektoidnih čelika perlit + ferit, a kod nadeutektoidnih perlit + karbidi). Sastoji se od austenitiziranja i ohlađivanja na mirnom zraku. Normalizacija se provodi tako da se podeutektoidni čelični odljevak ugrije na temperaturu 30 do 50 K iznad A_3 , a nadeutektoidni 30 do 70 K iznad A_1 (slika 1.) i ohladi na mirnom zraku. [2]



Slika 1. Pojas temperatura normalizacije u dijagramu Fe-Fe₃C [2]



Slika 2. Shematski prikaz normalizacije u TTT dijagramu [3]

U normaliziranoj strukturi ne smije biti martenzita niti u tragovima, tako da ohlađivanje mora biti sporije od donje kritične brzine gašenja. Obzirom da položaj transformacijskih krivulja ovisi o legiranosti čelika, hlađenje na zraku nekih čelika dovelo bi do pojave djelomičnog martenzita ili čak potpunog zakaljenja.

Razlika tokova ohlađivanja između ruba i jezgre proizvoda razlog je različitim stupnjevima pothlađenja poprečnog presjeka, dakle dolazi do stvaranja nejednolične veličine zrna [3]. Normalizacijsko žarenje primjenjuje se prije zavarivanja kada struktura metala ne odgovara zahtjevima koji se postavljaju za kvalitetno spajanje zavarivanjem. Tako se npr. normalizira čelični lijev da se eliminira nepovoljna ljevačka struktura (Widmannstättenova struktura) kao i kod nelegirani i niskolegirani čeličnih dijelova koji su prethodno hladno deformirani (više od 5 %) s ciljem uklanjanja sekundarne trakaste strukture prekristalizacijom deformiranog zrna. Osnovni cilj provođenja normalizacijsko žarenje nakon zavarivanja je da se uklone nehomogenosti u strukturi i da se usitni kristalno zrno. Djelovanje postupka normalizacijskog žarenja u velikoj mjeri ovisi o pravilnom odabiru parametara toplinske obrade. Parametri koji utječu na žarenje su brzina ugrijavanja, temperatura austenitiziranja, trajanje držanja pri toj temperaturi i brzina ohlađivanja.

2. EKSPERIMENTALNI RAD

U eksperimentalnom dijelu istražen je utjecaj temperature normalizacije, trajanje draženja na toj temperaturi i brzine ohlađivanja na promjenu veličine zrna podeutektoidnog čelika. Istraživanja su provedena na uzorcima od čelika **St 37-3** čiji je kemijski sastav prikazan u tablici 1.

Tablica 1. Kemijski sastav podeutektoidnog čelika St 37-3

C	Si	Mn	P	S	Cu	Al
0,095	0,194	0,719	0,005	0,028	0,110	0,004

Svi uzorci su podvrnuti laboratorijskim ispitivanjima i to: normalizacijsko žarenje, metalografska ispitivanja i određivanje veličine zrna. Eksperiment je organiziran prema faktorskom planu pokusa tipa 2^3 tj. varijacija tri faktora na dva nivoa radi statističkog utvrđivanja utjecaj pojedinih faktora i njihovih interakcija na promjenu veličine zrna. Osim variranja svih nivoa faktora provedeno je po tri ponavljanja za istu kombinaciju faktora. Prije definiranja parametara plana pokusa načinjeno je dilatometrijsko ispitivanje i utvrđene su temperature transformacije (tablica 2.).

Tablica 2. Vrijednosti temperature transformacije pri austenitizaciji čelika St 37-3

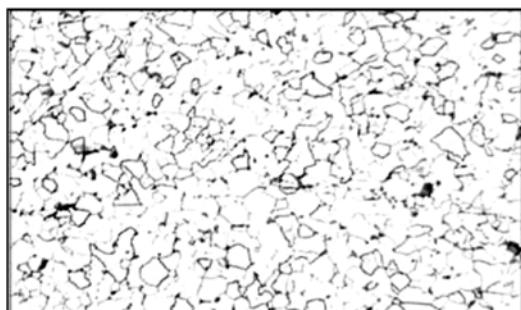
Transformacija	A_{C1}	A_{C3}
Temperatura	760 °C	895 °C

U tablici 3. prikazan je plan pokusa s definiranim parametrima i oznakama ispitnih uzoraka.

