



Nikola Bajić¹, Marko Rakin², Darko Veljić¹, Mihailo Mrdak³, Slobodan Stojadinović⁴, Jasmina Pekez⁴

OPTIMIZACIJA SADRŽAJA NIKLA U PUNJENOJ ŽICI NAMENJENOJ ZA ZAVARIVANJE MIKROLEGIRANIH ČELIKA

OPTIMIZING THE CONTENT OF NICKEL IN FLUX-CORED WIRE INTENDED FOR WELDING MICRO-ALLOYED STEELS

Originalni naučni rad / Original scientific paper

UDK / UDC: 621.791.021

Rad primljen / Paper received:

April 2014.

* Rad je izlagan na 28. savetovanju Zavarivanje 2014 – Borsko jezero

Adresa autora / Author's address:

¹ IHIS Techno-experts d.o.o - Research and Development Center, Batajnički drum 23, 11080 Belgrade, Serbia

² Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade, Karnegijeva 4, 11120 Belgrade, Serbia

³ Research and Development Center, IMTEL Communications a.d., Mihajla Pupina 165b, 11090 Belgrade, Serbia

⁴ Technical Faculty Mihajlo Pupin, University of Novi Sad, 2300 Zrenjanin, Serbia

Ključne reči: punjena žica, metal šava, mikrostruktura, zatezne karakteristike, energija udara, MAG postupak

Key words: flux-cored wire, weld metal, microstructure, tensile properties, impact energy, MAG process

Rezime

U radu su dati rezultati vezani za osvajanje proizvodnje punjene žice legirane sa Ni i Mo prema standardu AWS A5.29 namenjeno za MAG postupak zavarivanja.

Na eksperimentalnoj liniji za kalibraciju čelične trake i izradu punjene žice proizvedene su dve šarže punjene žice sa konstantnim sadržajem Mo i sadržajem Ni na dva nivoa (1.2%Ni kod jedne i 2.6%Ni kod druge šarže). Eksperimentalno zavarivanje uzoraka čeličnih ploča je izvedeno MAG postupkom sa dva kvaliteta punjene žice. Ispitivanje strukture i kvaliteta metala šava je izvedeno u cilju optimizacije sadržaja Ni u legiranoj punjenoj žici koja je namenjena za zavarivanje sitnozrnih mikrolegiranih čelika. Na osnovu analize dobijenih rezultata ispitivanja mikrostrukture i EDS analize strukture zavarenih uzoraka i rezultata ispitivanja zateznih karakteristika energije udara, dati su zaključci o optimalnom sadržaju Ni u metalu šava, a time i izboru kvaliteta punjene žice.

Abstract

This paper presents the results related to organizing production of flux-cored wire alloyed with Ni and Mo according to standard AWS A5.29 intended for the MAG welding process. On the experimental line for steel strip calibration and production of flux-cored wire two batches of flux-cored wire were produced with a constant Mo and Ni content at two levels (1.2% Ni in one and 2.6% Ni in the other batch). Experimental welding of steel plate samples was performed using the MAG process with two qualities of cored wire. Testing the structure and quality of the weld metal was done in order to optimize content of Ni in the alloyed flux-cored wire intended for welding fine grained micro-alloyed steels. Based on the analysis of test results of the microstructure and EDS analysis of the structure of welded samples and test results of tensile properties and impact energy, conclusions were made about the optimal content of Ni in the weld metal, and thus the choice of quality of flux-cored wire.

UVOD

Izbor dodatnog materijala kod definisanja tehnologije zavarivanja se izvodi na osnovu hemijskog sastava i osobina osnovnog materijala, postupka zavarivanja i zahteva koji se postavljaju za osobine zavarenog spoja [1-5]. Legirajući elementi koji se dodaju u dodatne materijale u cilju poboljšanja osobine metala šava su: Mn, Cr, Ni, Mo, zatim elementi Si, Ti, Al i Zr koji se dodaju da bi smanjili i ograničili sadržaj kiseonika i azota

[6]. Pored elemenata koji se namerno dodaju u metal šava ulaze i elementi prisutni kao nečistoće, a svi zajedno utiču na osobine zavarenog spoja. Ugljenik se u austenitu nalazi rastvoren u atomskom stanju. Poznato je da se feritni i perlitni preobražaji austenita realizuju difuzijom ugljenika, dok se beinitni i martenzitni preobražaji odvijaju bez njegove difuzije. Najpovoljniju strukturu u legiranom feritnom šavu, obezbeđuje



