

<https://doi.org/10.24867/JPE-1990-07-091>

ORIGINALNI NAUČNI RAD

L. Šidjanin, K. Gerić, V. Bajić, D. Kakaš*

ŽILAVOST LOMA K_{IC} IZOTERMNO POBOLJŠANOG
NODULARNOG LIVA

FRACTURE TOUGHNESS K_{IC} OF AUSTEMPERED
DUCTILE IRON

Summary

Austempered Ductile Iron is regarded to be new class of metallic material which makes him competitive and an alternative to forged components. This material has been used for last five years extensively.

The Institute for production engineering within Yugoslav Committee of Technical Sciences project has been included in an investigation of austempered ductile iron, as there is still necessity for better understanding of this new material and needs for getting parameters for successful application in mechanical engineering field. In this paper either conventional mechanical properties or fracture toughness K_{IC} for as-cast nodular iron grade NL40 with ferritic matrix microstructure and austempered ductile iron with low bainit and retained austenite, have been determined. Heat treatment to produce austempered bainitic matrix microstructure was carried out at 300°C. Single-edge notched specimen were produced in each iron and were fatigue precracked prior to fracture toughness testing. The testing and analytical procedures laid down in the relevant ASTM and British Standards. The samples tested with bainitic matrix gave valid K_{IC} , when the results obtained for ferritic samples were not.

High yield and tensile strength with satisfactory Charpy impact fractures and fracture toughness value K_{IC} of tested austempered bainitic iron seem to be promising material for construction parts in industry.

*Dr Laposava Šidjanin, vanr.prof.; Mr Katarina Gerić, asistent, Mr Vladimir Bajić, asistent; Dr Damir Kakaš, vanr.prof. Fakulteta tehničkih nauka, Univerziteta u Novom Sadu, 21000 Novi Sad, V. Vlahovića 3.

Rezime

Na uzorcima nodularnog liva klase NL40 sa feritnom metalnom osnovom i uzorcima termički izotermno poboljšanim sa mikrostrukturom osnove donji beinit i zadržani austenit, određivane su konvencionalne mehaničke osobine i žilavost loma K_{IC} . Izotermnim poboljšavanjem na $300^{\circ}C$ postignute su veoma visoke mehaničke osobine. Pored visoke granice tečenja, zatezne čvrstoće i tvrdoće, dobijene su i zadovoljavajući rezultati kako za udarnu žilavost tako i za žilavost loma K_{IC} .

Dobijeni rezultati omogućuju da se ovaj novi materijal uspešnije primenjuje u savremenoj metalnoj industriji za izradu konstruktivnih elemenata.

1. UVOD

Izotermno poboljšani nodularni liv predstavlja novu generaciju metalnih materijala, koji se u svetu u zadnjih pet godina sve više primenjuje u mašingradnji za zamenu čeličnih otkovaka /1/.

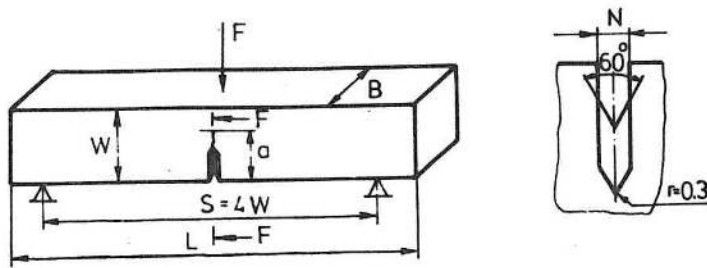
U okviru Jugoslovenskog podsticajnog projekta Institut za proizvodno mašinstvo je uspešno uključen u opsežnom istraživanju izotermno poboljšanog nodularnog liva. Jedan deo rezultata tih istraživanja su već saopšteni /2/.

Cilj ovog rada je da se odrede mehaničke osobine i žilavost loma K_{IC} kod izotermno poboljšanog nodularnog liva sa polaznom feritnom osnovom i da se da doprinos izučavanju ovog novog materijala za koji još uvek nema podataka neophodnih za njegovu uspešnu primenu u mašinstvu.

2. EKSPERIMENTALNI RAD

Topljenje i livenje Y proba 25 mm (JUS.C.J2.022) /3/ od feritnog nodularnog liva je izvedeno u Metalnim Zavodima Tito - Skopje. Iz Y proba isečene su standardne epruvete za ispitivanje zatezanjem i Šarpijeve epruvete sa zarezom V za ispitivanje udarne žilavosti. Ispitivane su epruvete u sirovom i termički obradjenom stanju.

