



ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE

WELDING & WELDED STRUCTURES

God. 60 Vol. 60	Br. 4 No. 4	145-192 145-192	Beograd Belgrade	Srbija Serbia	2015. 2015.
--------------------	----------------	--------------------	---------------------	------------------	----------------

ČASOPIS DRUŠTVA ZA UNAPREĐIVANJE
ZAVARIVANJA U SRBIJI

SERBIAN WELDING SOCIETY
QUARTERLY REVIEW

IZLAZI TROMESEČNO

IZDAVAČ / PUBLISHER

**DUZS - Društvo za unapređivanje
zavarivanja u Srbiji**

Adresa: 11000 Beograd, Grčića Milenka 67

Za izdavača / For Publisher

Branislav Lukić, dipl.ing, predsednik DUZS

UREDNIŠTVO / EDITORIAL

Glavni i odgovorni urednik / Editor-in-Chief

Milica Antić, dipl.ing. EWE

duzs@eunet.rs, milicamantic@yahoo.com

Tehnički urednik / Technical Editor

Branislav Lukić, dipl.ing

Redakcijski odbor / Editorial Board

Dr Nenad Radović, dipl.ing.

Dr Bore Jegdić, dipl.ing.

Miloš Pavlović, dipl.ing.

UREĐIVAČKI ODBOR / PUBLISHING COUNCIL

Dr Vencislav Grabulov, dipl.ing, (predsednik)

Prof. dr Miroslav Đurđanović, dipl.ing.

Prof.dr Vukić Lazić, dipl.ing.

Doc.dr Ismar Hajro, dipl.ing. (BiH)

Prof.dr Darko Bajić, dipl.ing. (Crna Gora)

Prof. dr Aleksa Blagojević, dipl.ing. (BiH, Republika Srpska)

Prof. dr Sveto Cvetkovski, dipl.ing. (Makedonija)

Doc. dr Tomaž Vuherer, dipl.ing. (Slovenija)

Prof. dr Ivan Samardžić, dipl.ing. (Hrvatska)

Horia Dascau, dipl.ing. (Rumunija)

REDAKCIJA I MARKETING / EDITORIAL OFFICE AND MARKETING



Vesna Jović
Grčića Milenka 67, I sprat
11000 Beograd



Tel / Fax + 381 (11) 2850-794
(10-16h)



duzs@eunet.rs
www.duzs.org.rs

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд
621.791

ZAVARIVANJE i zavarene konstrukcije :
časopis Društva za unapređivanje zavarivanja
u Srbiji = Welding & Welded Structures :
Serbian Welding Society quarterly review /
glavni i odgovorni urednik = editor-in-chief Milica Antić. –
Vol. 41, no. 1 (1996)- . - Beograd :
Društvo za unapređivanje zavarivanja u Srbiji,
1996-. (Beograd : VIS studio).-29 cm
Tromesečno.

ISSN 0354-7965 = Zavarivanje i zavarene konstrukcije
COBISS.SR-ID 105396743

CENE I NARUDŽBINA ZA 2015.

Cena pojedinačnog broja 825,00 dinara

Godišnja pretplata 2500,00 dinara

Tekući račun: 355-1025530-87

PRICE AND ORDER

Annual subscription: EUR 100

Account No. 000200073783

VBUBRS22 (Vojvođanska banka Novi Sad, Srbija)
IBAN CODE RS35 3550 0000 0200 0737 83

ŠTAMPA / PRINTED

"VIS STUDIO" d.o.o.
Aleksinačkih rudara 35, Beograd
Tiraž: 400 kom.

4/2015

SADRŽAJ:

CONTENTS:



NAUKA • ISTRAŽIVANJE • RAZVOJ

SCIENCE • RESEARCH • DEVELOPMENT

149

MEHANIČKA OBRADA PIKOSEKUNDNIM LASEROM OSNOVNOG MATERIJALA I ZAVARENIH SPOJEVA
LEGURE NIMONIK 263

PICOSECOND LASER SHOCK PEENING OF BASE NIMONIC 263 MATERIAL AND LASER WELDED NIMONIC 263 alloy

Sanja Petronić, Meri Burzić, Dubravka Milovanović, Katarina Čolić, Željko Radovanović



IZ STRANIH ČASOPISA

FROM FOREIGN JOURNALS

157

PULSED SUBMERGED ARC WELDING PROCESS IN ORDER TO REDUCE THE HYDROGEN INPUT DURING THE WELDING OF HIGH-STRENGTH FINE-GRAINED STRUCTURAL STEELS

POSTUPAK PULZIRAJUĆEG ZAVARIVANJA POD PRAŠKOM U CILJU SMANJENJA UNOSA VODONIKA PRI ZAVARIVANJU FINOZRNIH KONSTRUKCIONIH ČELIKA POVIŠENE ČVRSTOĆE

Dipl.-Ing. Johannes Schäfer, Dipl.-Ing. Konrad Willms, Prof. Dr.-Ing. Uwe Reisgen



MIZ

IIW

165

INFLUENCE OF GRAIN SIZE ON MECHANICAL PROPERTIES OF ALUMINIUM GTA WELD METAL

UTICAJ VELIČINE ZRNA NA MEHANIČKE OSOBINE METALA ŠAVA ALUMINIJUMA ZAVARENOG TIG POSTUPKOM

P. Schempp, R. Häcker, A. Pittner, C.E. Cross i M. Rethmeier



OBRAZOVANJE

EDUCATION

179

BAKAR I LEGURE BAKRA



VESTI

NEWS

148

TAKMIČENJE „MLADI ZAVARIVAČ 2015”

156

IN MEMORIAM – BARACSKAI FERENC

171

TAKMIČENJE „MLADI ZAVARIVAČ 2015” - NASTAVAK

177

GODIŠNJA SKUPŠTINA EVROPSKE FEDERACIJE ZA ZAVARIVANJE, SPAJANJE I REZANJE

192

MARKETING

Poštovani čitaoci,

na kraju godine kada obično sabiramo aktivnosti koje smo imali, mogli bismo sa zadovoljstvom da se podsetimo

- **seminara vezanog za primenu novog standarda SRPS ISO EN 9606;**
- **takmičenja mladih zavarivača u Slovačkoj;**
- **seminara vezanog za predstavljanje mogućnosti obrazovanja iz oblasti lepljenja;**
- **i za kraj nacionalnog takmičenja mladih zavarivača.**

Tako se slobodno može konstatovati da je ovo bila veoma uspešna godina.

