

UTJECAJ FERITIZIRAJUĆEG ŽARENJA NA MEHANIČKA SVOJSTVA NODULARNOG LIVA

INFLUENCE OF FERRITIZING ANNEALING ON MECHANICAL PROPERTIES OF DUCTILE IRON

Doc. dr. Almaida Gigović-Gekić, Emana Đananović, dipl. inž., prof. dr. sc. Hasan
Avdušinović
Univerzitet u Zenici, Fakultet za metalurgiju i materijale
Travnička cesta 1, 72 000 Zenica, BiH

Ključne riječi: nodularni liv, feritizirajuće žarenje, mehanička svojstva, mikrostruktura

REZIME

Nodularni liv je pseudobinarna legura željeza i ugljika kod koje je ugljik izlučen u obliku nodula (kuglastog) grafita. Zahvaljujući specifičnom obliku grafita, nodularni liv, ima dobru kombinaciju svojstava kao što su: izduženje, granica tečenja, dobra žilavost, livkost i mašinska obradivost. Na mehanička svojstva nodularnog liva pored grafita najveći utjecaj imaju mikrostrukturne komponente: ferit, perlit, austenit, martenzit ili kombinacije navedenih mikrostrukture. U radu su prikazani rezultati ispitivanja utjecaja termičke obrade tj. postupka feritizirajućeg žarenja na mikrostrukturu a samim tim i na mehanička svojstva nodularnog liva.

Keywords: ductile iron, ferritizing annealing, mechanical properties, microstructure

RESUME

Ductile iron is a pseudo-binary alloy of iron and carbon where the carbon is precipitated in the form of nodules (spherical) graphite. The ductile iron, thanks to the specific form of graphite, has a good combination of properties such as elongation, yield strength, good toughness, castability and mechanical workability. Except of graphite, the microstructural components: ferrite, pearlite, austenite, martensite or a combination of those microstructures have the greatest influence on the mechanical properties of ductile iron. The paper describes influence of the heat treatment that is ferritizing annealing on the microstructure and the mechanical properties of ductile iron.

1. UVOD

Nodularni liv je legura željeza koja pripada familiji željeznih livova s grafitom, kod kojeg je ugljik izlučen u obliku nodula (kuglastog) grafita. Hemijski sastav nodularnog liva ima približno eutektički sastav. U odnosu na ostale vrste željeznih livova hemijski sastav nodularnog liva razlikuje se po prisutnosti elemenata koji utječu na formiranje nodularnog grafita, kao što su: Mg, Ce i drugi [1]. Na mehanička svojstva nodularnog liva pored grafita najveći utjecaj imaju mikrostrukturne komponente: ferit, perlit, austenit, martenzit ili kombinacije navedenih mikrostrukture. Zbog specifičnog oblika grafita, nodularni liv, ima

povoljnu kombinaciju svojstava kao što su: izduženje, granica tečenja, dobra žilavost, livkost i mašinska obradivost. Mikrostruktura nodularnog liva sastoji se od grafitnih nodula u feritno-perlitnom matriksu. U većini slučajeva grafitne nodule okružene su feritom, a ostatak metalnog matriksa je perlit. Udio ferita, odnosno perlita u metalnom matriksu nodularnog liva zavisi od hemijskog sastava, brzine hlađenja kroz područje eutektoidne transformacije te volumnog udjela i broja grafitnih nodula.

