

UTICAJ MIKROSTRUKTURE METALNE OSNOVE NA MEHANIČKE KARAKTERISTIKE SUČEONO ZAVARENOG SPOJA NODULARNOG LIVA

Msc Sci Lazar Brestovački, BhcME, IWE, IWI-C ¹
Prof EM Dr Leposava Šidanin, dipl.ing.²
Prof Dr Katarina Gerić, dipl.ing.²
Prof Dr Bela Sabo, dipl.ing.²

¹Cobalt doo, 21400 Bačka Palanka, JA 83., Srbija,
²Fakultet tehničkih nauka, 21000 Novi Sad, Trg D. Obradovića 6., Srbija

Email: cobalt@cobaltdoo.co.yu

Ispitivan je uticaj mikrostrukture metalne osnove na mehaničke karakteristike sučeono zavarenog spoja nodularnog liva. Korišćene su dve serije nodularnog liva sa feritno-perlitnom mikrostrukturom. Količina ferita u jednoj seriji je bila 50%, a u drugoj 90%. U drugoj seriji je količina ferita dobijena nakon feritizacionog žarenja.

Zavarivanje sučeonih spojeva je izvedeno u oba slučaja identičnom tehnologijom TIG postupkom sa austenitnim dodatnim materijalom EN12072: W 18 8 Mn.

Za karakterizaciju mehaničkih osobina primenjena su ispitivanja zatezanjem na epruvetama sa paralelnim bokovima, ispitivana je energija udara po Sharpy KCV metodi, a na poprečnom preseku zavarenih spojeva merena je Vickersova tvrdoća HV10 prema SRPS EN 288-3. Uticaj geometrijskih karakteristika šava na rezultate ispitivanja zatezanjem i energije udara je eliminisan pogodnom pripremom epruveta.

Rezultati ispitivanja su pokazali da duktilnost zavarenog spoja, bez obzira na mikrostrukturu metalne osnove, drastično opada, odnosno zavareni spoj se krto ponaša. Pad zatezne čvrstoće i napona tečenja je izraženiji kod uzoraka sa 50% ferita, dok je pad energije udara izraženiji kod uzoraka sa 90% ferita. Porast tvrdoće u zoni zavarenog spoja je manji kod uzoraka sa 90% ferita.

Ključne reči:

Nodularni liv, mikrostruktura, TIG zavarivanje, austenitni dodatni materijal mehaničke karakteristike, tvrdoća

THE METAL MATRIX MICROSTRUCTURE INFLUENCE ONTO MECHANICAL PROPERTIES OF DUKTILE IRON WELD JOINTS

In this paper the influence of metal matrix microstructure onto mechanical properties of ductile weld joints, have been examined. To achieve these purposes two series of ductile iron with ferrit-pearlit microstructure have been used. In one series the specimens contained 50% of ferrite, while in the other one 90%, respectively. The amount of ferrite in the other series was obtained after ferritization annealing.

The welding of joints was performed in both cases using identical technology of GTAW procedure with an austenitic filler material EN12072: W18 8 Mn.

To define mechanical properties of ductile iron welded joints, tensile testing, Sharpy KCV impact energy method and Vickers hardness HV10 according to SRPS EN 288-3. were applied. The influence of geometrical characteristics of the welds on the results were eliminated by the use of an appropriate preparation of the specimens.

The results obtained, showed that the elongation of the welded joints, regardless of the metal matrix microstructure, drastically decreased i.e. the welded joints become brittle. The decreases of tensile and yield strength were more obvious in samples with 50% ferrite, while the decrease of impact energy in the samples with 90% ferrite, respectively. For the samples with 90% ferrite the increases of the hardness in the area of welded joints, was insignificant

Key words:

ductile iron, microstructure, GTAW welding, austenitic filler material, mechanical properties, hardness

1. UVOD

Dosadašnja istraživanja zavarljivosti nodularnog liva [1-15] išla su u pravcu karakterizacije istorodnih zavarenih spojeva nodularnih livova ili raznorodnih zavarenih spojeva čelika sa nodularnim livom. Rezultati ovih istraživanja imaju zajednički zaključak: minimalne mehaničke karakteristike zavarenog spoja su u zoni uticaja toplote (ZUT) ili na liniji stapanja (LS). U okviru ispitivanja su istraživani sledeći uticajni faktori:

- dodatni materijal za zavarivanje na bazi nikla i legure nikla i željeza
- postupci elektrolučnog zavarivanja obloženom elektrodom i gasnog zavarivanja plamenom
- tehnologije zavarivanja koje obuhvataju predgrevanje i relaksaciju zaostalih napona materijala šava i
- geometrijske karakteristike zavarenog spoja.