U sadržaju ovoga broja pored uobičajenih rubrika, postoji i donekle nova rubrika-„ Iz stranih časopisa“.

Pored toga, u rubrici –Vesti imaćete priliku da pročitate izveštaje sa međunarodnog skupa: godišnje skupštine EWF i da, iz iscrpnog izveštaja, pokušate da osetite atmosferu sa takmičenja mladih zavarivača.

Svima koji nas pratite, želimo uspešnu narednu, novu 2016.godinu, lično zdravlje i sreću.



Do sledećeg susreta.

Glavni i odgovorni urednik

Milica Antić, dipl.ing.; EWE



Takmičenje “MLADI ZAVARIVAČ 2015” Lazarevac, 14. Novembar 2015.

U subotu, 14. novembra u RB KOLUBARA DOO Lazarevac – Organizaciona celina KOLUBARA METAL, u organizaciji DUZS - “Društva za unapređivanje zavarivanja u Srbiji” i Tehničke škole “KOLUBARA” Lazarevac održano je **državno prvenstvo mladih zavarivača Srbije “MLADI ZAVARIVAČ 2015”**.



Prvenstvo mladih zavarivača u Srbiji organizovano je po drugi put, u četiri postupka zavarivanja (111 - REL; 135 – MAG; 141 – TIG; 311 - GASNO).

DUZS je 2013. godine organizovalo prvo državno prvenstvo mladih zavarivača u Obrenovcu čiji su pobednici predstavljali Srbiju na evropskom takmičenju **“European Welders Competition – WELDCUP”** u okviru Sajma zavarivanja u Esenu u Nemačkoj 2013. Planovi i želje su nam da održavanje ovakvog takmičenja postane tradicija, a DUZS će sledeće godine od najbolje plasiranih takmičara sa ovogodišnjeg takmičenja formirati ekipu koja će Srbiju predstavljati na svetskom kupu u Pekingu.

Nastavak na strani 171



Sanja Petronić¹, Meri Burzić¹, Dubravka Milovanović², Katarina Čolić¹, Željko Radovanović³

Picosecond laser shock peening of base Nimonic 263 material and laser welded Nimonic 263 alloy

Mehanička obrada pikosekundnim laserom osnovnog materijala i zavarenih spojeva legure Nimonik 263

Originalni naučni rad / Original scientific paper

UDK / UDC: 621.791.725

Rad primljen / Paper received:

Oktobar 2015.

Ključne reči: zavarivanje laserom, obrada laserom, ispitivanje zatezanjem, mikrostruktura, superlegura Ni

Adresa autora / Author's address:

¹ Inovacioni centar Mainskog fakulteta u Beogradu, Beograd, Srbija

² Institut za nuklearne nauke "Vinča", Srbija

³ Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, Srbija

Key words: laser welding, laser treatment, tensile testing, microstructure, superalloy Ni

Abstract

Laser welding is a welding process with a high energy density and numerous advantages over conventional welding methods (narrow heat affected zone, lower heat input, less distortion, and the like.) Mechanical treatment laser is an innovative technique for improving the properties of fatigue resistance, abrasion and corrosion resistance. In this paper, mechanically processed by laser two groups of samples; base materials and laser welded joints. Sheets made of Ni superalloy 2mm thick -millisecond Nd: YAG laser, while the mechanical treatment made picosecond Nd: YAG laser. Welds are tensile tested, and microstructure was observed by optical and scanning electron microscopy. The microhardness was measured by Vickers method with a load of 10 N.

Uvod

Nimonik 263 je superlegura nikla, projektovana za rad na visokim pritiscima i temperaturama. Ova superlegura ima dobru otpornost na koroziju, optimalne termičke karakteristike, kombinovane sa dobrom duktilnošću, otpornosti na puzanje i na zamor, kao i na otpornost na habanje [1-3]. U praksi se često koristi kada se od zavarenih spojeva očekuje bolja duktilnost. Lasersko zavarivanje je zavarivanje visoke gustine energije. Zavarivanje laserom nudi mnoge prednosti u odnosu na konvencionalne metode zavarivanja, a to su: visoka brzina zavarivanja, uska zona uticaja toplote, niska distorziju, jednostavnost

Izvod

Lasersko zavarivanje je proces zavarivanja sa velikom gustinom energije i mnogobrojnim prednostima u odnosu na konvencionalne metode zavarivanja (uska zona uticaja toplote, manji unos toplote, manja distorzija i sl.) Mehanička obrada laserom je inovativna tehnika kojom se poboljšavaju karakteristike otpornosti na zamor, habanje i otpornost na koroziju. U ovom radu, mehanički su obrađene laserom dve grupe uzoraka; osnovnog materijala i laserski zavarenih spojeva. Limovi superlegure debljine 2mm su zavareni milisekundnim Nd:YAG laserom, dok je mehanička obrada obavljena pikosekundnim Nd:YAG laserom. Zavareni spojevi su ispitani zatezanjem, a mikrostruktura je posmatrana optičkim i skenirajućim elektronskim mikroskopom. Mikrotvrdoća je merena po Vikersu sa opterećenjem od 10 N.

automatizacije, mogućnost zavarivanja debelih preska u jednom prolazu i poboljšanu fleksibilnost dizajna [4-8]. Jedna od mnogih karakteristika laserskog zavarivanja je sposobnost zavarivanja bez dodatnog materijala. Mehanička obrada laserom (laser shock peening) je, za razliku od laserskog zavarivanja, mehanička obrada bez topljenja materijala. Ovom obradom se poboljšavaju karakteristike zamora materijala, otpornost na interkristalnu koroziju, otpornost na habanje i oksidaciju, kao i mehaničke osobine materijala. Ako se mehanička obrada laserom uspešno primenjuje, performanse zamora metalnih



komponenti mogu da se znatno povećaju zahvaljujući prisustvu pritisnih zaostalih napona u materijalu [9-13]. Limovi superlegure Nimonic 263 su mehanički obrađeni pikosekundnim laserom, u dve grupe: prva grupa osnovni materijal, i druga grupa laserom zavareni spojevi. U ovom radu su limovi superlegure Nimonic 263, debljine 2 mm zavareni bez dodatnog materijala u dva prolaza. Limovi su zavareni Nd:YAG laserom koji ima

raznih prednosti u odnosu na CO₂ tipove lasera, kao što su visok stepen apsorpcije energije usled male refleksije, visoke brzine zavarivanja i drugo.