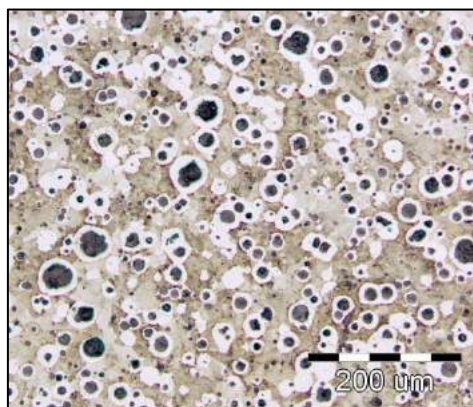
Termičkim postupkom žarenje moguće je dobiti odlivak nodularnog liva s visokom duktilnošću i žilavošću, smanjenom čvrstoćom, tvrdoćom i poboljšanom mašinskom obradivošću. U zavisnosti da li se želi postići razlaganje karbida ili feritna mikrostruktura razlikuje se potpuno i feritizirajuće (potkritično) žarenje [2,3]. Cilj istraživanja čiji rezultati su prikazani u ovom radu je bio da se ispita utjecaj termičke obrade tj. postupka feritizirajućeg žarenja na mikrostrukturu nodularnog liva, a samim tim i na mehanička svojstva [4].

2. EKSPERIMENTALNI DIO

Da bi se ispitaio utjecaj feritizirajućeg žarenja na mikrostrukturu nodularnog liva bilo je potrebno definisati tehnologiju žarenja koja bi polaznu feritno-perlitu mikrostrukturu transformisala u feritnu. Kao polazni materijal za ispitivanje koristio se nodularni liv EN-GJS-600. Hemijski sastav polaznog materijala dat je u tabeli 1a izgled mikrostrukture predstavljen je na slici 1.

Tabela 1. Hemijski sastav nodularnog liva EN-GJS-600

Hemijski sastav, [mas. %]								
C	Si	Mn	P (max)	S (max)	Cr	Mg	Ni	Cu
3,34	2,55	0,73	0,015	0,012	0,053	0,03	0,027	0,6



Nital

100x

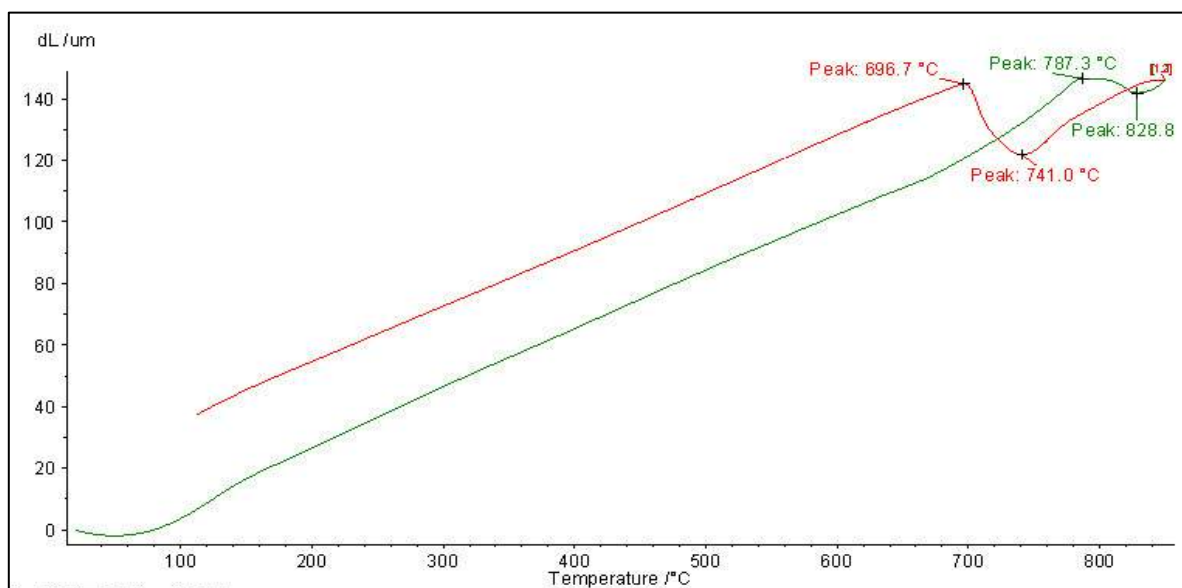
Slika 1. Mikrostruktura nodularnog liva prije termičke obrade

Kao osnov za definisanje tehnologije termičkog tretmana koristila se dilatometrijska analiza da bi se odredilo temperaturno područje odvijanja faznih transformacija polaznog materijala. Nakon provedene dilatometrijske analize uzorci polaznog materijala su termički tretirani. Na termički tretiranim uzorcima provedena su metalografska ispitivanja i ispitivanje mehaničkih svojstava (ispitivanje zatezanjem, utrošene energije udara i tvrdoće).