optimalni sadržaj ugljenika oko 0,06 %. Mangan ima osnovnu ulogu u kinetici faznih preobražaja metala šava, koja se sastoji u ograničenju rasta primarnog ferita do trenutka kada stepen pothlađenja postigne nivo pri kome je nastajanje acikularnog ferita energetski moguće. Mangan uveden u metal šava snižava štetan uticaj sumpora vezujući ga u odgovarajući sulfid. Kod zavarenih spojeva niskolegiranih čelika smatra se da je optimalan sadržaj mangana u metalu šava oko 1,5 %. Sadržaj mangana preko 1,6 % pogoduje stvaranju gornjeg beinita dok se smanjuje sadržaj igličastog ferita. Molibden je veoma značajan za postizanje optimalnih odnosa strukturnih komponenata. Molibden uveden u metal šava utiče na sniženje temperatura ($\alpha \rightarrow \gamma$) preobražaja, povećava prokaljivost i usitnjava se primarna struktura metala šava, zatim povećava količina acikularnog ferita i skoro potpuno uklanja gornji beinit, zadržavajući samo tanke pločice primarnog ferita u matrici metala šava [7]. Nikl pogoduje obrazovanju igličastog ferita za razliku od većine legirajućih elemenata, nikl u čvrstom rastvoru povećava otpornost metala šava prema krutom lomu, zbog čega je nikl redovan legirajući element metala šava [7]. Titan prisutan u malim količinama u dodatnom materijalu potpuno modifikuje mikrostrukturu metala šava. Porast sadržaja titana u metalu šava do 80 ppm (0.003% zapreminski) sadržaj acikularnog ferita se desetstruko povećava. [7-8].

Za obezbeđenje visokog nivoa žilavosti i sniženje temperature prelaska u krto stanje metala šava primenjuju se različite kombinacije legirajućih elemenata. Specifičnost pojedinačnog uticaja legirajućih elemenata na strukturu se istražuje analizom sastava strukture metala šava, ohlađenog sa različitim brzinama. Kod procesa zavarivanja brzinu hlađenja metala u fazi kristalizacije određuje pogonska energija zavarivanja. Povećanje brzine hlađenja dovodi do formiranja prvenstveno strukture igličastog ferita. Ako je brzina hlađenja veoma velika, ponovo se obrazuje ferit sa

ojačanom drugom fazom (tipa beinita) ili čak martenzit [9-11].

Značajan napredak u razvoju dodatnih materijala za zavarivanje MAG - postupkom je postignut razvojem novih punjenih žica. Punjenje žica se sastoji od metalnog plašta niskougljeničnog i niskolegiranih čelika odgovarajućeg hemijskog sastava. U sastav jezgra punjene žice uvode se metalne i nemetalne komponente namenjene za formiranja šljake (rutil, silicijum, cirkonijum), stabilizaciju električnog luka (feldspat, liskun, kalijumoksalat), nastajanje gasova (kalcijum karbonat, magnezijum karbonat i dr.), dezoksidaciju (silicijum, mangan, ferotitan, Al-prah), legiranje metala šava (mangan, nikal, molibden, hrom i dr.). Primenom punjenih žica omogućeno je da legirajući elementi iz jezgra preko električnog luka prelaze u metal šava, dajući metalu šava željenu strukturu i zahtevane mehaničko-tehnološke osobine [9-11].

2. EKSPERIMENT

Eksperimentalno istraživanje se sastoji iz dva dela. U prvom delu istraživanja je definisan hemijski sastav i osvojena proizvodnja dva metalurška kvaliteta legirane punjene žice (PŽ-2Ni, PŽ-1Ni) prema standardu AWS A5.29, a u drugom delu istraživanja je sa navedenim kvalitetima elektrodne žice izvedeno eksperimentalno zavarivanje uzoraka čeličnih ploča i zatim ispitivanje sadržaja legirajućih elemenata (Mn, Ni, Mo) u metalu šava i ispitivnje kvaliteta zavarenih spojeva.

Proizvedena su dva metalurška kvaliteta legirane punjene žice gde su legirajući elementi (Mn, Ni, Mo) menjani na dva nivoa. Sadržaj Ni u čistom metalu šava varira na dva nivoa: 1.20 % Ni i 2.60 % Ni. Sadržaj % Mn u metalu šava varira na dva nivoa: 1.10 % Mn i 1.60 % Mn. Sadržaj Mo u čistom metalu šava na dva nivoa: 0.23 % Mo i 0.33 % Mo. Rezultati ispitivanja hemijskog sastava čistog metala šava izvedeni sa PŽ-2Ni i PŽ-1Ni su dati u tabela 1.