TIG postupak zavarivanja, kao značajna tehnologija zavarivanja čelika, u slučaju istraživanja zavarljivosti nodularnog liva je retko primenjen, iako nalazi sve širu primenu u reparaturnom zavarivanju delova izrađenih od nodularnog liva. Kao dodatni materijali korišćene su legure na bazi nikla, [8, 10, 14, 15] ili na bazi livenog gvožđa, [12].

U ovom radu ispitivan je uticaj mikrostrukture metalne osnove (MMO) nodularnog liva na karakteristike sučono zavarenog spoja TIG postupkom, bez predgrevanja sa austenitnim dodatnim materijalom, pri čemu su tokom zavarivanja mereni svi parametri režima zavarivanja, [11]. Primenjeni austenitni dodatni materijal se široko koristi za zavarivanje teško zavarljivih čelika i kao puferski sloj kod višeslojnog navarivanja.

2. EKSPERIMENT

2.1 Osnovni materijal

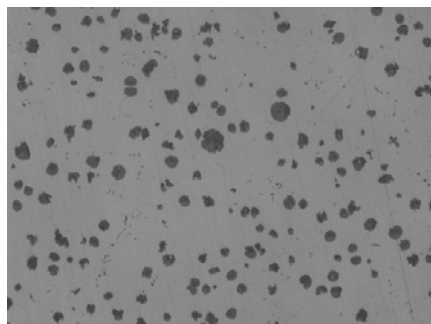
Dimenzije ploča osnovnog materijala, nodularnog liva su: 100x100x8mm, proizvedene livenjem u školjkama.

Korišćene su dve serije nodularnog liva identičnog hemijskog sastava, tabela 1., sa feritno-perlitnom MMO i stepenom sferoidizacije grafita >90% i to:

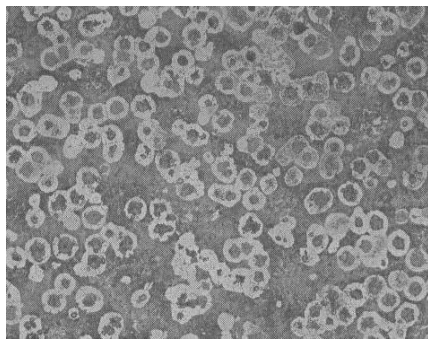
- Nodularni liv feritno-perlitne MMO serije „0“ , bez termičke obrade posle livenja, kod kojeg je količina ferita 50% i
- Nodularni liv pretežno feritne MMO serije „4“ , koji je posle livenja feritizacijom žaren i dobijena je količina ferita 90%.

Tabela 1 Hemijski sastav nodularnog liva [mas %]

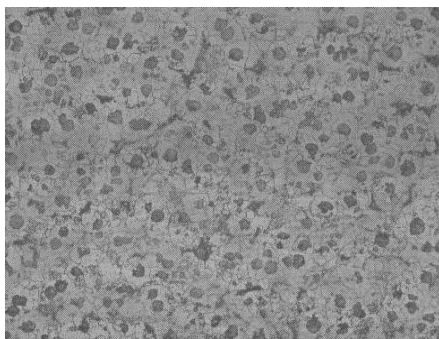
C	Si	Mn	Cr	P	Ni	Cu	Pb	Mg
3,66	2,94	0,43	0,090	0,043	0,099	0,091	0,0012	0,053



a) 100x



b) 100x



c) 100x

Slika 1. Mikrostruktura nodularnog liva: a) grafit sa stepenom sferoidizacije > 90%, b) feritno-perlitna sa 50% ferita i 50% perlita, c) pretežno feritna sa 90%ferita i 10% perlita

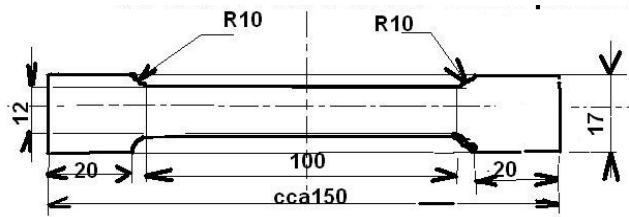
Rezultati ispitivanja mehaničkih osobina osnovnog materijala dati su u tabeli 2.