3. REZULTATI I ANALIZA

3.1. Dilatometrijska analiza

Dilatometrijska analiza urađena je na dilatometru tipa DIL 402/C/7 – proizvođača Netzsch. Fazne transformacije u zavisnosti od temperature prate se na osnovu promjene dužine štapa (dL) tj. cilindričnog uzorka u odnosu na temperaturu (T). Dužina ispitivanog uzorka je 25 mm, a prečnik 5 mm. Ispitivanje je izvedeno u statičkoj zaštitnoj atmosferi dušika, da bi se izbjegla reakcija ispitivanog materijala i zraka na povišenim temperaturama. Uzorak je zagrijavan na temperaturu 850°C, brzinom 5 K/min i hlađen do sobne temperature, tj. do 20°C brzinom 5 K/min. Na slici 2. dat je prikaz dilatometrijskih krivih zagrijavanja i hlađenja ispitivanog uzorka. U tabeli 2. dat je opis transformacije i vrijednost temperature za odgovarajuće tačke pri zagrijavanju, odnosno hlađenju uzorka.



Slika 2. Dilatometrijske krive zagrijavanja i hlađenja uzorka

Tabela 2. Položaj tačaka transformacije u odnosu na temperaturu

Oznaka	Opis transformacije	Promjene u mikrostrukturi	Temperatura, [°C]
Ac ₁	Ferit+Perlit → Ferit+Austenit	Pojava austenitne faze	787,3
Ac ₃	Ferit+Austenit → Austenit	Završetak transformacije u austenit	828,8
Ar ₃	Austenit → Ferit	Početak transformacije austenita	741,0
Ar ₁	Austenit+Ferit → Ferit+Perlit	Završetak transformacije u ferit i perlit	696,7

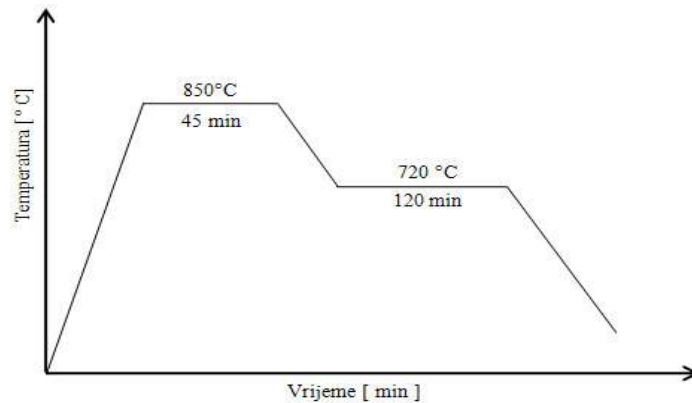
3.2. Tehnologija termičkog tretmana

Na osnovu podataka dobijenih sa slike 2. i tabele 2. može se reći da je, pri hlađenju, područje transformacije austenitne mikrostrukture u feritnu u temperaturnom intervalu od 741,0 do 696,7°C, kao i da je temperatura austenitizacije (završetka formiranja austenita) 828,8°C.

Vrijeme držanja uzoraka na temperaturi austenitizacije određeno je iz literature tj. 1 h za svakih 25,4 mm poprečnog presjeka (debljine stijenke).