Za određivanje žilavosti loma K_{IC} korišćene su epruvete za savijanje u tri tačke prema britanskom standardu BS5447 /4/ (slika 1.). Epruvete su takodje isečene iz Y proba a ispitivanje je vršeno kako na uzorku nodularnog liva u sirovom, tako i na uzorku nodularnog liva u termički obradjenom stanju. Dimenzije epruvete su: $W=25$ mm, $B=50$ mm, $S=200$ mm i $L=210$ mm.



Slika 1. Epruveta za određivanje K_{IC} savijanjem
Fig. 1. TPB specimen

Kod epruveta je korišćen strelasti zarez, a konačna dužina zamorne prsline je dobijena standardnim postupkom na visoko frekventnom pulzatoru.

Za mehanička ispitivanja je korišćena Instron elektronska kitalica sa opsegom 20 KN, a za eksperimentalno određivanje faktora intenziteta napona K_Q primenjena je jednačina iz britanskog standarda /4/.

Termička obrada epruveta od feritnog nodularnog liva je uradjena na Fakultetu za strojarstvo i brodogradnju u Zagrebu. Austenitizacija je vršena na 900°C u trajanju od 90 min uz prethodno predgrevanje na 500°C . Izotermno poboljšavanje je izvedeno u sonim kupatilima na temperaturi od 300°C u vremenu od 2 h, sa brzinom kretanja soli od 0,6 m/sec.

Analiza mikrostrukture je izvršena na Leitz-ovom svetlosnom mikroskopu a analiza preloma na skening elektronskom mikroskopu tipa JSM 35 pri radnom naponu od 25 kV.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Hemijski sastav ispitivanog nodularnog liva je prikazan u tabeli 1.

TABELA 1. - Hemijski sastav
TABLE 1. - Chemical composition

C%	Si%	Mn%	S%	P%	Mg%
3,8	2,06	<0,1	0,007	0,026	0,035

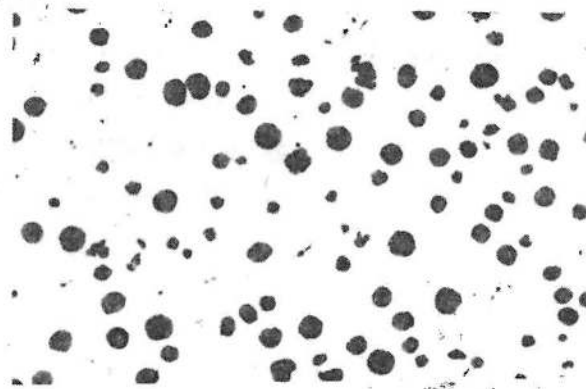
Rezultati konvencionalnih mehaničkih karakteristika nodularnog liva u sirovom i termički obradjenom stanju prikazani su u tabeli 2.

TABELA 2 - Konvencionalne mehaničke karakteristike

TABLE 2. - Conventional mechanical properties

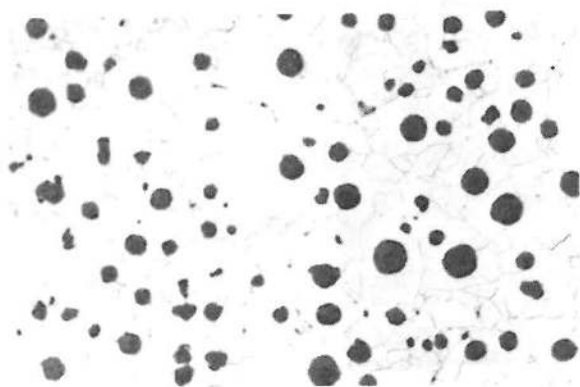
Oznaka uzorka	Granica tečenja $R_{p0,2}$ /MPa/	Zatezna čvrstoća R_m /MPa/	Izduženje A/%/	Utrošeni rad /J/	Tvrdoća HB
Sirovi nodularni liv	324,6	452	20,9	15,7	163
Termički obradjeni nodularni liv	998,6	1439,4	1,4	6,3	443

Mikrostruktura sirovog nodularnog liva je ispitivana na zateznim i žilavosnim epruvetama. U uzorcima prisutan je nodularni grafit sa stepenom sferoidizacije od preko 90%, prosečnom veličinom nodula od 30 μm i 150 nodula po mm^2 . Mikrostruktura metalne osnove je potpuno feritna (slike 2 do 4).