Oznaka el.žice	Hemijski sastav, %									
	C	Si	P	S	Cr	Mn	Ni	Mo	Ti	Al
PŽ-2Ni	0,07	0,27	0,012	0,012	0,022	1,62	2,60	0,233	0,020	0,016
PŽ-1Ni	0,07	0,26	0,012	0,013	0,022	1,10	1,20	0,326	0,023	0,015

Tabela 1. Rezultati ispitivanja hemijskog sastava čistog metala šava izvedeni sa dva metalurška kvaliteta punjene žice PŽ-2Ni i PŽ-1Ni

Proizvedena punjena žica je prečnika 1.55 mm namotana na zavarivački kalem K-300. Eksperimentalno zavarivanje je izvedeno MAG postupkom na uređaju ESAB, Lax320 (sa parametrima: struja -310A, napon -28 V, unos toplote 16-18 kJ/cm) na dve grupe pripremljenih uzoraka - ploča osnovnog materijala različite debljine i kvaliteta. Pripremljene ploče za od mikrolegiranog čelika, debljine 12mm i dužine 450 mm, su zavarene

elektrodom punjenom žicom oznake PŽ-2Ni, (uzorak br1), a dva para ploča od konstrukcionog čelika debljine 10 mm i dužine 300 mm su nakon mašinske pripreme zavarena elektrodom žicom oznake PŽ-1Ni, (uzorak br 2 i 3).

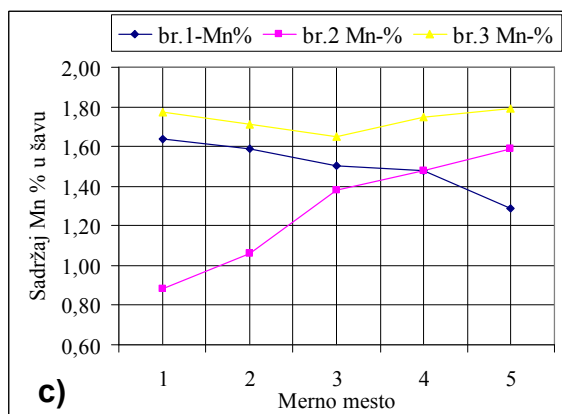
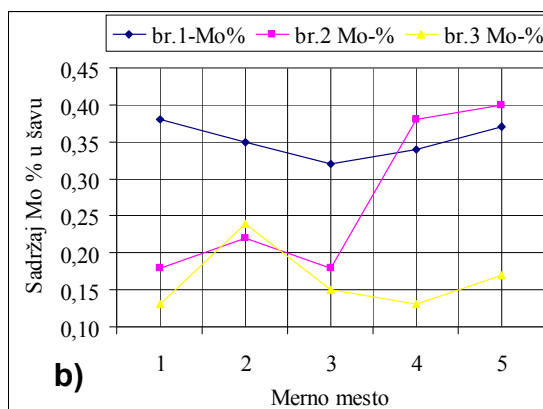
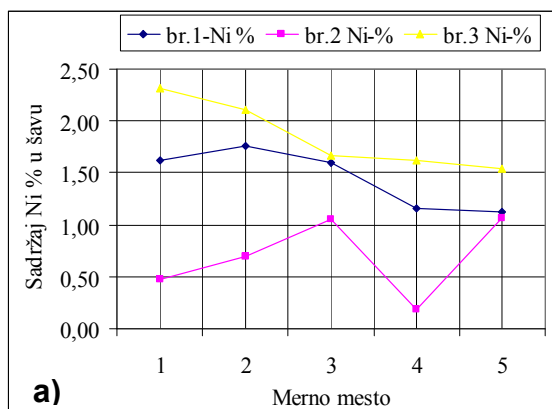


3. REZULTATI I DISKUSIJA

Iz zavarenih čeličnih ploča su prema standardu sečene epruvete a zatim mašinski obrađene za ispitivanja mehaničkih osobina, žilavosti i strukture zavarenih spojeva. Uzorci zavarenih ploča su oznake br.1 (debljine 12 mm); uzorak br.2 (debljine 10 mm); uzorak br.4 (debljine 10 mm i dužine 300 mm).

Ispitivanje sastava legirajućih elemenata u metalu šava. Hemijski sastav metala šava je određen stepenom odvijanja pojedinih reakcija u sistemu metal – troska – gas i može se kretati u širokim granicama zavisno od izabrane kombinacije dodatnog materijala, osnovnog materijala i tehnoloških parametara zavarivanja. Dobijeni

rezultati EDS analize hemijskog sastava metala šava vertikalno po preseku metala šava od lica prema korenu su pregledno dati na dijagramima i za svaki legirajući element mereni na uzorcima 1, 2 i 3, slika 1 (a,b,c). Dijagrami, slika 1, pokazuju određeno rasipanje sadržaja legirajućih elemenata vertikalno po šavu zbog razlike u broju prolaza, procentu mešanja osnovnog i dodatnog materijala i odgora u toku zavarivanja. Značajna promena sadržaja legirajućih elemenata se uočava na uzorku broj 2 koji je zavaren sa elektrodnom punjenom žicom oznake PŽ-1Ni. Međutim, promena sadržaja legirajućih elemenata je ujednačena vertikalno po šavu kod ostala dva uzorka br.1 i 3 koja su zavarena sa punjenom elektrodnom žicom oznake PŽ-2Ni.