Tabela 2. Mehaničke karakteristike osnovnog materijala serija „0“ i „4“

Osnovni materijal serije	$R_{P0,2}$	R_m	A_{Rm}	Tvrdoća	Energija udara
	MPa	MPa	%	HV10	J
„0“	459	564	3,75	251	0,92
„4“	381	448	3,07	199	0,92
Temperatura okoline: 20°C			Temperatura uzorka: 20°C±2°C		

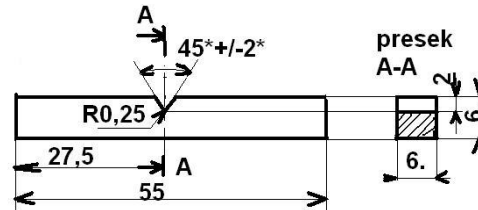
Ispitivana je tvrdoća po Vickersu HV10, na epruvetama koje su hladnim postupkom rezanja odsečene a ispitna površina je pripremljena poliranjem.

Mehaničko ispitivanje zatezanjem je izvršeno mehaničkom kidalicom 50kN, na mašinski obrađenim epruvetama sa paralelnim bokovima prema skici na slici 2., gde dimenzija debljine uzorka nije obrađivana.



Slika 2. Epruveta za ispitivanje zatezanjem osnovnog materijala

Ispitivanje energije udara po Sharpy KCV metodi, šarpijevim klatnom sa tegom 300N, izvršeno je na epruvetama kojima je mašinskom obradom uticaj geometrijskih grešaka na površini eliminisan, a prema skici na slici 3.:



Slika 3. Epruveta za ispitivanje energije udara osnovnog materijala po Sharpy-ju

2.2 Dodatni materijal

Hemijski sastav austenitnog dodatnog materijala je dat je u tabeli 3.. Kvalitet materijala je u skladu sa EN 10204 2.2, sertifikat proizvođača SŽ-elektrode Jesenice.

Tabela 3 Hemijski sastav [%] dodatnog materijala, saglasno EN 10204 2.2

šarža	Kvalitet	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
698042	TIG 18/8/6 Si	0,076	0,81	7,01	0,018	0,009	18,79	8,10

Usvojena je preporuka proizvođača da se dodatni materijal TIG postupkom zavarivanja koristi u kombinaciji sa zaštitnim gasom Ar, EN 439: II. Na taj način se omogućava dobijanje minimalnih mehaničkih karakteristika čistog materijala šava, tabela 4.

Tabela 4. Minimalne mehaničke karakteristike dodatnog materijala TIG, EN 439: Ar II

TIG 18/8/6Si + Ar	$R_{P0,2}$	R_m	A_5	Tvrdoća	Energija udara, A_v
	MPa	MPa	%	HV10	J
	380	560	35	-	40
Temperatura okoline: 20°C			Temperatura uzorka: 20°C±2°C		

2.3 Zavarivanje

Sučeono zavarivanje uzoraka nodularnog liva je izvršeno sa dva prolaza. U nedostatku referentnog standarda koji se odnosi na nodularni liv pripremljen je žljeb za zavarivanje X šava prema SRPS ISO 9692.

Zavarivanje je izvedeno identičnom TIG tehnologijom, bez predgrevanja i sa izvođenjem drugog prolaza odmah posle prvog.

Zavarivanje je izvršeno: uređajem Varstroj Vartig 2000, strujne veličine su merene univerzalnim uređajem za merenje strujnih veličina VOLTCRAFT 2010 i integralnim mernim instrumentom na uređaju, vreme sekvencionalnom štopericom SONY-ERICSON.