U odnosu na navedeno kao i dimenzije tretiranih uzoraka usvojena je tehnologija termičke obrade (feritizirajuće žarenje) kako slijedi, slika 3:

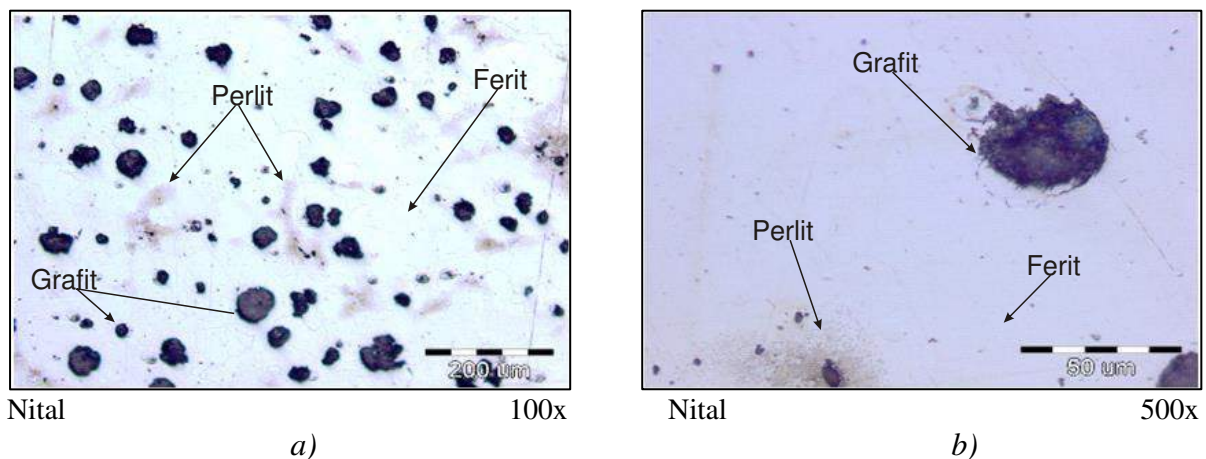
- Zagrijavanje na temperaturu 850°C
- Držanje 45 minuta na 850°C
- Hlađenje do temperature 720°C
- Držanje 2 sata na 720°C
- Hlađenje u peći do sobne temperature.



Slika 3. Šematski prikaz postupka feritizirajućeg žarenja

3.3. Metalografska analiza

Nakon provedene termičke obrade na uzorcima, urađena je metalografska analiza uzoraka na optičkom mikroskopu Olympus sa maksimalnim povećanjem 1000x. Izgled mikrostrukture uzoraka nakon provedenog termičkog tretmana prikazan je na slici 4.



Slika 4. Mikrostruktura nodularnog liva poslije termičke obrade : a) povećanje 100x i b) povećanje 500x

Analiza mikrostrukture je pokazala da je u polaznim uzorcima nodularnog liva prisutna feritno – perlitna mikrostruktura. Kod uzoraka, koji su tretirani feritizirajućim žarenjem, prisutna je feritna mikrostruktura sa veoma malim udjelom perlita koji je zanemariv. Prisustvo manje količine zaostalog perlita nakon postupka termičke obrade vjerovatno je

rezultat povišenog sadržaja perlitizirajućih elemenata u uzorcima (povišen sadržaj mangana i bakra u materijalu).

3.4 Ispitivanje mehaničkih svojstava

U okviru mehaničkih ispitivanja izvršena su ispitivanja zatezanjem, ispitivanje utrošene energije udara i ispitivanje tvrdoće. Epruvete su ispitivane u polaznom stanju i nakon termičke obrade na sobnoj temperaturi. Rezultati ispitivanja zatezanjem prikazani su u tabeli 3. Epruvete za ispitivanje zatezanjem urađene su prema standardu BAS EN ISO 6892 - 1:2011 [5].