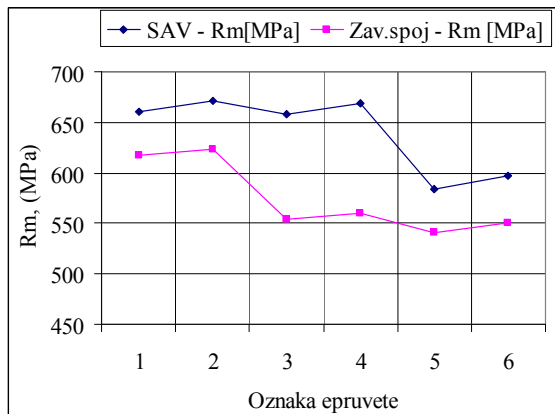


Slika 1. Promena sadržaja legirajućih elemenata (a)Ni %, (b)Mo%, (c) Mn % vertikalno po visini šava

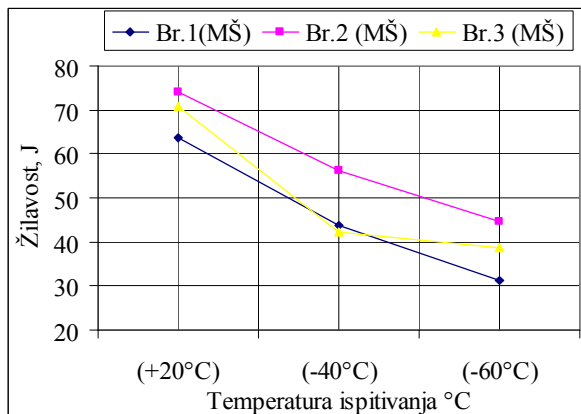
Ispitivanje zatezne čvrstoće metala šava i čvrstoće zavarenog spoja. Zatezna čvrstoća metala šava i čvrstoća zavarenog spoja u celini su ispitane na pljosnatim epruvetama sa udubljenim odnosno paralelnim bokovima, na univerzalnim mašinama za ispitivanje zatezanjem, prema standardima SRPS EN 895 i SRPS EN 10002-1/1. Promena vrednosti zatezne čvrstoće metala šava R_m [MPa] prati promenu sadržaja legirajućih elemenata i režima zavarivanja. Najveći nivo zateznih karakteristika je postignut kod mikrolegiranog čelika sa najvećim sadržajem Mo, Mn i Ni. Dobijene vrednosti su pregledno prikazane na dijagramu slika 2.

Ispitivanje energije udara. Energija udara određena je na sobnoj i sniženim temperaturama (+20 °C - 40°C i - 60 °C) prema standardima SRPS EN 875 i SRPS EN 10045-1, na Šarpi epruvetama 10x10x55mm sa ISO-V zarezom. Nazivna energija udara klatna je 300 J a brzina 5,11m/s. Dobijene vrednosti za zavarene uzorke br1, 2 i 3 su prikazane na dijagramu slika 3.

Dobijeni rezultati ispitivanja energije udara na temperaturama ispitivanja metala šava pokazuju da su bolji rezultati dobijeni na uzorku br2 koji je zavaren sa punjenom elektrodnom žicom oznake PŽ-1Ni u odnosu na vrednosti dobijene kod uzorka br1 i 3 koji je zavaren sa punjenom elektrodnom žicom oznake PŽ-2Ni



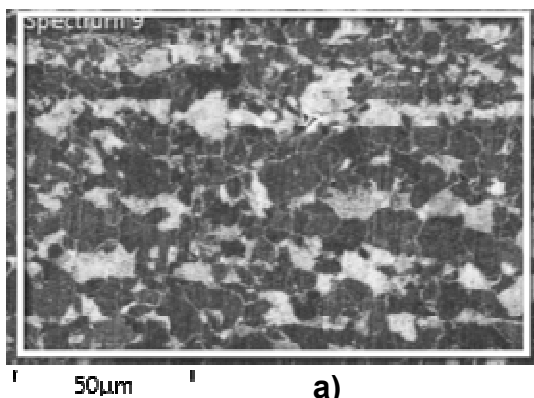
Slika 3. Promena vrednosti žilavosti metala šava uzorka br1, 2 i 3. na temperaturama ispitivanja