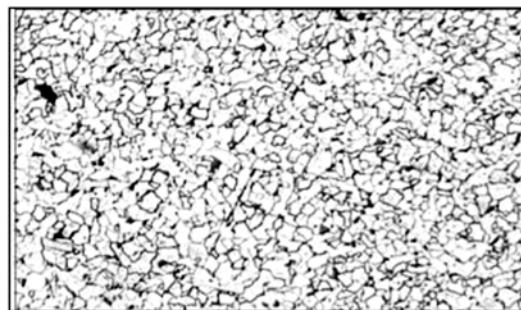
Tablica 3. Plan pokusa

Temperatura, °C	Trajanje, min	Tip hlađenja	Oznaka ispitnog uzorka			Tip ispitivanja
900	2	Peć	1	2	3	- Metalografska ispitivanja - Određivanje veličine zrna po metodi ASTM E112
		Zrak	4	5	6	
	167	Peć	7	8	9	
		Zrak	10	11	12	
1050	2	Peć	13	14	15	
		Zrak	16	17	18	
	167	Peć	19	20	21	
		Zrak	22	23	24	

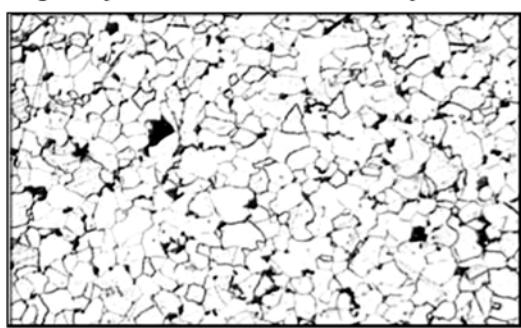
Toplinska obrada na svim uzorcima provedena je elektroničkom dilatometru 402 EP.



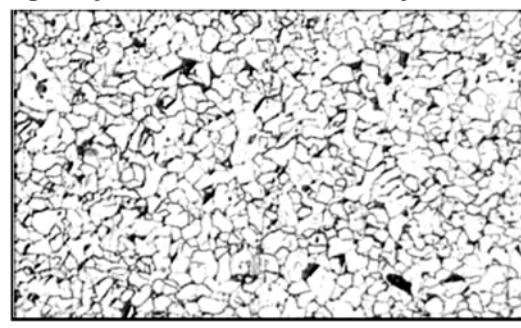
Slika 3: **Uzorak 1** ⇒ Veličina zrna A7
 $(\theta_N=900^{\circ}\text{C}, t_N=2 \text{ min, hlađenje u peći})$
 Nagrizanje: 3% nital Povećanje: 100 : 1



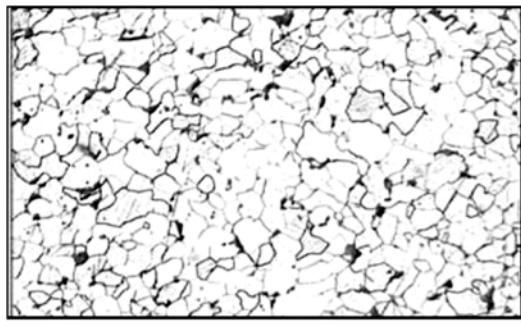
Slika 4: **Uzorak 4** ⇒ Veličina zrna A8
 $(\theta_N=900^{\circ}\text{C}, t_N=2 \text{ min, hlađenje na zraku})$
 Nagrizanje: 3% nital Povećanje: 100 : 1



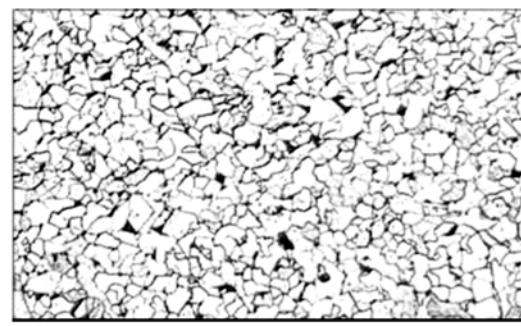
Slika 5: **Uzorak 7** ⇒ Veličina zrna A6
 $(\theta_N=900^{\circ}\text{C}, t_N=167 \text{ min, hlađenje u peći})$
 Nagrizanje: 3% nital Povećanje: 100 : 1



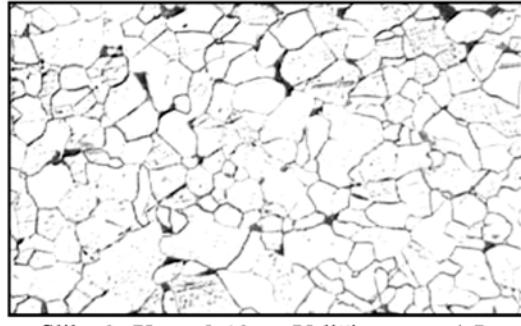
Slika 6: **Uzorak 10** ⇒ Veličina zrna A7
 $(\theta_N=900^{\circ}\text{C}, t_N=167 \text{ min, hlađenje na zraku})$
 Nagrizanje: 3% nital Povećanje: 100 : 1