Termički ciklus u toku zavarivanja utvrđen je merenjem temperature u ZUT-u, a posle zavarivanja uzorci su obavijeni troslojnim azbesnim platnom debljine 3mm i hlađeni do sobne temperature. Termički ciklus hlađenja posle zavarivanja utvrđen je merenjem temperature u ZUT-u. Temperatura je merena kontaktnim termometrom ISKRA KT1150.

2.4 Mehanička ispitivanja zavarenih spojeva

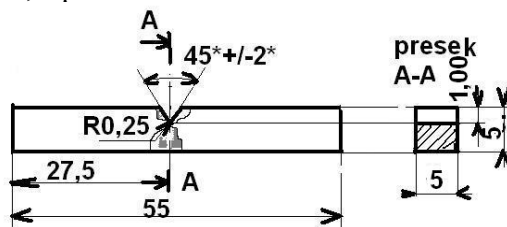
Ispitivanje tvrdoće po Vickersu HV10 je izvršeno na poliranoj površini poprečnog preseka zavarenog spoja. Položaj i korak mernih tačaka je prema standardu SRPS EN 288-3. Uzorak je odsečen postupkom vazdušnog plazma rezanja, uz otklanjanje ZUT-a nastalog postupkom rezanja.

Ispitivanje zatezanjem je izvedeno na mehaničkoj kitalici 50kN na mašinski obrađenim epruvetama sa paralelnim bokovima prema skici na slici 4., gde su strane epruveta sa lica šava hladno izbrušene do debljine 5mm u cilju otklanjanja uticaja geometrijskih karakteristika šava na rezultate ispitivanja.



Slika 4. Epruveta za ispitivanje zatezanjem zavarenih uzoraka

Ispitivanje energije udara po Sharpy KCV metodi, šarpijevim klatnom sa tegom 300N, izvršeno je na epruvetama kojima je mašinskom obradom uticaj geometrijskih grešaka na površini uzorka eliminisan, a prema skici na slici 5.



Slika 5. Epruveta za ispitivanje energije udara zavarenog uzorka po Sharpy-ju

Epruvete su proporcionalno smanjenih dimenzija poprečnog preseka u odnosu na standardom predviđene za 50%. Obzirom da standardne epruvete za ispitivanje čelika i nodularnog liva imaju identične dimenzije a iskustva drugih autora u smanjenju čeličnih epruvete nisu negativna, [16, 17], oblik smanjene epruvete je prema slici 5. Vrh V zarez epruvete nalazi se u liniji stapanja, gde je energija udara minimalna, [10].

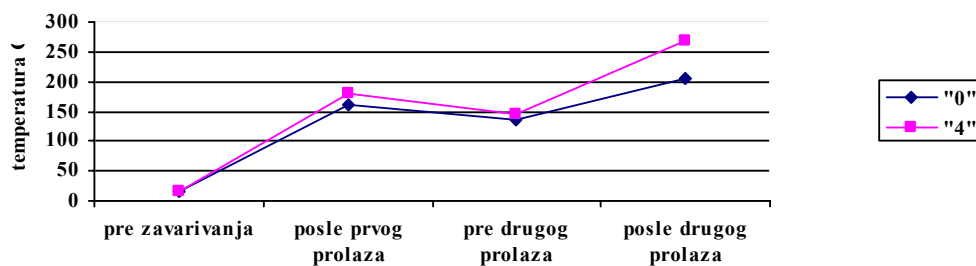
3. REZULTATI

Parametri režima zavarivanja, za svaki prolaz i srednja vrednost za oba prolaza su dati u tabeli 5.

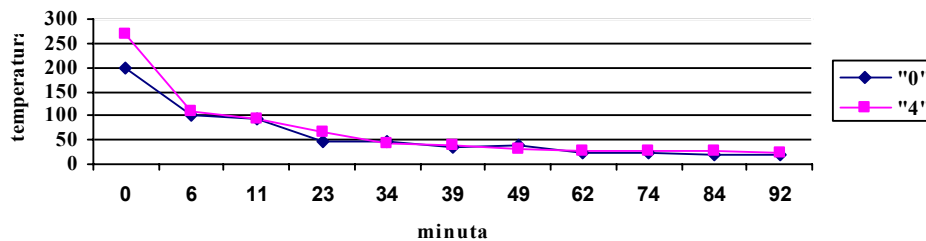
Tabela 5. Parametri režima zavarivanja, sa označenom srednjom vrednosti