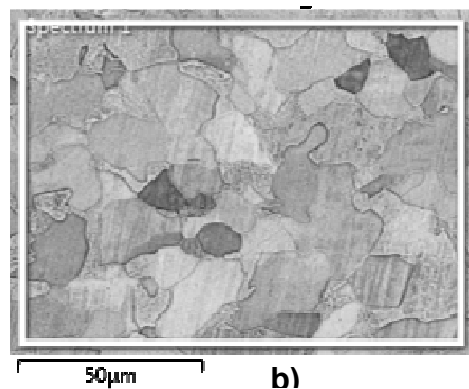
Slika 2. Ispitivanje zatezanjem epruveta sa udubljenim i sa paralelnim bokovima

Mikrostruktorna analiza metala šava. Mikrostrukturu šava zavarenih spojeva čine tri osnovne modifikacije ferita: igličasti ferit (acicular ferrite), poligonalni ferit (primary ferrite) i Vidmanštetenov ferit, koje nastaju različitim mehanizmima transformacije i različito utiču na vrednosti čvrstoće i žilavosti zavarenog spoja. U zavisnosti od termičkog ciklusa zavarivanja i

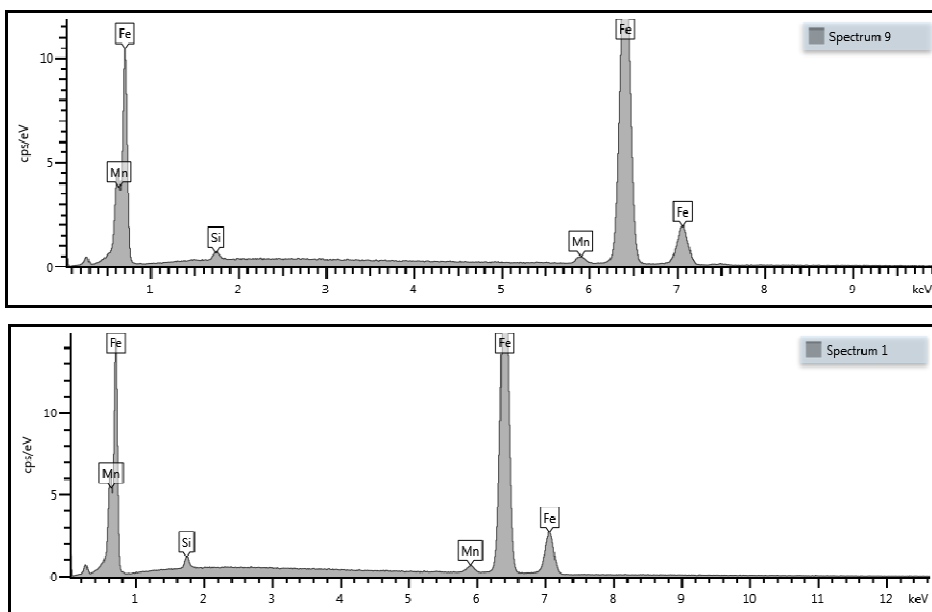
sistema legiranja šava, u visokotemperaturnoj oblasti se obrazuju različite morfološke modifikacije ferita. [12-14]. Mikrostruktura mikrolegiranog čelika, debljine 12mm, uzorak br.1 je data na slici 4a, mikrostruktura konstrukcionog čelika, debljine 10 mm, uzorak br.2 i 3. je prikazana na slici 4b.



a)



b)