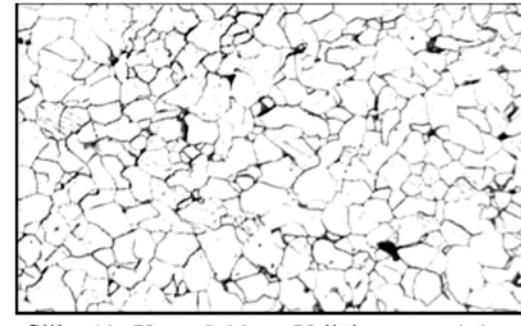
Slika 7: **Uzorak 13** ⇒ Veličina zrna A6
 $(\theta_N=1050^{\circ}\text{C}, t_N=2 \text{ min, hlađenje u peći})$
 Nagrizanje: 3% nital Povećanje: 100 : 1



Slika 8: **Uzorak 16** ⇒ Veličina zrna A7
 $(\theta_N=1050^{\circ}\text{C}, t_N=2 \text{ min, hlađenje na zraku})$
 Nagrizanje: 3% nital Povećanje: 100 : 1



Slika 9: **Uzorak 19** ⇒ Veličina zrna A5
 $(\theta_N=1050^{\circ}\text{C}, t_N=167 \text{ min, hlađenje u peći})$



Slika 10: **Uzorak 22** ⇒ Veličina zrna A6
 $(\theta_N=1050^{\circ}\text{C}, t_N=167 \text{ min, hlađenje na zraku})$

2.1. Metalografska ispitivanja

Metalografska ispitivanja provedena su u svrhu utvrđivanja nastalih promjene u strukturi podeutektoidnog čelika. Određivanje veličine zrna i snimanje mikrostrukture provedena je na optičkom mikroskopu pri povećanju od 100:1. Postupak određivanja veličine zrna po ASTM-u provodi se tako da se uzorak promatra pri mikroskopskom povećanju 100:1 i uspoređuje s nizom referentnih mikrostruktturnih slika. Slike prikazuju različite veličine zrna i nose brojeve od 1 do 8. Nakon usporedivanja s referentnim mikrostruktturnim slikama uzorku se dodjeljuje slovna oznaka "A" i brojčana oznaka usporedne slike koja se poklapa sa uzorkom. Za vrlo odgovorne dijelove veličina primarnog austenitnog zrna iznosi A5-A8. Na slikama od 3. do 10. prikazane su metalografske snimke normaliziranih uzoraka prema planu pokusa s pripadajućim veličinama zrna određenim prema ASTM E112 metodi.

Vrijednosti ASTM veličina zrna određenih metodom ASTM E112 za pojedine ispitne uzorke prikazani su u tablici 4. Tablica je prilagodena potrebi analize faktorskog pokusa tipa 2³. Definirani su faktori (A - temperatura normalizacije, B - trajanje normalizacije i C - tip hlađenja) i njihovi nivoi.

Tablica 4. Vrijednosti ASTM veličina zrna

Veličina zrna određena po ASTM metodi	C ₁ hlađenje u peći		C ₂ hlađenje na zraku	
	B ₁ $t_a=2$ min	B ₂ $t_a=167$ min	B ₁ $t_a=2$ min	B ₂ $t_a=167$ min
$\vartheta_a=900^{\circ}\text{C}$	(1)	(b)	(c)	(bc)
	7	6	8	7
	7	6	8	7
$\vartheta_a=1050^{\circ}\text{C}$	7	6	8	7,5
	(a)	(ab)	(ac)	(abc)
	6	5	7	6
	6	5,5	7	6
	6	5	7	6

2.2. Analiza dobivenih rezultata

Kod ovog eksperimenta, koji je postavljen kao faktorski plan pokusa 2³, analiza se provodi u dva koraka [5] :

- 1) analiza efekata i
- 2) analiza varijance.

a) Analiza efekata

Analizom efekata određuju se prosječni efekt tj. prosječno djelovanje ili doprinos promjene faktora kada se mijenja sa prvog na drugi nivo. U tablici 5. prikazani su rezultati analize efekata.

Promatrajući dobivene rezultate analize efekata zapaža se sljedeće:

- Faktor A (temperatura normalizacije) i faktor B (trajanje normalizacije) smanjuju vrijednost ASTM broja za 1 tj. uvjetuju rast zrna (što je manji broj to je zrno krupnije).
- Faktori C (vrsta hlađenja) povisuje vrijednost ASTM broja za 1 ako se hlađe na zraku, a ne u peći, tj. uvjetuju usitnjenje zrna.