Eksperiment

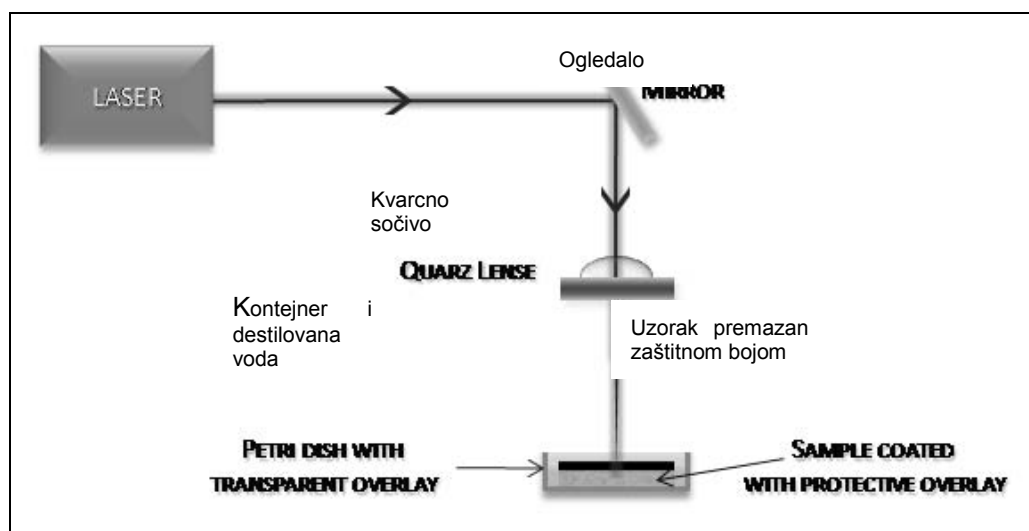
Uzorci superlegure Nimonic 263, pripremljeni u obliku limova dimenzija 10mm x 50 mm x 2mm, polirani su i očišćeni etanolom. Hemijski sastav Nimonic 263 je naveden u Tabeli 1.

Element	C	Si	Mn	Al	Co	Cr	Cu	Fe	Mo	Ti	Ni
%	0.06	0.3	0.5	0.5	20	20	0.1	0.5	5.9	2.2	49.94

Tabela 1. Hemijski sastav superlegure Nimonic 263

Eksperiment se sastojao iz dva dela: u prvom delu osnovni materijal superlegure Nimonic 263 je mehanički obrađen pikosekundnim laserom, a drugom delu su laserski zavareni spojevi mehanički obrađeni pikosekundnim laserom.

U oba dela eksperimenta uzorci su premazani crnom bojom (zaštitnim slojem) i uronjeni u destilovanu vodu, koja je služila kao transparentni sloj. Laserski zrak je vođen sistemom ogledala i fokusiran ispod površine uzorka, pod upadnim uglom od 90 stepeni. Šema eksperimenta za LSP obradu Nimonic 263 uzoraka prikazana je na slici 1.



Slika 1. Šema eksperimenta za mehaničku obradu laserom superlegure Nimonic 263.

Uzorci osnovnog materijala su laserski obrađeni sledećim parametrima procesa: trajanje impulsa 170 ps, talasna dužina impulsa 1064 nm i broj impulsa od 50,100 i 200. Tip lasera je Nd: YAG EKSPLO, model SL212P. Energija impulsa je varirala od 2 mJ do 15 mJ i odgovarajuća gustina energije se kretala od 0,1 do 0,3 J/cm². Dobijene površinske promene su proučavane skenirajućim elektronskim mikroskopom, SEM Model JEOL JSM-5800. Merenja mikrotvrdoće su obavljena po Vickersu pomoću poluautomatskog aparata - Hauser 249A i pod opterećenjem od 10 N. Takođe, morfologija promene površine je analizirana beskontaktnim profilometrom ZIGO NevView 7100.

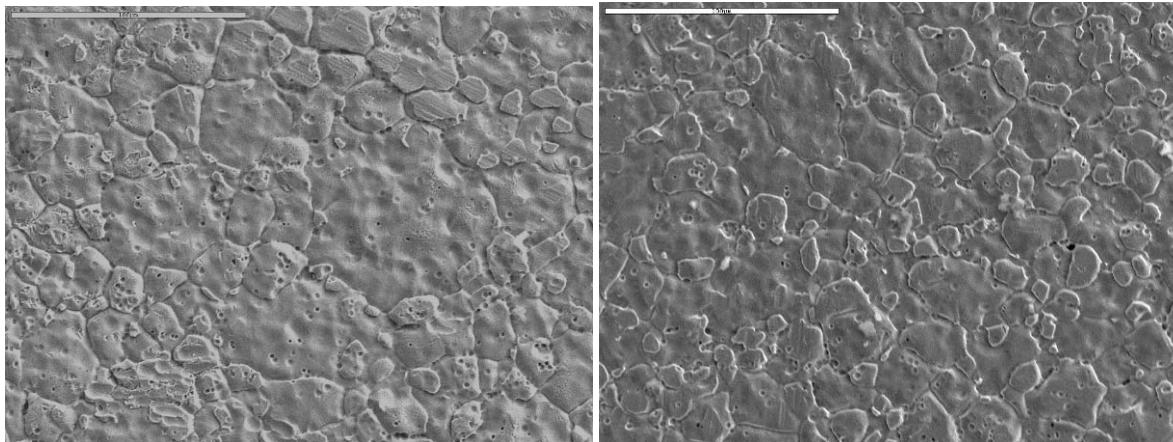
Uzorci superlegure Nimonic 263 su zavareni Nd: YAG parametrima: energija lasera 250 A, trajanjem impulsa od 8,0 ms, veličina spota od 1,0 mm, i frekvencija impulsa od 4,0 Hz. Zavareni spojevi su podvrgnuti mehaničkoj obradi pikosekundnim gore navedenim laserom sa sledećim karakteristikama: talasna dužina 1064 nm, trajanje impulsa 170 PS, režim oko TEM₀₀, frekvencija 10Hz. Energija impulsa je 2 - 15 mJ. Ispitivanjem zatezanjem su određene zatezne karakteristike uzoraka a ispitivanja su obavljena na mašini Shimadzu kapaciteta 250 kN. Uzorci su snimani na SEM i analizirani energo-disperzoionom spektrometrijom.