Uzorak serije OM	I_{z1}	I_{z2}	I_z	U_{z1}	U_{z2}	U_z	T_{z1}	T_{z2}	T_z	V_{z1}	V_{z2}	v_z	q_{p1}	q_{p2}	q_p
	A			V			min' sec"			cm/s			kJ/cm		
„0“	90	100	95	24	24	24	2' 56"	1' 50"	4' 46"	0,057	0,091	0,074	22,7	15,8	38,5
„4“	100	100	100	24	22	23	2' 06"	2' 27"	4' 33"	0,079	0,068	0,074	18,2	19,4	37,6

Rezultati merenja temperature tokom termičkog ciklusa zavarivanja su prikazani na slici 6., a rezultati merenja temperature tokom termičkog ciklusa hlađenja su prikazani na slici 7.

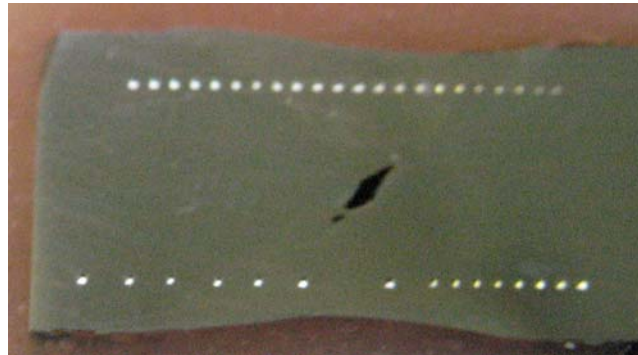
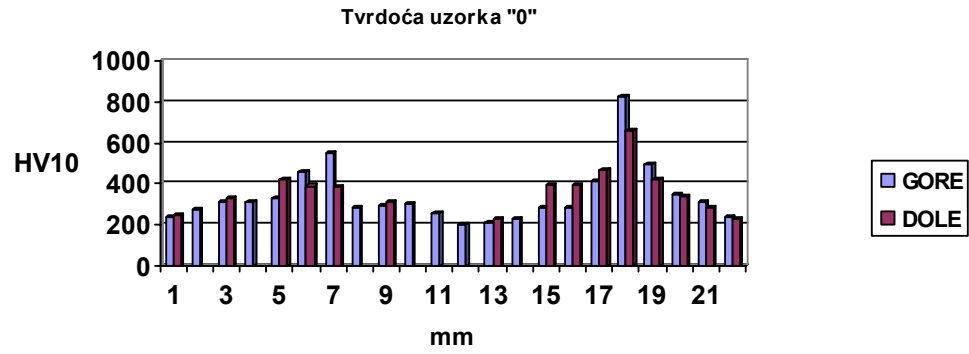


Slika 6. Termički ciklus u toku zavarivanja



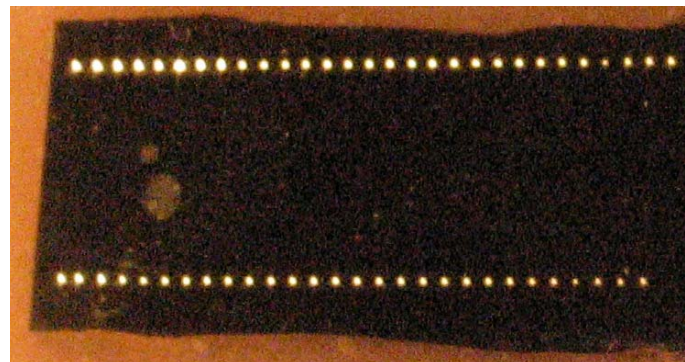
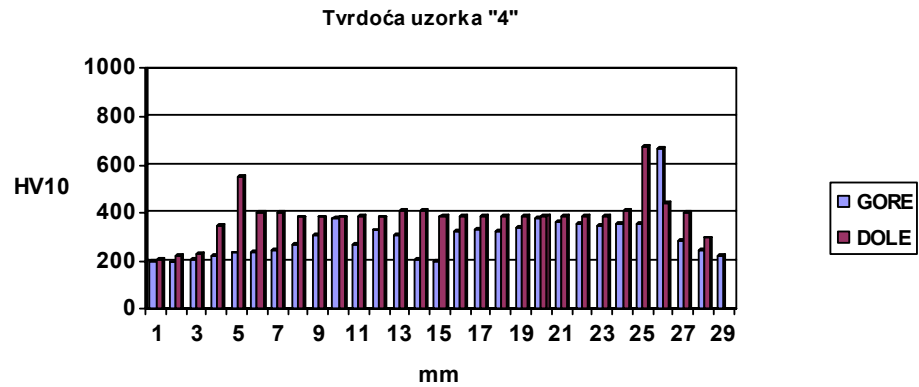
Slika 7. Termički ciklus hlađenja