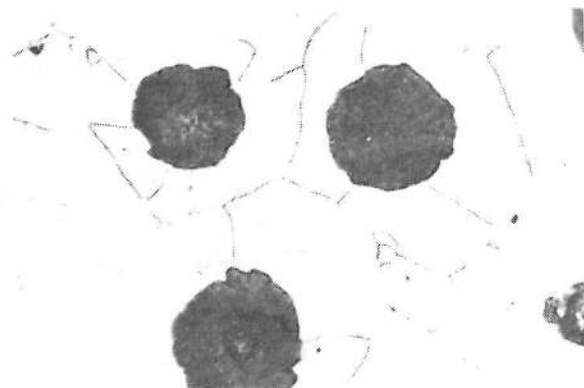


Slika 2. 100x

Morfologija loma prelomljenih zateznih i žilavosnih epruveta je identična. Sastoji se od 70% duktilnog i 30% krtog loma. U zonama krtog loma, mehanizam loma je transkristalno cepanje po ravnima cepanja $\{100\}$. Na ravnima cepanja prisutne su rečne šare (slika 5.). Zone duktilnog loma sadrže i sitne jamice. Velike jamice su nastale na nodulama grafita, a njihovo



Slika 3. 100x

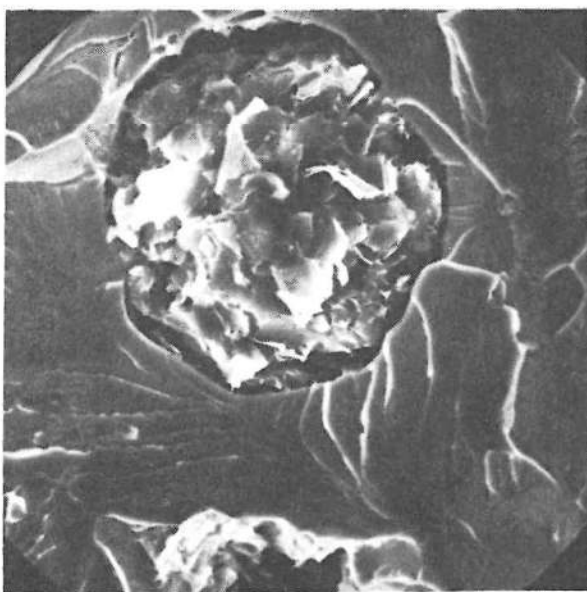


Slika 4. 500x

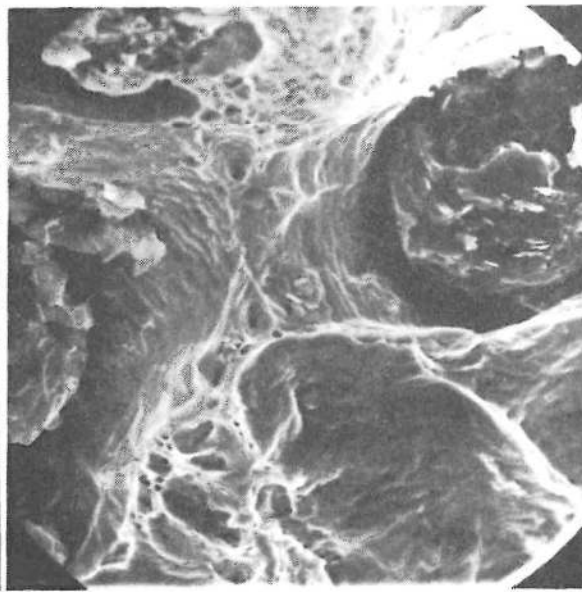
Slike 2,3,4. Mikrostruktura sirovog nodularnog liva

Fig. 2,3,4. Microstructure of as-cast ductile iron

povezivanje je preko mehanizma koalescencije sitnih jamica (slika 6).