Rezultati i diskusija

Mikrostruktura osnovnog materijala superlegure Nimonik 263 je prikazana na slici 2. Mikrostrukturu karakterišu veličina zrna $F_m = 232.45 \mu\text{m}^2$, slika 2,

[14]. Mera površine odstupanja devijacije površine je odnos gornjeg i donjeg vrha (peak to valley – PV odnos) i iznosi $48,5 \mu\text{m}$ za osnovni materijal superlegure Nimonik 263.



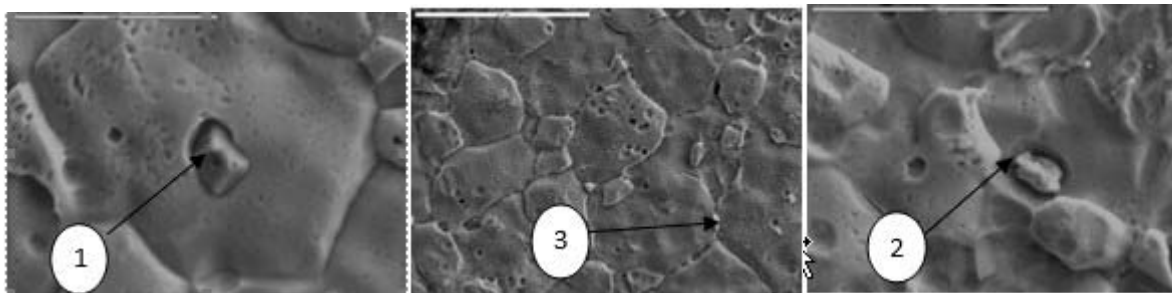
Slika 2. a) Mikrostruktura superlegure Nimonik 263. SEM ; b) posle mehaničke obrade laserom (energija impulse od 10 mJ ($F = 0.2 \text{ J cm}^{-2}$) i talasna dužina od 1064 nm.

Interakcija pikosekundog laserskog impulsa sa metalima je složen proces, [15], jer se radi o nekoliko fizičkih procesa i zavisi od parametara lasera (talasne dužine, trajanje impulsa, energije itd) i površinskog stanja uzorka (hrapavost, koeficijent apsorpcije itd). Baziran na ovom ograničenom ablacionom modu proces mehaničke obrade laserom se može opisati u dvostepenoj sekvenci: 1) brza ekspanzija plazme stvara iznenadni jednoosni pritisak na ozračenu površinu i dilataciju površinskog sloja, 2) okolni materijal reaguje na deformisane površine stvarajući polje pritisnih napona [13,16].

Udarni talasi izazivaju promene u mikrostrukturi blizu površine i uzrokuju formiranje dislokacija velike gustine. Kombinovani efekat mikrostrukturnih promena i nagomilavanja dislokacija doprinosi povećanju mehaničkih osobina blizu površine. LSP poboljšava zamor, koroziju i otpornost metala kroz mehaničke efekte od udarnih talasa.

Slika 2b). predstavlja mikrostrukturu nakon procesa mehaničke obrade pikosekundnim laserom na 1064 nm talasne dužine, impulsa energije od 10 mJ i broja impulsa 100. Kada se povećava broj akumuliranih impulsa mikrostruktura postaje finija, ali nakon 200 impulsa dolazi do delimičnog topljenje materijala pojavljuje i mikrostruktura postaje staklasta. Povećanjem energije impulsa smanjuje se veličina zrna. Najfinija struktura se dobija pri energiji impulsa od 10 mJ, mada su i pri ovoj energiji primetne pore. Pri većim energijama impulsa veći je broj pora.

Promene u mikrostrukturi, izazvane mehaničkom obradom laserom, su tipične za ovu superleguru i odražavaju se formiranjem karbida - TiC, CrC i (Ti, Mo) C, koji se odvajaju na zrnima i na granicama zrna. Titan monokarbid (TiC) je veoma tvrd, stabilan i na visokim i na niskim temperaturama. (Ti Mo) V je karakteristična strukturna komponenta koja prilično utiče na mehaničke i fizičke osobine materijala [17]. Slika 3a) – c) prikazuje faze nastale tokom pikosekundog LSP sa parametrima procesa: talasna dužina 1064 nm, 10 mJ energija laserskog zraka i broj impulsa 100 (Slika 3a i b). Tabela 2 prikazuje rezultate EDS analize mikrokonstituenta označenih na slici 3a) – c). Ovi rezultati sugerišu formiranje raznih faza, kako željenih, tako i neželjenih - u zavisnosti od njihove morfologije, veličine i mesta pojavljivanja. Prema EDS rezultatima spektruma 1, kao i morfologije ovih faza - prilično regularna piramida, može se pretpostaviti da je to Ti karbid. Veličina i mesto formiranja sugerišu da je karbid u Spektrum 1 j neželjena faza koja lako može da izazove stvaranje prslina. Faza prikazana u spektrumu 2. je, prema EDS rezultatima, verovatno TiMo karbid. Ove vrste jedinjenja se odlikuju nepravilnim oblicima i mikrometarskim redom veličine zrna. U tom slučaju, prisustvo TiMo karbida je nepoželjno jer može da izazove stvaranje prslina u materijalu. Na slici 3c) prikazani su mikrokonstituenti čija je elementarna analiza data u tabeli 2 (spektrum 3). Po morfologiji, mestu nastanka i veličini, kao i prema EDS rezultatima smatra se da su ovo Ti karbidi i u ovom slučaju se smatraju povoljnim.



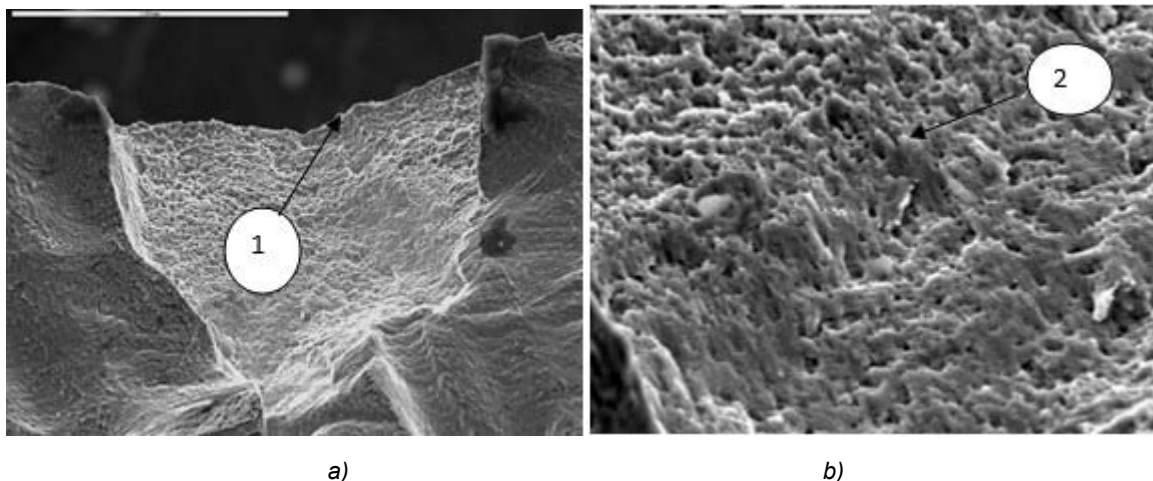
Slika 3. Mikrokonstituenti formirani tokom mehaničke obrade laserom sledećim parametrima: talasna dužina 1064 nm, energija impulsa od 10 mJ, i brojevi impulsa a) 100, b) 100p, c) 50p

