

PROIZVODNJA NODULARNOG LIVA VISOKE VRIJEDNOSTI ZATEZNE ČVRSTOĆE PRIMJENOM ADEKVATNOG REŽIMA TERMIČKE OBRADU

HIGH STRENGTH DUCTILE IRON PRODUCTION BY THE SELECTED HEAT TREATMENT PROCESS

Prof. dr. sc. Hasan Avdušinović, doc. dr. sc. Almajda Gigović-Gekić
Univerzitet u Zenici, Fakultet za metalurgiju i materijale,
Zenica, BiH

Ključne riječi: austemperovanje, nodularni liv, termička obrada, mehanička svojstva

REZIME

Austemperovanje je dvostepeni režim termičke obrade, koji kada se primijeni na nodularni liv daje finalni proizvod boljih mehaničkih svojstava u poređenju sa primjenom konvencionalnih postupaka termičke obrade. Finalna svojstva tretiranih odlivaka zavise od odabranih vrijednosti parametara termičke obrade. U ovom radu su prezentovana istraživanja koja su za cilj imala dobijanje nodularnog liva visoke vrijednosti zatezne čvrstoće primjenom adekvatnog režima termičke obrade.

Keywords: austempering, ductile iron, heat treatment, mechanical properties

ABSTRACT

Austempering is two steps heat treatment process that, when applied to ductile iron, produces components that have properties superior to those processed by conventional treatment. Depending to chosen heat treatment parameters different final properties of the casting are obtained. In this paper heat treatment parameters for production of an extra high strength austempered ductile iron are investigated.

1. UVOD

Osnovni kriteriji za selekciju materijala i njegovu primjenu u određenim uslovima eksploatacije su njihova svojstva i cijena koštanja. Potreba za ugradnjom i primjenom materijala boljih svojstava paralelno je praćena i istraživanjima na polju proizvodnje i ispitivanja ponašanja materijala u toku eksploatacije. Željezni livovi su klasa materijala koja ima najdužu tradiciju primjene u svim sferama ljudskog života. Najčešći nedostatak ove klase materijala je niska vrijednost mehaničkih svojstava u poređenju sa različitim vrstama čelika. Međutim, cijena koštanja proizvodnje željeznih livova je znatno niža u odnosu na proizvodnju čelika što je jedan od osnovnih motiva za kontinuirana istraživanja na polju poboljšanja mehaničkih svojstava ove vrste materijala. Nodularni liv spada u klasu željeznih

livova koji se danas često koristi kao zamjena za čelični liv gdje god je to moguće. Istraživanje sa ciljem poboljšanja mehaničkih svojstava nodularnog liva najčešće ide u dva pravca da se primjenjuje postupak legiranja ili postupak termičke obrade odnosno kombinacija legiranja i termičke obrade. U ovom radu su prikazani rezultati istraživanja na polju poboljšanja zatezne čvrstoće (R_m) uzoraka od nodularnog liva primjenom adekvatnog režima termičke obrade, [1,2].

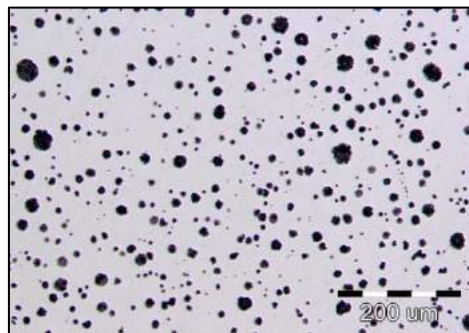
2. KORIŠTENI MATERIJAL I EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA

Osnovna ideja istraživanja je veoma jednostavna i zasniva se na tome da se uzorci od običnog (nelegiranog) nodularnog liva termički tretiraju s ciljem poboljšanja vrijednosti zatezne čvrstoće, odnosno sagleda mogućnost dobijanja materijala koji će imati vrijednosti zatezne čvrstoće karakteristične za čelike, tj. reda veličine iznad 1000 MPa.

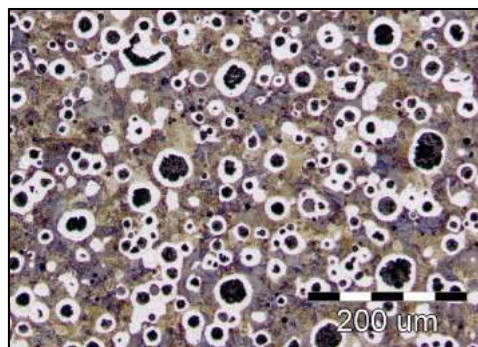
Kao polazni materijal je korišten nodularni liv klase EN-GJS-600 (Standard BAS EN 1563:1997), [5]. Hemijski sastav korištenih uzoraka i mikrostruktura su dati u tabeli 1. odnosno na slikama 1. i 2.