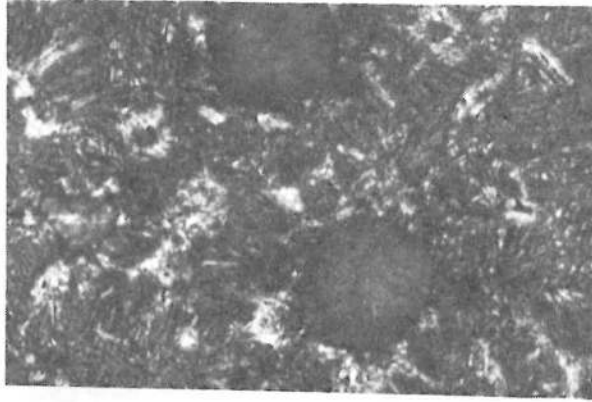
Slika 5. 1000x
Slika 5. Zona krtog loma
Fig. 5. Cleavage fracture zone



Slika 6. 1000x
Slika 6. Zona duktilnog loma
Fig. 6. Ductile fracture zone

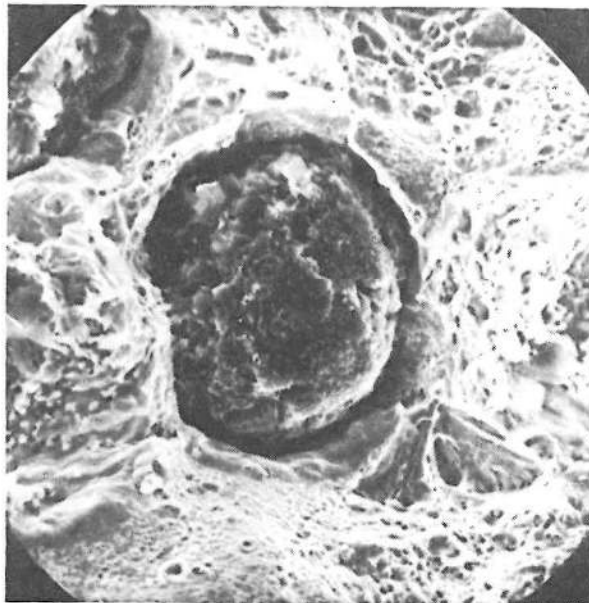
Mikrostruktura izotermno poboljšanih uzoraka se sastoji iz beinita, zadržanog austenita sa malom količinom slobodnih karbida (slika 7.).

Morfologija loma prelomljenih zateznih i žilavosnih epruveta je potpuno duktilna (slika 8.).



Slika 7. 500x

Slika 7. Mikrostruktura izotermno poboljšanog nodularnog liva
Fig. 7. Microstructure of austempered ductile iron.