Spec	C	Al	Si	Ti	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Mo
Spec 1	11.79	0.11	0.15	49.87	6.96	0.20	0.19	7.41	18.79	4.52
Spec 2	14.56	0.13	0.19	13.36	11.56	1.00	0.33	13.22	34.04	12.19
Spec 3	9.76	0.12	0.15	24.56	13.96	0.5	0.2	15.23	30.92	4.92

Tabela 2. Rezultati EDS analize u tačkama 1, 2 i 3 na slici 3.

U ovom radu, lasersko zavarivanje Nimonic 263 limova je izvršeno različitim parametrima. Parametri koji su obezbedili zavarene spojeve bez grešaka su određeni radiografskim snimanjem. Nakon zavarivanja primenjena je mehanička obrada laserom u cilju dodatnog poboljšanja mehaničkih svojstva i morfologije površine. Slike 4a) i 4b) pokazuju mikrostrukture loma zavarenog spoja Nimonic 263 superlegure nakon ispitivanja zatezanjem. Kao što se očekivalo, svi uzorci su polomljeni u šavu metala zbog činjenice da je zavarivanje izvršeno bez dodatnog materijala. Takođe, mehaničke karakteristike zavarenih spojeva mogu se razlikovati od osnovnog materijala zbog nehomogene distribucije taloženja sekundarnih faza u zavarenim spojevima, kao i zbog mikrosegregacije u interdendritnim oblastima. Vizuelnom observacijom mikrofografija, uočava se da je površina preloma dosta ravnomerna sa

jamicama veličine do 2 μm . Jamice ukazuju na izvesnu duktilnost zavarenog spoja. Na prelomu se ne vidi preferencijalni put loma, a mogu se i jasno uočiti manje čestice. Rupičasti prelom ne ukazuje na postojanje zazora. U tabeli 3 navedeni su rezultati energodisperzivne spektrometrije u mestima označenim na slikama 4a) i 4b). Rezultati pokazuju povećan sadržaj Al. Veličina i morfologija sugerišu formiranje Al oksida. Postojanje ovih čestica na površini loma sugerišu da su mikro šupljine počele na granici čestica/matrica. Rezultati testova zatezne čvrstoće pokazuju da su se prelomi dogodili u zavarenim šavovima. Zatezna čvrstoća je 432 MPa, što je oko 85% od vrednosti zatezne čvrstoće osnovnog materijala. Razlog za to može se naći u različitim morfologijama spajanja tokom procesa zavarivanja laserom [18] i formiranja čestica primećenih u mikroporama.



Slika 4. Mikrostrukture prelomnih površina zavarenog spoja Nimonic 263 legure.

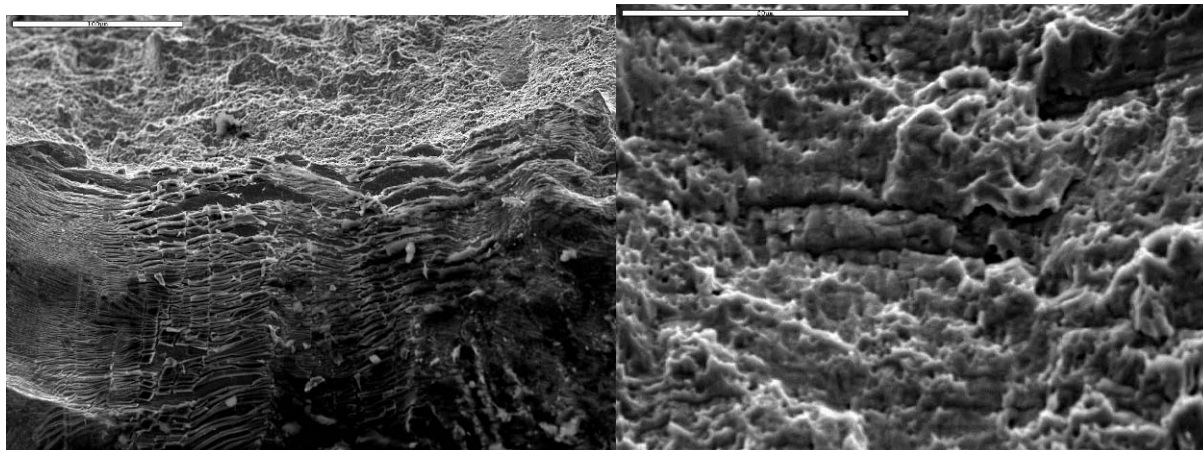


Spect	Al	Si	Ti	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Mo
Spec1	15.9	0.77	1.93	14.02	0.6	0.42	18.52	42.35	4.52
Spec 2	5.71	0.79	2.38	17.13	0.52	0.33	18.95	47.15	6.31

Tabela 3. Rezultati EDS analize u tačkama 1 i 2 na slikama 4a) i 4b)

Slika 5a) prikazuje površinu preloma zavarenih spojeva podvrgnutih tretmanu mehaničke laserske obrade posle zavarivanja. Površina loma je manje uniformna od površine loma netretiranog zavarenog spoja. Postoje jamice koje ukazuju na duktilnost loma, ali je njihov oblik više elipsoidan. Njihova veličina je do 7 μm . To je u skladu sa rezultatima ispitivanja zatezanjem- zatezna čvrstoća uzorka mehanički tretiranog laserom je 442MPa - vrlo slično netretiranom uzorku, ali je izduženje kod mehanički tretiranog uzorka oko tri puta veće nego izduženje kod netretiranog uzorka. Slika 5b) prikazuje prednju stranu zavarenog spoja

naknadno mehanički obrađenu laserom. Može da se primeti da je posle ispitivanja zatezanjem u prvom sloju, nastalom tokom mehaničke obrade laserom, došlo do usitnjavanja i raspadanja prvog sloja na sitne pločice. Pločice su veoma slične po obliku i geometriji, kao i veličini. Veličina ovih lamela je do 10 μm . U tabeli 4 prikazani su rezultati celog područja predstavljenog na slici 5b). Povećani sadržaj Al i Ti ukazuju na formiranje različitih faza. Prema veličini i obliku, i rezultatima u tabeli 4. pretpostavlja se da je došlo do formiranja Ti karbida i Al-oksida.