Rezultati merenja tvrdoće HV10 zavarenog uzorka serije „0“ prikazani su na slici 8.



Slika 8. Tvrdoća HV10 zavarenog uzorka „0“, gornje merne tačke su na gornjoj strani slike

Rezultati merenja tvrdoće HV10 zavarenog uzorka serije „4“ prikazani su na slici 9.



Slika 9. Tvrdoća HV10 zavarenog uzorka „4“ gornje merne tačke su na gornjoj strani slike

Rezultati ispitivanja zatezanjem i energije udara zavarenih uzoraka su dati u tabeli 6.

Tabela 6. Mehaničke karakteristike zavarenih uzoraka serija „0“ i „4“

Osnovni materijal serije	$R_{p0,2}$	R_m	A_{Rm}	Energija udara
	MPa	MPa	%	J
„0“	293	312	$0,15 \pm 0$	0,52
„4“	327	337	$0,34 \pm 0$	0,42

Mesto loma epruveta pri ispitivanju zatezanjem kod zavarenih uzoraka serije „0“ je na liniji stapanja, a kod serije „4“ u ZUT-u.

4. DISKUSIJA

Nakon zavarivanja kontrola zavarenih spojeva je izvedena u obimu 100%. Primenjeno je ispitivanje VT (vizelna kontrola) prema SRPS EN 970 i PT (kontrola tečnim penetrantima) prema SRPS EN 571. Greške zavarenih spojeva su u saglasnosti sa osnovnim materijalom i zadovoljavaju nivo kvaliteta D, prema SRPS ISO 5817, što je najniži standardan kvalitet.

Rezultati prikazani u tabeli 5. pokazuju da je pogonska energija zavarivanja oba uzorka skoro identična (odstupanje od srednje vrednosti $q_p=38,05\text{kJ/cm}$ je približno 1%).

Termički ciklusi pri zavarivanju i hlađenju obe serije uzoraka su skoro identični (vidi slike 6. i 7.).

Gore navedene konstatacije pokazuju da je TIG postupak kod obe serije izveden istim parametrima režima zavarivanja, što omogućava da se izbegne njihov uticaj na rezultate ispitivanja.

Vrednosti tvrdoće u zoni zavarenog spoja se kreću do maksimalnih 673HV10 kod uzoraka sa 90% ferita, a kod uzoraka sa 50% ferita do maksimalnih 824HV10. Ako se dobijene maksimalne vrednosti tvrdoće od 673HV10 uporede sa vrednostima Fujii [4] koji su takođe koristili TIG postupak zavarivanja pretežno feritnog nodularnog liva ali sa dodatnim materijalom na bazi nikla, može se konstatovati da su vrednosti tvrdoće dobijene u ovom radu veće za 50%. Međutim ako se te vrednosti uporede sa vrednostima koje se odnose na elektrolučni postupak sa obloženom austenitnom elektrodom, [4], može se konstatovati da su za 20% niže.

Sve ovo pokazuje da maksimalna tvrdoća koja se dobija na liniji stapanja zavisi i od vrste dodatnog materijala i od tehnologije zavarivanja.

Rezultati ispitivanja duktilnosti zavarenog spoja su pokazali da bez obzira na mikrostrukturu metalne osnove drastično opadaju, odnosno zavareni spoj se krto ponaša, što je u saglasnosti sa rezultatima istraživanja autora [4].