- Interakcija faktora AB, AC, BC i ABC pokazuju vrlo malen utjecaj jer su im iznosi prosječnih efekata zanemarivo maleni (-0,08) ili ih ni nema.

Tablica 5. Rezultati analize efekata

Oznaka efekta	(1)	a	b	ab	c	ac	bc	abc	Suma	Divizor	Prosječni efekt
A	-	+	-	+	-	+	-	+	-12	12	-1
B	-	-	+	+	-	-	+	+	-11	12	-0,92
AB	+	-	-	+	+	-	-	+	0	12	0
C	-	-	-	-	+	+	+	+	12	12	1
AC	+	-	+	-	-	+	-	+	-1	12	-0,08
BC	+	+	-	-	-	-	+	+	0	12	0
ABC	-	+	+	-	+	-	-	+	-1	12	-0,08
M	+	+	+	+	+	+	+	+	157	24	6,54

b) Analiza varijance

Analizom varijance ispitana je značajnosti dobivenih efekata koje se mogu pripisati promjeni stanja pokusa u odnosu na ponavljanje i grešku pokusa. Matematička obrada rezultata mjerjenja veličine zrna izvršena je pomoću programskog paketa Statistica, a u tablici 6. dani su rezultati analize.

Tablica 6. Analiza varijanci

Oznaka efekta	Suma kvadrata odstupanja	Stupnjevi slobode	Srednji kvadrat odstupanja	v_0	c za V = 95%
A	6	1	6	288	4,49
B	5,04	1	5,04	242	4,49
AB	0	1	0	0	
C	6	1	6	288	4,49
AC	0,04	1	0,04	2	
BC	0	1	0	0	
ABC	0,04	1	0,04	2	
greške odstup.	0,33	16	0,02		
Ukupno	17,46	23			

Uspoređujući dobivene vrijednost kvocijenta varijance v_0 (uz vjerojatnost od 95 %) s vrijednostima c vidljivo je da faktor A (temperatura normalizacije), B (trajanje normalizacije) i faktor C (vrsta hlađenja) zadovoljavaju kriterij $v_0 > c$. Iz ovoga proizlazi da promatrani faktori imaju značajan utjecaj na rast zrna. Interaktivno djelovanje faktora A, B i C ne zadovoljava kriterij $v_0 > c$ i iz ovoga proizlazi da međudjelovanje ovih faktora nema utjecaj na rast zrna.

3. ZAKLJUČAK

Na osnovi provedenih laboratorijskih ispitivanja istražen je utjecaj temperature, trajanja i vrste hlađenja pri normalizacijskom žarenju na promjenu veličine zrna podeutektoidnog čelika St 37-3.

Kao model eksperimenta proveden je faktorski plan pokusa 2^3 . Kod ovog faktorskog eksperimenta istovremeno su varirana tri faktora (temperatura, trajanje i vrsta hlađenja) na dva nivoa s ciljem utvrđivanja utjecaja promjena nivoa faktora na rast zrna. Rezultata eksperimenta analizirani su preko analize efekata i analiza varijance.

Analiza efekata pokazala je značajan utjecaj temperature, trajanja i vrste hlađenja pri normalizacijskom žarenju na promjenu veličine zrna. Interaktivno djelovanje promatranih parametara normalizacijskog žarenja pokazuju vrlo malen utjecaj.

Analiza varijance pokazala je da utjecaj interakcije promatranih parametara normalizacijskog žarenja nije u području značajnih promjena efekata i može se pripisati pogreški mjerjenja.

U ovom radu eksperimentalno je dokazano da na rast zrna ima najveći utjecaj povišenje temperatura i produženje trajanja austenitizacije pri normalizacijskom žarenju. Povećanje brzine hlađenja (vodeći računa da se ne izazove nastanak martenzita) ima za posljedicu smanjenje veličine zrna. Najsitnije zrno se dobije normalizacijskim žarenjem na temperaturi što bližoj temperaturi Ac_3 i sa što kraćim držanjem, te hlađenjem na zraku.

4. LITERATURA

- [1] Hrvnjak, I., "Zavarljivost čelika", IRO "Građevinska knjiga", Beograd, 1982.
- [2] Novosel, M. i dr., "Inženjerski priručnik 4, Proizvodno strojarstvo, prvi svezak, Materijali", Školska knjiga, Zagreb, 1998.
- [3] Krumes, D., "Toplinska obradba", Strojarski fakultet Slavonski Brod, Slavonski Brod, 2000.
- [4] Šuman, H., "Metalografija", Tehnološko – Metalurški fakultet, Beograd, 1981.
- [5] Pantelić, I., "Uvod u teoriju inženjerskog eksperimenta", Radnički univerzitet, Novi Sad, 1976.