Slika 5. a) Mikrostruktura prelomne površine naknadno mehanički obrađenog zavarenog spoja Nimonic 263 legure; b) mikrostruktura prednje strane površine naknadno mehanički obrađenog zavarenog spoja Nimonic 263 legure

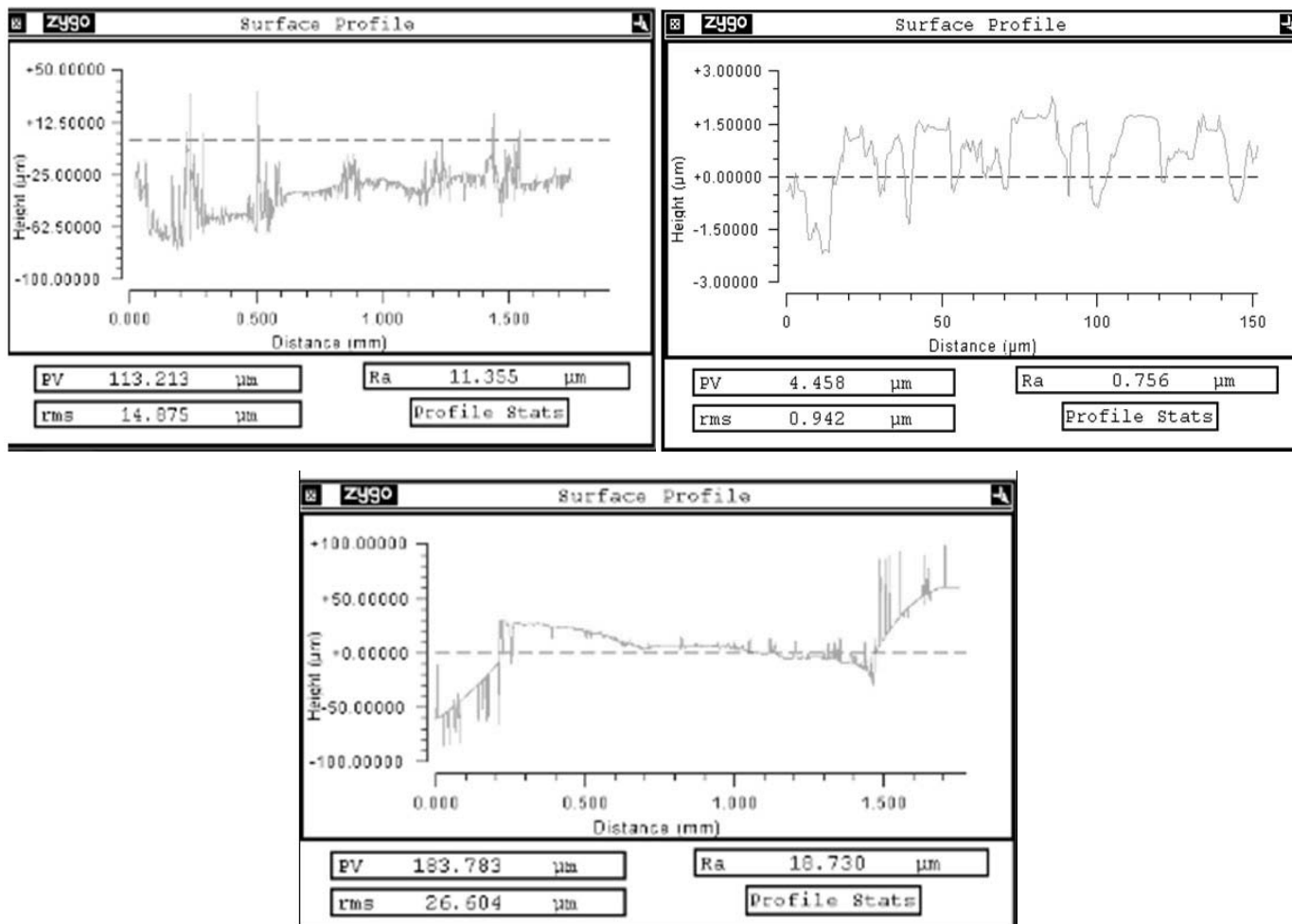
Spect	Al	Si	Ti	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Mo
Slika 5b)	6.2	0.35	9.52	16.94	0.6	0.48	18.23	412.33	5.72

Tabela 4. Rezultati eds analize površine prikazane na slici 5b)

Morfologija površine je od velikog značaja za rad raznih delova mašina. Površinska hrapavost ukazuje da površina nije perfektno ravna i prema tome, koncentracije napona malih veličina mogu da se pojave duž površine materijala. Usled opterećenja usled zamora prsline uvek nastaju na slobodnim površinama. Visoka površinska hrapavost stvara koncentraciju lokalnih napona i ubrzava stvaranje prsline. Kod primene materijala za delove gde se traži otpornost na habanje neophodno je ukloniti hrapavu površinu [18]

Na slikama 6a), 6b) i 6c) prikazani su dvodimenzionalni profili površina posle a) mehaničke obrade laserom osnovnog materijala, b) posle zavarivanja laserom i c) posle mehaničke

obrade laserom laserski zavarenog spoja. Analizom slike 6a) dolazi se do zaključka da je mehanička obrada laserom smanjila odnos gornjeg i donjeg vrha (PV odnos) čak 10 puta. Takođe, srednja hrapavost je umanjena dva puta. Rezultati na slikama 6b) i 6c) pokazuju da PV odnos je 374,15 μm , i srednja hrapavost je 31,3 μm , zavarenog spoja bez naknadne obrade. Rezultati izmereni na zavarenom spoju naknadno mehanički obrađenog laserom pokazuju da PV odnos je 316,15 μm , koren srednje kvadratne (RMS) je 32,58 μm i prosečna hrapavost je 29,15 μm . Može se primetiti da je naknadna mehanička obrada laserom zavarenih spojeva izazvala relativno homogenu modifikaciju površine u celoj oblasti interakcije.