Smanjenje zatezne čvrstoće i napona tečenja zavarenog spoja u odnosu osnovni materijal je izraženije kod uzoraka sa 50% ferita u osnovi nego kod uzoraka sa 90% ferita. Međutim smanjenje vrednosti zatezne čvrstoće kod uzoraka sa 90% ferita je manje od rezultata istraživanja autora [4, 10].

Pad energije udara je izraženiji kod 90% feritne metalne osnove.

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da nodularni liv sa pretežnom feritnom osnovom ima bolju zavarljivost TIG postupkom sa austenitnim dodatnim materijalom od liva sa feritno-perlitnom osnovom.

LITERATURA

- [1] Smiljanić, M., Antić, M., Zavarivanje sivog liva u održavanju opreme, Društvo za unapređenje zavarivanja u Srbiji, Beograd, 1997.
- [2] Shcherbedinskii, G.V. , Iron: A Promising Material of the XXI Century, Metal Science and Heat Treatment, Vol 47, Nos.7-8, 2005, page 333-342.
- [3] Ductile Iron Marketing Group, Sorelmetal, Ductile Iron Data for Design Engineers, Rio Tinto Iron & Titanium INC, Montreal, Canada, 1990-2007.
- [4] Kenawy M A, Abdel-Fattah A M, Okasha N, Gazery M EL, Mechanical and Structural Properties of Ductile Cast Iron, Egypt Journal of Solidification, Vol 24, No 2, 2001
- [5] DIN EN 1560:1997-08
- [6] El-Bana, E.M., Nageda, M.S., Abo El-Saadat, M.M., Study of restoration by welding of pearlitic ductile cast iron, Materials Letters, No 42, 2000, pp 311-320
- [7] El-Bana, E.M, Effect of preheat on welding of ductile cast iron, Materials Letters, No 41, 1999, pp 20-26
- [8] Nisho, K, Nakamura, N., Katoh, M, Impact Characteristic of Joints of Spheroidal Cast Irons with Ni-Base Brazing Sheet, Quarterly Journal of the Japan Welding Society, vol 20, (2002)., page 523-530
- [9] Fujii, N., Takahashi, J., Suzuki, H., Yasuda, K., Comparison of Strength Characteristic of Cast Iron/Mild Steel Welding Joints by Various Welding Process, Quarterly Journal of the Japan Welding Society, vol 23, (2005)., page 302-310
- [10] Honda, H., Fukase, A., Fujii, N., Yasuda, K., The mechanical strength of weld zone of nodular cast iron in various welding process, Quarterly Journal of the Japan Welding Society
- [11] Palić, V., Zavarivanje, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1987.
- [12] Hirazuka, S., Horie, H., Nakamura, M, Kowata, T, Aonuma, M., Kobayashi, T., Abstract: TIG welding process of spheroidal graphite cast iron and mild steel using the inoculant coated welding rods, Chuzo kogaku, 1998, vol 70, no 12, pp 860-865.
- [13] Kelly, TJ, Bishel, RA, Wilson, RK, Abstract: Welding of Ductile Iron With Ni-Fe-Mn Filler Metal, Welding Journal, 1985, vol 64, no 3, pp 79-85
- [14] Ohguchi, K-I, Tagami, M, Umeda, N, Abstract: Effect of Ni-Fe welding rod on weldability and fatigue characteristic of welded joint in spheroidal graphite cast iron, Journal of Japan Foundry Engineering, Vol 74, no 3, 2002, pp 149-155
- [15] Ciszewski, G, Abstract: Examples of application of different welding methods to repair cast iron elements and to join them together as well as to join cast iron elements to steel ones into the form of constructional units, Biuletyn Instytutu Spawalnictwa, Vol 43, no 1, 1999, pp 34-39.
- [16] Dobrojević, M., Sedmak, A., Argob, E., Popović, O., Analiza uticaja geometrije i heterogenosti zavarenog spoja na ponašanje Šarpi epruvete, Integritet i vek konstrukcija, Vol 3, Br. 2 (2003), str 73-83.
- [17] Kenji D., The Development of Subsize Charpy Impact Test Technique for Reactor Pressure Vessel Steels, Komae Research Laboratory, Japan, 2007.