Tabela 1. Hemijski sastav ispitivanih uzoraka

Hemijski sastav/CE	C	Si	Mn	S	P	Mg	CE
mas, %	3,48	2,1	0,4	0,012	0,027	0,045	4,18



Slika 1. Mikrostruktura uzoraka (nenagriženo polazno stanje)



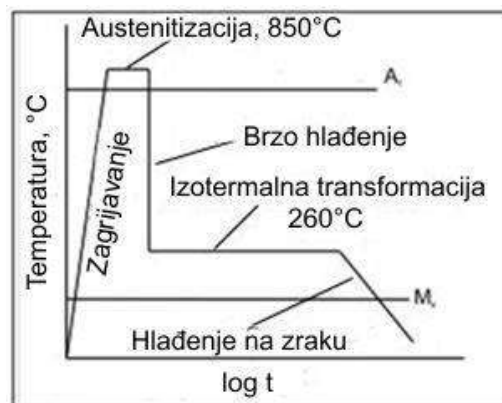
Slika 2. Mikrostruktura uzoraka (nagriženo polazno stanje-3% Nital)

Za ispitivanje zatezne čvrstoće su korištene epruvete prema standardu BAS EN 10054-1/98 izrezane iz odlivenih uzoraka, [6]. Agregati korišteni za termičku obradu su elektrootporna zagrijevna peć snage 6 kW bez zaštitne atmosfere i sona kupka na bazi KNO_3 volumena 20 l.

Termički tretman dvostepenog izotermalnog poboljšanja sastojao se od 5 koraka [3,4]:

- Zagrijavanje do temperature austenitizacije (850°C),
- Držanje na temperaturi austenitizacije (45 min),
- Brzo hlađenje do temperature izotermalnog poboljšanja (260°C)
- Držanje u soli na temperaturi izotermalnog poboljšanja (60 min),
- Hlađenje na zraku do sobne temperature.

Dijagram termičkog tretmana prikazan je na slici 3.



Slika 3. Dijagram termičkog tretmana

Termički tretman je proveden na tri uzorka s ciljem provjere dobijenih rezultata.

3. ANALIZA REZULTATA I DISKUSIJA

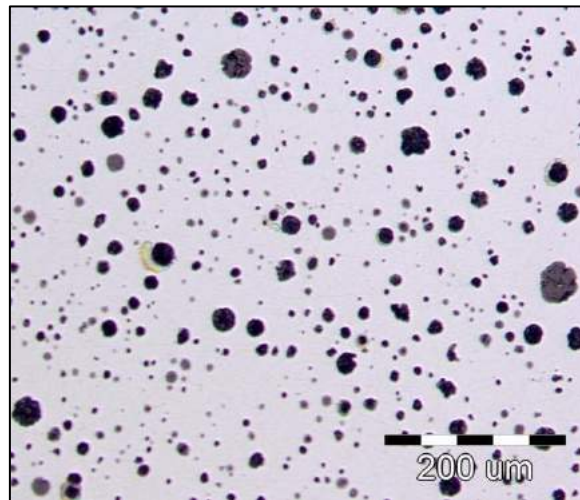
Nakon termičkog tretmana uzoraka izvršena su ispitivanja zatezne čvrstoće i analiza mikrostrukture metalnog matriksa tretiranih uzoraka. Ispitivanja zatezne čvrstoće su vršena na univerzalnoj kralnici „Loshenhausenwerk MSU-FD-5000“. Rezultati ispitivanja zatezne čvrstoće polaznog stanja i nakon termičkog tretmana dati su u tabeli 2.

Tabela 2. Zatezna čvrstoća ispitivanog materijala

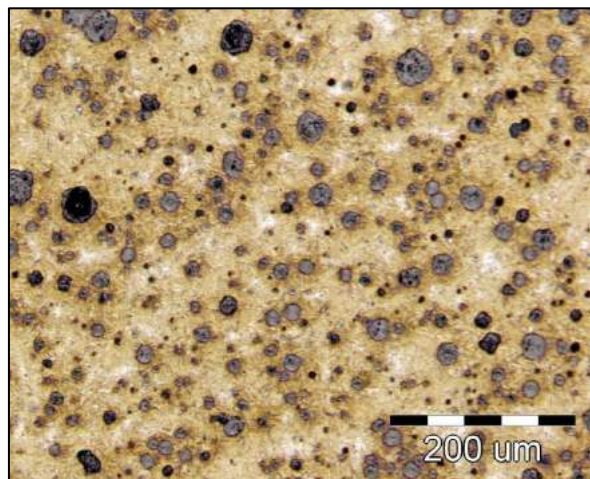
Stanje materijala	Zatezna čvrstoća, R_m , MPa	Srednja vrijednost R_m , MPa
Polazno stanje	650	677
	708	
	672	
Nakon termičkog tretmana	1361	1366
	1368	
	1370	

Metalografska ispitivanja mikrostrukturnih karakteristika metalnog matriksa izvršena su na optičkom mikroskopu Olympus sa povećanjem do 1000x.