Slika 6. Dvodimenzionalni profili: a) LSP osnovnog materijala, b) zavarenog spoja c) LSP zavarenog spoja.

Mikrotvrdoća je merena po Vickersu, pod opterećenjem od 10 N za vreme utiskivanja od 10 sec. Mikrotvrdoća osnovnog materijala je iznosila 238,1 HV1, dok je mikrotvrdoća laserom mehanički obrađenog osnovnog materijala iznosila 260 HV1. Nakon laserskog zavarivanja mikrotvrdoća je povećana, tako da je u zoni uticaja toplote izmerena vrednost 248 HV1, dok je u zavarenom spoju vrednost 258 HV1. Mehanička obrada laserom povećava mikrotvrdoću površine osnovnog materijala. Međutim, kod laserom zavarenih spojeva, mehanička obrada povećava mikrotvrdoću u samom šavu dok u zoni uticaja toplote nema bitnih promena i uticaja.

Zaključak

Mehanička obrada laserom poboljšava kvalitet površina, povećava mikrotvrdoću i izaziva povoljne mikrostrukture transformacije, koje teoretski ukazuju na moguća poboljšanja mehaničkih karakteristika i zamor. Usled mehaničke obrade laserom dolazi do mikrostrukturnih promena i stvaraju se poželjne i nepoželjne faze.

Zavarivanje laserom je dalo zadovoljavajuće rezultate u pogledu mehaničkih osobina s obzirom da je zavarivanje rađeno bez dodatnog materijala. Prelomne površine su uniformne, jamičaste što ukazuje na duktilnost zavarenog spoja.

Mehaničkom obradom zavarenog spoja smanjena je hrapavost i odnos gornjih i donjih pikova. Povećana je mikrotvrdoća i osnovnog materijala i zavarenog spoja. Nakon mehaničke obrade zavarenog spoja izdvojio se sloj po površini koji se prilikom ispitivanja zatezanjem raspapčao u pločice pravilnih oblika.

Zahvalnost

Rad je proizašao iz projekata ministarstva za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj TR35460, TR35024 i ON 172019.



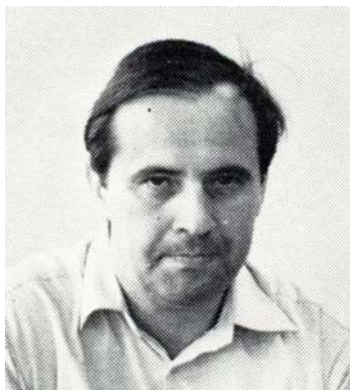
Literatura

- [1] Murthy, G.V.S., Ghosh, S., Das, M., Das, G., Ghosh, R.N.: Correlation between ultrasonic velocity and indentation-based mechanical properties with microstructure in Nimonic 263, *Material Science and Technology*: A 488 (1-2), (2008), 398-405.
- [2] Pollock, M.T., Tin, S.: Nickel-Based Superalloys for Advanced Turbine Engines: Chemistry, Microstructure, and Properties, *Journal of Propulsion and Power*, 22 (2), (2006), 361-374.
- [3] Petronic, S., Kovacevic, A.G., Milosavljevic, A., Sedmak, A.: Microstructural changes of Nimonic 263 superalloy caused by laser beam action. *Physica Scripta*, T150, (2012), 014080 – 014084.
- [4] Liu, X.B., Yu, G., Pang, M., Fan, J.W., Wang, H.H., Zheng, C.Y.: Dissimilar autogenous full penetration welding of superalloy K418 and 42CrMo steel by a high power CW Nd:YAG laser, *Applied Surface Science* 253, (2007), 7281–7289.
- [5] Jeon, M., Lee, J.H., Woo, T.K., Kim, S.: Effect of Welding and Post-weld Heat Treatment on Tensile Properties of Nimonic 263 at Room and Elevated Temperatures, *Metallurgical and materials transactions A*, 42A, (2011), 974-985.
- [6] Odabasi, A., Unlu, N., Goller, G., Kayali, E.S., Eruslu, M.N.: Assessment of the effects of heat input on microstructure and mechanical properties in laser beam welded Haynes 188 undermatched joints, *Materials Science & Engineering A* 559, (2013), 731–741.
- [7] Guo, W., Dong, S., Guo, W., Francis, J.A., Li, L.: Microstructure and mechanical characteristics of a laser welded joint in SA508 nuclear pressure vessel steel, *Materials Science and Engineering A*, 625, (2015), 65-80.
- [8] Buckson, R.A., Ojo, O.A.: Analysis of the Influence of Laser Welding on Fatigue Crack Growth Behavior in a Newly Developed Nickel-Base Superalloy *Journal of Materials Engineering and Performance*, 25, 2014,
- [9] Clauer, A.H., Holbrook, J.H., Fairand, B.P.: Effects of laser induced shock waves, In: M.A. Meyers, L.E. Murr (ed), *Shock Waves and High-strain, Phenomena in Metals*, Plenum Press, New York, (1998), 675–703.
- [10] Petronic, S., Milovanovic, D., Milosavljevic, A., Momcilovic, M., Petrusko, D.: Influence of picosecond laser irradiation on nickel-based superalloy surface microstructure, *Physica Scripta*, T149, (2012), 014079- 014083.
- [11] Hong, Z., Chengye, Y.: Laser shock processing of 2024-T62 aluminum alloy, *Materials Science and Engineering A257*, (1998), 322–327.
- [12] Yilbas, B.S., Shuja, S.Z., Arif, A., Gondal, M.A.: Laser-shock processing of steel, *J Mater Proc Technol*, 135, (1), (2003), 6-17.
- [13] Peyre, P., Fabbro, R.: Laser shock processing: a review of the physics and applications, *Opt. Quant. Electr.* 27 (12), 1995.
- [14] Schumann, H.: *Metallographie*, Leipzig: Deutscher Verlag fuer Grundstoffindustrie, (in German), (1974),
- [15] Bauerle, D.: *Laser Processing and Chemistry*, Springer Verlag, Berlin, (2003). 13-256.
- [16] Devaux, D., Fabbro, R., Tollier, L., Bartnicki, E.: Generation of shock waves by laser-induced plasma in confined geometry, *J. Appl. Phys.* 74 (4), (2012), 2268-2273.
- [17] Jang, J. H., Lee, C.H., Heo, Y.U., Suh, D.H.: Stability of (Ti,M)C (M=Nb, V, Mo and W) Carbide in Steels using First-Principles Calculations, *Acta Materialia* 60, (2012), 208-217.
- [18] Sahaya Grinspan, A., Gnanamoorthy, R.: Surface modification by oil jet peening in Al alloys, AA6063-T6 and AA6061-T4 Part 2: Surface morphology, erosion, and mass loss. *Applied Surface Science*, 253, (2), (2006), 997-1005.