Tabela 3. Rezultati ispitivanja zatezanjem

Uzorak	Polazno stanje				Termički tretirano stanje			
	$R_{p0,2}$ [N/mm ²]	R_m [N/mm ²]	A [%]	Z [%]	$R_{p0,2}$ [N/mm ²]	R_m [N/mm ²]	A [%]	Z [%]
1.	377	640	9,1	9	-*	-	-	-
2.	372	629	5,4	11	308	466	21,5	21
3.	353	581	-	11	308	459	18,5	23

*Epruveta pukla prije izražene granice tečenja

Ispitivanje utrošene energije udara urađeno je na epruvetama izrađenim prema prema standardu BAS EN 10045-1/1998 [6] na sobnoj temperaturi sa nazivnom energijom klatna od 150 J. Rezultati ispitivanja dati su u tabeli 4.

Tabela 4. Vrijednosti ispitivanja utrošene energije udara

Uzorak	Polazno stanje		Termički tretirano stanje	
	Utrošena energija KV 150 J		Utrošena energija KV 150 J	
	Pojedinačno	Prosjek	Pojedinačno	Prosjek
1	3,4	2,9	11,8	12,1
2	3,1		14,7	
3	2,3		9,8	

Tvrdoća je ispitana prema metodi Brinell-a (HBW) u skladu sa standardom BAS EN ISO 6506-1:2007 [7], tabela 5. Za ispitivanje tvrdoće korišteni su uzorci iz epruvete za ispitivanje utrošene energije udara.

Tabela 5. Rezultati ispitivanja tvrdoće

Rezultati ispitivanja (HBW 2,5/187,5)			
Polazno stanje		Termički tretirano stanje	
Pojedinačne vrijednosti	Prosjek	Pojedinačne vrijednosti	Prosjek
229	226,6	166	166
224		166	
227		167	
229		167	
224		166	

U poređenju sa polaznim stanjem kod uzoraka koji su termički tretirani može se uočiti očekivani pad vrijednosti čvrstoćnih svojstava uslijed preovladavajuće feritne mikrostrukture metalnog matriksa. Nakon termičkog tretmana prosječna vrijednost zatezne čvrstoće i konvencionalnog napona tečenja je 462,5 MPa i 308 MPa respektivno, u odnosu na polazno stanje gdje su te vrijednosti u prosjeku bile 616 MPa i 367 MPa. Duktilna svojstva su se znatno poboljšala pa je vrijednost suženja nakon termičkog tretmana 22% a izduženja 20%. Dakle, vrijednost suženja se povećala 100 % a izduženja oko 170%. Vrijednost utrošene energije udara se povećala na 12,1 J tj. oko četiri puta, a tvrdoća smanjila na 166 HBW tj. za oko 26%.

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu analize dobijenih rezultata može se zaključiti da primjenom definisane tehnologije termičke obrade može se dobiti feritna mikrostruktura koja će imati povoljan utjecaj na mehanička svojstva nodularnog liva. Novonastala mikrostruktura je posebno imala utjecaja na poboljšanje duktilnih svojstava. Vrijednost suženja se povećala 100 % a izduženja oko 170% dok se vrijednost utrošene energije udara povećala oko četiri puta. Vrijednosti čvrstoćnih svojstava su se smanjile za oko 20%.

U mikrostrukturi je primjećeno neznatno prisustvo perlita pa se preporučuje da bi trebalo produžiti vrijeme držanja na temperaturi feritizirajućeg žarenja a u skladu sa literaturnim podacima.

5. LITERATURA

- [1] Ostojić M., Beroš A.: Nodularni liv, Fakultet za metalurgiju i materijale, Univerzitet u Zenici, Zenica, 2008.,
- [2] Glavaš Z., Unkić F.: Lijevanje željeznih metala, Metalurški fakultet, Sisak, 2008.,
- [3] Heat Treater's Guide: Practices and Procedures for Irons and Steels, edited by Harry Chandler, ASM International, 1995.,
- [4] Grupa autora, Ljevački priručnik, Zagreb, 1985.,
- [5] BAS EN ISO 6892 - 1:2011.,
- [6] BAS EN 10045-1/1998.,
- [7] BAS EN ISO 6506-1:2007.