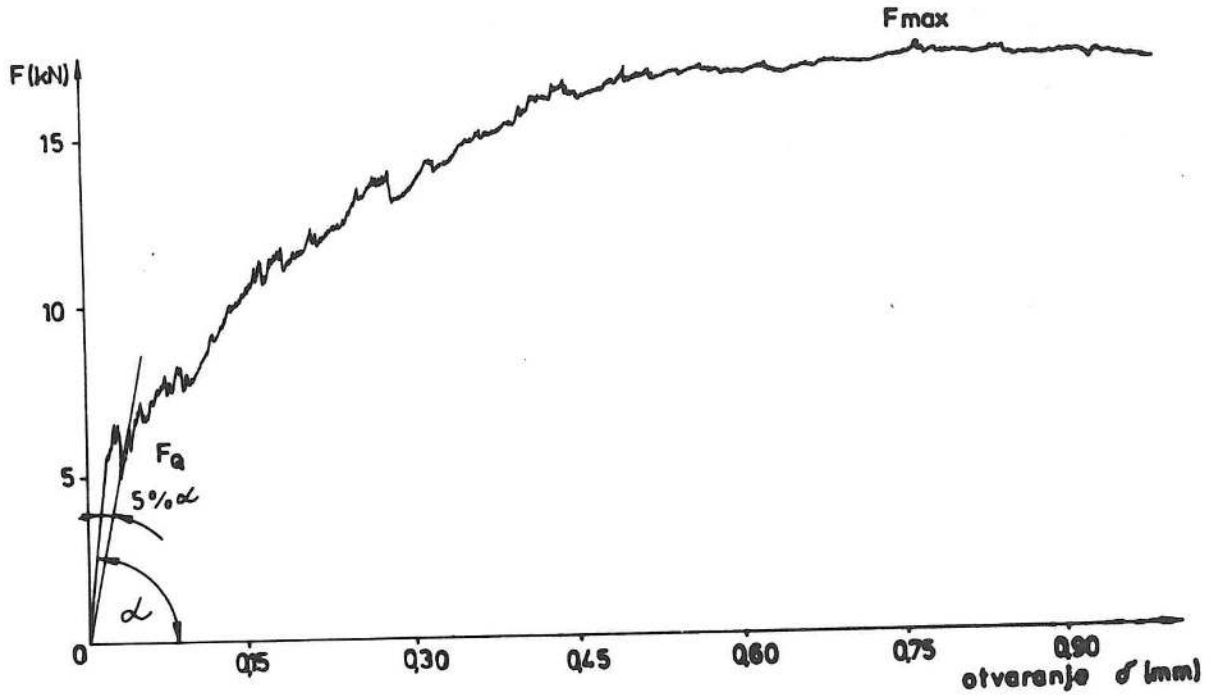


Slika 8. 750x

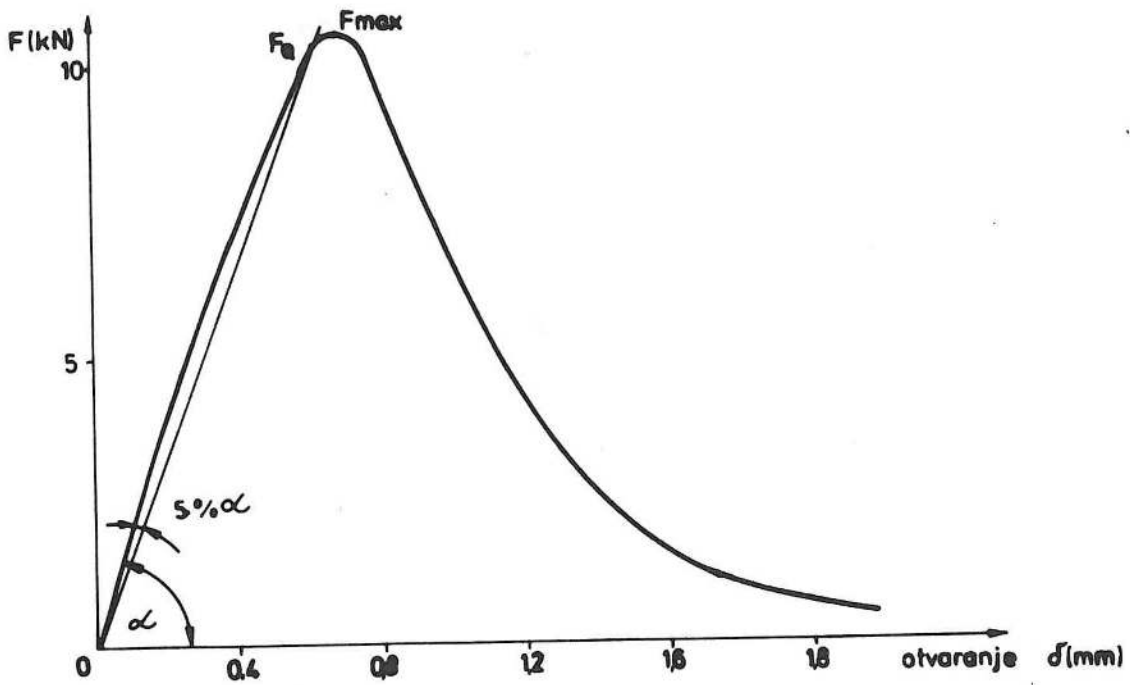
Slika 8. Duktilni lom

Fig. 8. Ductile fracture

Rezultati hemijske analize, konvencionalnih mehaničkih osobina i mikrostruktura su pokazali da su uzorci od sirovog nodularnog liva izrađeni od klase nodularnog liva NL40 sa potpuno feritnom metalnom osnovom koja ima veliko izduženje i visoku udarnu žilavost. Termičkom obradom izotermnim poboljšanjem dobijena je mikrostruktura metalne osnove donji bainit sa zadržanim austenitom. Promenom mikrostrukture znatno se povećala tvrdoća i čvrstoća materijala dok nivo udarne žilavosti je zadovoljavajući iako je izduženje smanjeno.



Slika 9. Dijagram sila - otvaranje zarez za sirovi nodularni liv
Fig.9. Load/displacement curve for as-cast ductile iron



Slika 10. Dijagram sila - otvaranje zarez za izotermno poboljšani nodularni liv
Fig. 10. Load/displacement curve for austempered ductile iron

Dijagram otvaranja prslina u zavisnosti od primenjene sile za uzorak nodularnog liva u sirovom stanju je pokazao da dobijeni rezultati nisu važeći. Kriva na dijagramu ima takav oblik da pri određivanju sekante pod uglom za 5% manjim od ugla krive ne zadovoljava potrebni uslov:

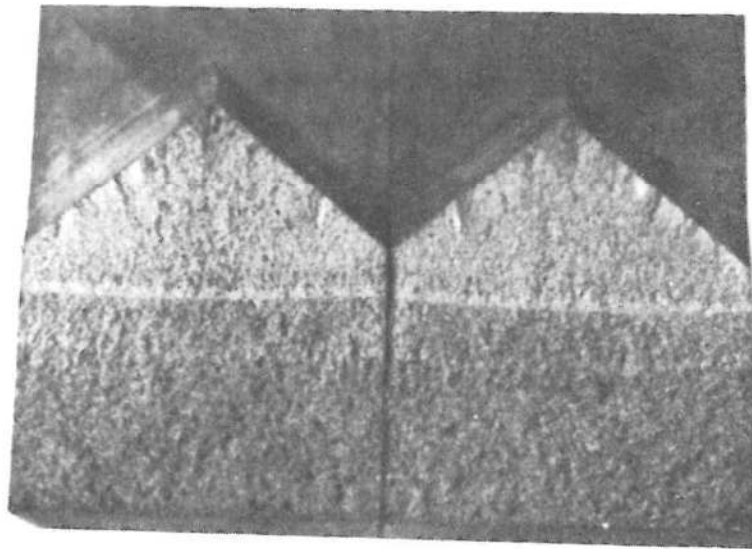
$$F_{\max}/F_Q < 1,1$$

To praktično znači da u uzorku ne postoji ravansko stanje deformacije tj. da je zona plastičnosti na vrhu prsline velika i da nije zadovoljen uslov za primenu linearne elastične mehanike loma (slika 9.).

Kriva sila - otvaranje zarez za izotermno poboljšani nodularni liv prikazana je na slici 10.

Veličina sile F_Q iznosi 10,2 kN, a početna dužina prsline izražena kao srednja vrednost tri merenja u tri zone, iznosi $a=35,0$ mm.

Izgled prelomljenih površina uzorka prikazan na slici 11.



Slika 11. Prelomljene površine

Fig. 11. Fracture surfaces

Izračunata vrednost za faktor intenziteta napona K_Q je $41,05 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$. Pošto su ispunjeni uslovi linearne elastične mehanike loma /4/:

$$B \geq 2,5 \left(\frac{K_Q}{R_{p0,2}} \right)^2 ; \quad W \geq 5,0 \left(\frac{K_Q}{R_{p0,2}} \right)^2 ; \quad a \geq 2,5 \left(\frac{K_Q}{R_{p0,2}} \right)^2$$

odnosno izračunate vrednosti iz predhodnih jednačina su: $B=4,22$ mm, $W=8,44$ mm i $a=4,22$ mm, tada je:

$$K_Q = K_{IC}$$

tj. vrednost $41 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ predstavlja kritični faktor intenziteta napona K_{IC} - žilavost loma izotermno poboljšanog nodularnog liva.

Treba naglasiti da dobijena vrednost K_{IC} je niža od nekih objavljenih rezultata u svetu /5/. Međutim, ti rezultati su za legirani feritni liv sa 0,3%Mo i 0,6%Ni i sadržaj silicijuma od 3%. Procenat legirajućih elemenata i procenat silicijuma znatno utiču na povećanje mehaničkih karakteristika (uključujući i K_{IC}) kako feritnog tako i izotermno poboljšanog nodularnog liva.

4. ZAKLJUČAK

Nodularni liv klase NL40 sa feritnom metalnom osnovom je termički izotermno poboljšan na 300°C i dobijena je mikrostruktura donji beinit i zadržani austenit. Termičkom obradom postignute su veoma visoke mehaničke karakteristike nodularnog liva. Pored visoke granice tečenja, zatezne čvrstoće i tvrdoće, dobijeni su i zadovoljavajući rezultati kako za udarnu žilavost tako i za žilavost loma K_{IC} .

5. LITERATURA

- /1/ Guudlach R., Janovak J.: Proceeding of 2nd International Conference on Austempering Ductile Iron, Ann,Arbor Michigan, 1986.
- /2/ Kočov M., Šidjanin L., Liščić B.: Zbornik radova, IV Simpozijum livača Jugoslavije, Budva, 25-28 oktobar 1989.
- /3/ JUS.C.J2.022
- /4/ BS5447, Methods for Plane Strain Fracture Toughness (K_{IC}) Testing, British Standard Institution, London, 1971.
- /5/ Blackmore A.P.: The Fracture-Toughness testing of Some Normalized and Austempered Nodular Irons - a Progress Report, Report 1587, July 1984.