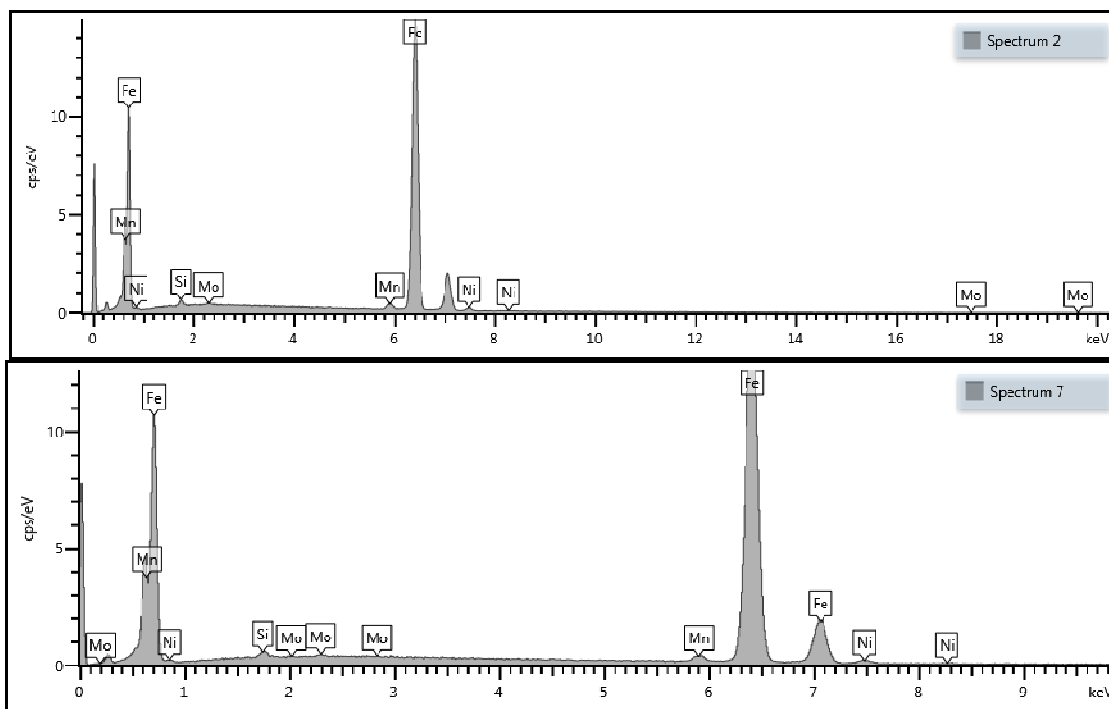
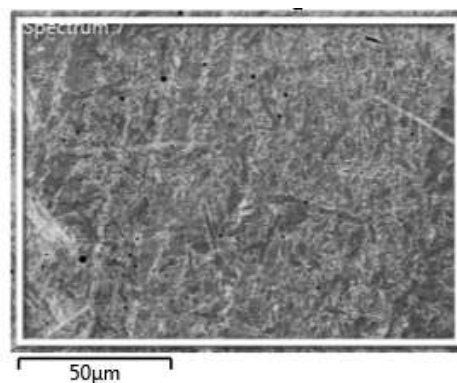
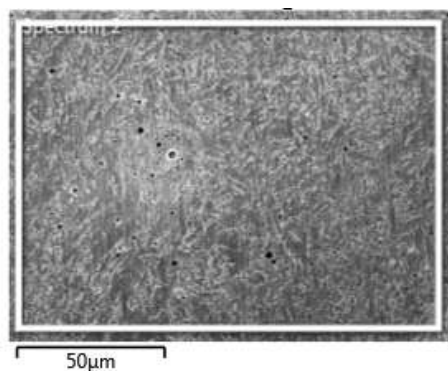
Slika 4 EDS analiza osnovnog materijala: a) uzorak br.1(Spectrum9), b) uzorak br.2 i 3 (Spectr.1)



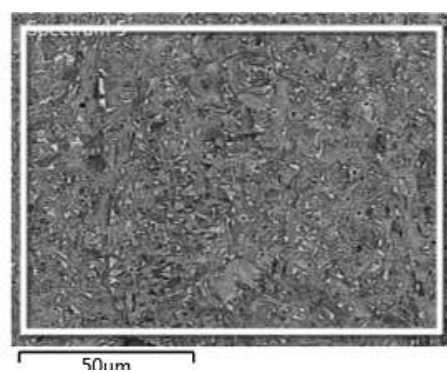
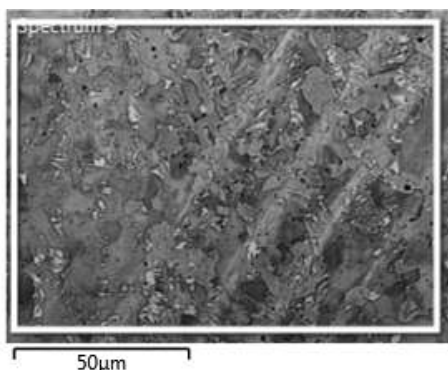
U metalu šava svih prikazanih zavarenih spojeva uočeno je prisustvo različitih morfoloških oblika ferita, a najviše je zastupljen acikularni ferit (AF), ferit sa sekundarnom fazom (FS) i Widmanstattenov ferit (WF).