Izgled mikrostrukture tretiranih uzoraka prikazan je na slikama 4. i 5.



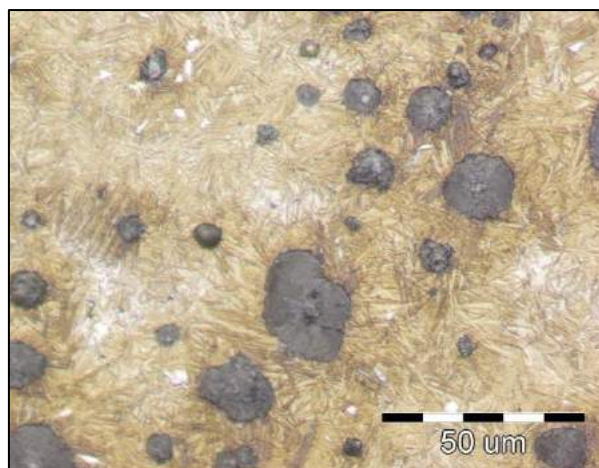
Slika 4. Mikrostruktura uzoraka nakon termičkog tretmana, nenagriženo



Slika 5. Mikrostruktura uzoraka nakon termičkog tretmana, nagriženo-3%Nital, 100x

Poredeći vrijednosti zatezne čvrstoće polaznog materijala i vrijednosti dobijene ispitivanjem termički tretiranog materijala uočeno je da je zatezna čvrstoća porasla sa vrijednosti 677 MPa na 1366 MPa, što je porast od 100%.

Mikrostruktura polaznog materijala predstavljena na slikama 1 i 2 pokazuje da se radi o perlitno-feritnom nodularnom livu zadovoljavajuće nodularnosti. Analizom mikrostrukture tretiranih uzoraka (slike 4. i 5.) vidi se da je došlo do transformacije polaznog perlitno-feritnog metalnog matriksa u ausferitnu mikrostrukturu. Posmatranjem mikrostrukture pri većim povećanjima vidi se da je karakteristika ausferitne mikrostrukture sitni igličasti ferit izdvojen u zaostalom austenitu, slika 6.



Slika 6. Mikrostruktura uzoraka nakon termičkog tretmana, nagriženo-3%Nital, 500x

Pošto je temperatura druge faze termičke obrade (izotermalno poboljšanje na 260°C) na donjoj granici temperaturnog intervala koji se u literaturi preporučuje za ovaj vid termičke obrade nastala feritna faza je veoma sitna što daje uzorcima visoke vrijednosti zatezne čvrstoće. Dobijeni materijal nakon provedene termičke obrade, prema vrijednostima svojstava, može se klasificirati prema ASTM¹ standardima kao ASTM-klasa 3 (zatezna čvrstoća između 1200 MPa i 1400MPa) ili prema evropskim normama EN-GJS-1200-2.

4. ZAKLJUČCI

Analizom dobijenih rezultata nakon ispitivanja termički tretiranih uzoraka i njihovim poređenjem sa vrijednostima svojstava polaznog stanja materijala može se zaključiti sljedeće:

- Polazno stanje materijala ima zadovoljavajući stepen nodularnosti što je preduslov za primjenu termičkog tretmana izotermalnog poboljšanja s ciljem postizanja viših vrijednosti zatezne čvrstoće materijala.
- Primijenjena tehnologija termičke obrade je odgovarajuća što je potvrđeno dobijenim rezultatima ispitivanja.
- Porast vrijednosti zatezne čvrstoće nakon termičkog tretmana je znatno izražen i iznosi oko 100%.
- Termički tretirani materijal ima vrijednosti zatezne čvrstoće čije vrijednosti odgovaraju postavljenom cilju eksperimentalnih istraživanja.
- Novonastala ausferitna mikrostruktura je uniformna po cijelom presjeku i sastoji se od sitnog igličastog ferita i zaostalog austenita što daje materijalu izvanredne vrijednosti zatezne čvrstoće.

¹ Klasifikacija je navedena prema ASTM standardu zato što je on najzastupljeniji u svjetskoj literaturi kada se govori o ovoj klasi materijala

5. LITERATURA

- [1] Keough J. R., Hayrynen K. L., Pioszak G. L.: Designing with Austempered Ductile Iron, AFS Proceedings, American Foundry Society, Schaumburg IL, USA, 2010.,
- [2] Ostojić M., Beroš A.: Nodularni liv, Fakultet za metalurgiju i materijale, Zenica, 2008.,
- [3] Heat Treater's Guide: Practices and Procedures for Irons and Steels, edited by Harry Chandler, ASM International, 1995.,
- [4] Avdušinović H., Gigović A.: Heat Treatment of Nodular Cast Iron, TMT Proceedings, Hammamet Tunisia, p. 669-672, 2009.,
- [5] BAS EN 1563:1997,
- [6] BAS EN 10054-1/98.