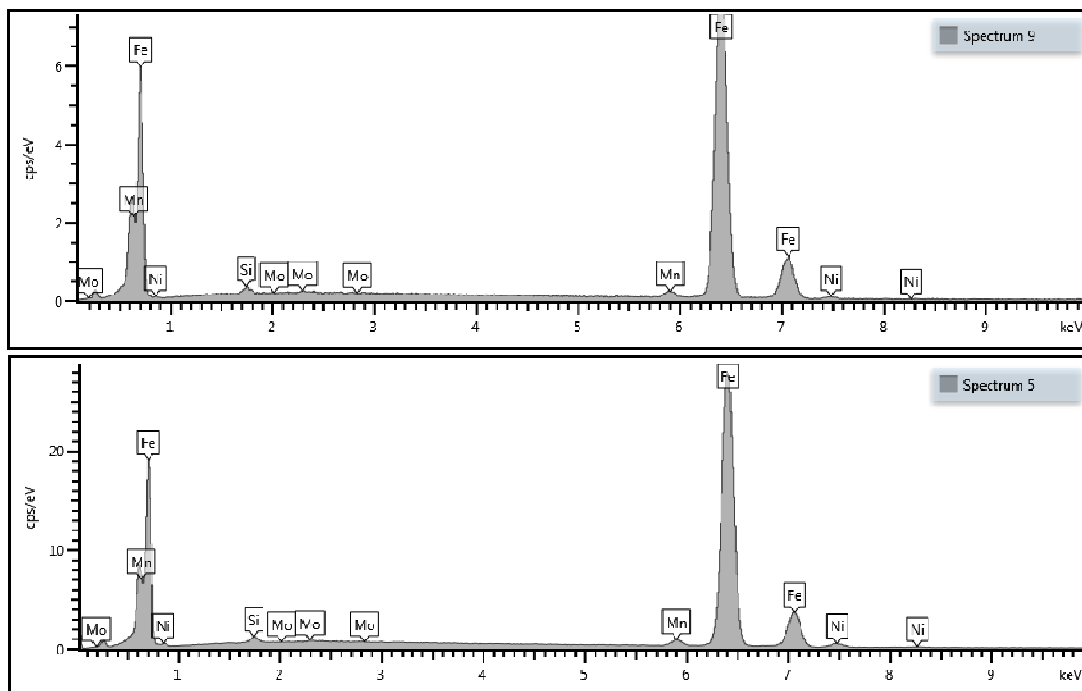
Mikrostrukture metala šava zavarenih spojeva uzorak br.1 i 3 izvedenih sa elektrodom punjenom žicom

oznake PŽ-2Ni se sastoje od ~65-80% AF dok ostatak čini PF + FS, slika 5 i 6, a uzorak br.2 izveden sa elektrodom punjenom žicom oznake PŽ-1Ni se sastoji od ~55-65% AF dok ostatak čini PF + FS, slika 7.

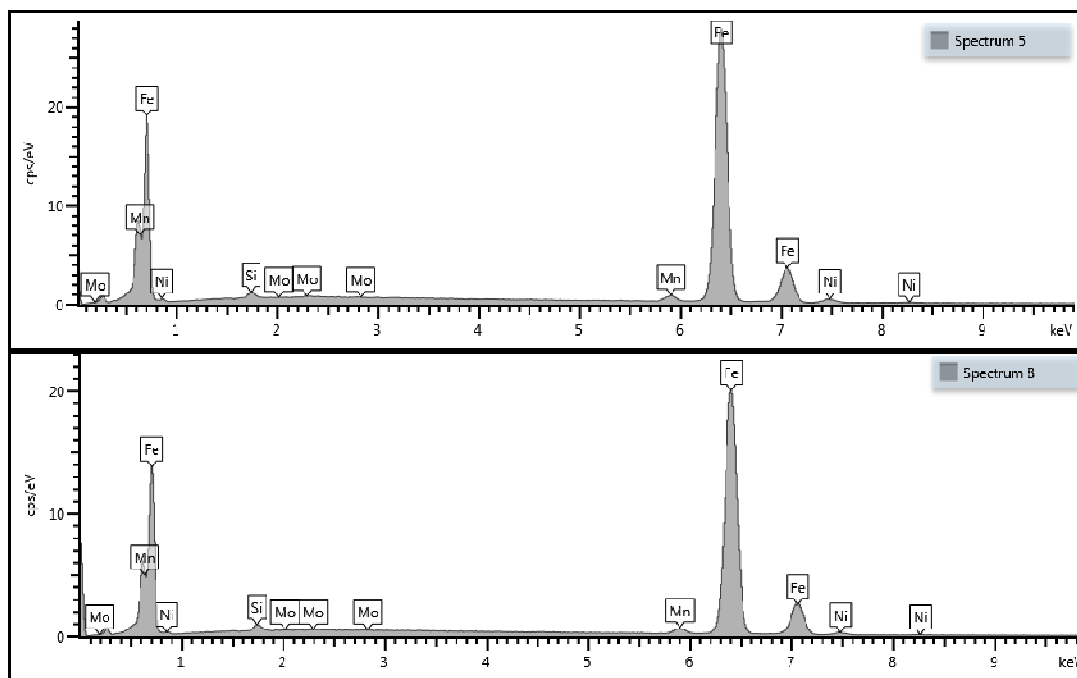
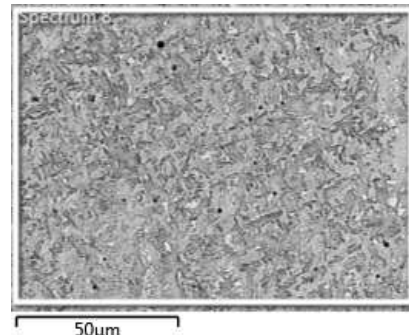
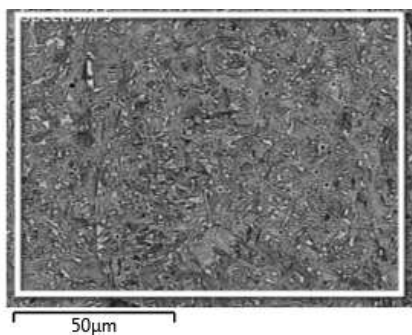


Slika 5. EDS analiza metala šava, uzorak br.1 (Spectrum 2 i 7)





Slika 6. EDS analiza metala šava, uzorak br.2 (Spectrum 5 i 9)



Slika 7. EDS analiza metala šava, uzorak br.3 (Spectrum 5 i 8)



4. ZAKLJUČAK

Na osnovu analize dobijenih rezultata ispitivanja hemijskog sastava, mehaničkih osobina, žilavosti i metalografskih ispitivanja metala šava izvedeog sa dva metalurška kvaliteta punjene legirane žice mogu se izvesti sledeći zaključci:

Povećanje sadržaja legirajućih elemenata (Mn, Ni i Mo) povoljno utiče na povećanje kvaliteta metala šava;

Pouzdan nivo kvaliteta metala šava u pogledu strukturnih i mehaničkih osobina, žilavosti je postignut u punjenoj žici kvaliteta „PŽ-2Ni“ sa 1.6% Mn, 2.6% Ni i 0.50% Mo i može se uspešno primeniti kod zavarivanja mikrolegiranih čelika povišene i visoke čvrstoće.

Sadržaj legirajućih elemenata od 1.2% Mn, 1.6% Ni i 0.30% Mo u punjenoj žici kvaliteta „PŽ-1Ni“ se može preporučiti za zavarivanje niskougleničnih i konstrukcionih čelika.

ZAHVALNOST

The authors are grateful to the Ministry of Science and Technological Development for financing the projects (TR 34016, OI 174004).

LITERATURA

- [1] Nikola S. Bajić,: Razvoj dodatnih materijala sa preporukom za zavarivanje mikrolegiranih čelika, Monografija, ISBN 978-86-89775-00-6, COBISS.SR-ID 204235020, 2013.
- [2] Hrivnjak I.: "Zavarljivost čelika", Građevinska knjiga, Beograd, 1982.
- [3] Kou: Welding Metallurgy, Second edition, New York: John Wiley&Sons, Inc.,2002.
- [4] N. Bajić, D. Bajić, D. Veljić, M. Rakin , Z. Janjušević: The advantages of using activated flux-cored wire compared to solid wire in the MAG welding process from the aspect of metallurgical characteristics. ISSN METABK UDC-UDK: Metallurgy -Journal, 2014, No.1942.
- [5] Semjan V., Katnić LJ. Imamović A. Petrović Ž.: "Teorija zavarljivosti čelika", knjiga, Magenta, Sarajevo, 1989.
- [6] N. Bajić, Vera Sijacki-Zeravčić Blijana Bobić, Dejan Cikara, Miodrag Arsić: Filler Metal Influence on Weld Metal Structure of Micro-Alloyed Steel, manuscript number: 201039, Supplement to the welding journal, Sponsored by the American Welding Society and the Welding Research Council, vol.90, (2011), p:55-62.
- [7] Evans G.M.: "The effect of alloying elements on the mikrostrukture and properties of ferritic all- weld metal deposits", Welding-90, Zurich, Switzelland, 1990
- [8] Evans G.M.: "The effect of molibdenium on the mikrostrukture and properties of C-Mn-weld metal deposits" (I I W 2-A 666-86), 1986.
- [9] Nikola Bajić, Darko Veljić, Marko Rakin, Slobodan Stojadinović, Jasmina Pekez, Mihailo Mrdak: Experimental laboratory for development of fillers and auxiliary materials for welding and soldering, Welding&Welded Structures, LVIII, UDK/UDC:621.791.04, ISN 0354-7965, COBISS.SR-ID 105396743, No 4/2013, I-deo.157-161
- [10] Grabin A.O. Koreun T.T. Solomničuk: "Morfoložičeskije osobennosti strukturi nisko-legirovanovo metala šva i ih vlijanie na svojstva svarnih soedinenij", Avtomatičeskaja Svarka, No10 (1990) 32-37.
- [11] Pohodnja I. K., Golovko V, V.: "Vlijanie kisloroda na obrazovanie strukturi igolčatovo ferrita b nizkolegirovannom metalle svarnih švov", Obzor, Naučno – tehničeskij razdel, Avtomatičeskaja Svarka, No 2(1999) 3-10.