IN MEMORIAM

**BARACSKAI /JANOS/ FERENC, dipl.inž.mašinstva IWE
1942-2015**



Baracskai /Janoša/ Ferenc rođen je 9. Juna 1942. Godine u Subotici. Svoj radni vek zasnovao je u rodnoj Subotici u „Bratstvu“ fabrici šinskih vozila 2. decembra 1969. godine.

Kao mladom i perspektivnom inženjeru mašinstva, nakon završene specijalizacije iz zavarivanja povereni su mu zadaci kordinatora za zavarivanje. Vremenom se usavršavao i postao je jedan od vodećih stručnjaka u zavarivanju u bivšoj SFRJ. Pored zavarivanja imao je izraziti talenat u konstruisanju. Konstruisao je više mašina i uređaja koji su fabrici doneli prednost u odnosu na druge fabrike vagona u dobijanju poslova. Naročito se može izdvojiti uređaj za navarivanje bandaža sa kojim je jedini u bivšoj SFRJ uspeo da kvalifikuje postupak navarivanja bandaža kao i konstrukcija pribora za obradu obrtnih šolja na postoljima vagona. Za potrebe izrade čelične konstrukcije za lučke dizalice konstruiso je mašinu za savijanje debelih limova i valjanih profila. Kao rukovodilac odeljenja za zavarivanje pored zavarivanja vodio je i konstrukciju alata i naprava za zavarivanje i tako podigao tehnološki nivo fabrike na visok nivo što je obezbeđivalo prednost fabrike u dobijanju poslova. U okviru odeljenja vodio je školu zavarivanja i obezbedio da „Bratstvo“ bude predstavnik „Zavoda za Zavarivanje“ iz Beograda za atestaciju zavarivača. Izrađivao je tehnologije zavarivanja, radio kvalifikacije postupka zavarivanja i vršio nadzor zavarivanja u procesu proizvodnje, ocenjivao redgenske snimke, bavio se izborom opreme za zavarivanje i svim poslovima u skladu sa dokumentima sistema kvaliteta, što je ukazivalo na njegovu svestranost i visoku stručnost u oblasti zavarivanja i konstruisanja. Iako stručnjak, imao je znanja i hrabrosti da prihvati veliku odgovornost koju zahteva sama oblast zavarivanja i konstruisanja. Učestvovao je i u istraživačkom radu u oblasti zavarivanja.

Penzionisan je sa 40 godina staža i 67 godina života 30.4.2010. godine. Svoj životni vek završio je godine 2015.

Baracskai Ferenc ne samo što je bio veran svojoj fabrici i svojoj profesiji inženjera zavarivanja nego je bio i izuzetan stručnjak, dobro organizovan i strog prema saradnicima a najviše prema sebi. Pedantan, težio je savršenosti.

Godine 1980 dodeljena mu je Oktobarska nagrada oslobođenja grada Subotice. Nagrađen je i sa Pro urbe, nagradom koju dodeljuje Skupština Grada Subotice, 2002 godine. Nagrada se dodjeljuje za istaknuta dela koja u velikoj meri doprinose ugledu Grada podizanjem njegovih materijalnih i duhovnih vrednosti.

U privatnom životu bio je povučen i tih čovek sa navikama nekima čudnim, a nekima veoma shvatljivim. Voleo je duge šetnje te je svakodnevno ceo svoj radni vek dolazio peške na posao; voleo je prirodu te ga i okolina grada dobro zna, razumeo se u gljive i njihov svet i uspešno ih pronalazio i odabirao one najbolje, i brao. Voleo je da se druži sa drvećem i oblacima i u miru prirode i duše iznalazi najbolja tehnološka rešenja za svoju fabriku.

Smrt ga je odvojila od svih aktivnosti koje je voleo ali njegova delatnost nam ostaje u večiti spomen. Neka mu je slava i hvala.

kolektiv Tatravagonkbratstvo



Dipl.-Ing. Johannes Schäfer, Dipl.-Ing. Konrad Willms, Prof. Dr.-Ing. Uwe Reisgen

Pulsed submerged arc welding process in order to reduce the hydrogen input during the welding of high-strength fine-grained structural steels

Postupak pulzirajućeg zavarivanja pod praškom u cilju smanjenja unosa vodonika pri zavarivanju finostrukturnih konstrukcionih čelika povišene čvrstoće

Originalni naučni rad / Original scientific paper

UDK / UDC: Weld World (2014) 58:491–497;

DOI 10.1007/s40194-014-0132-0

Rad primljen / Paper received:

Oktobar 2015.

Adresa / Author's :

Dipl.-Ing. Johannes Schäfer,

Dipl.-Ing. Konrad Willms,

Prof. Dr.-Ing. Uwe Reisgen

Prevod izvornog rada na srpski jezik: Milica Antić, dipl.ing

Rad preuzet iz časopisa Welding and Cutting 14 (2015)

No.4 uz saglasnost autora.

Abstract

The utilisation of high-strength fine-grained structural steels for applications in steel construction, vehicle construction and pipeline construction is increasing continuously. In addition to the substantial weight savings by reducing the wall thicknesses, the resource consumption and thus the production costs can be reduced considerably by utilising these steels in welded structures. One problem resulting from the use of a submerged arc welding process for such applications is the danger of hydrogen input, particularly due to the use of the welding fluxes. In this study, the decrease in the hydrogen input into the weld metal of high-strength fine-grained structural steels was investigated by using a submerged arc welding process in a pulse-modulated form of direct current. In this respect, it was possible to observe that the cavity is not formed up to its final size due to the constant change between a pulse condition and a basic condition within the basic phase. This results in a smaller cavity volume with a lower partial hydrogen pressure on average and thus also in a reduction in the contact area to hydrogen sources.

1. Uvod

Značaj finostrukturnih konstrukcionih čelika povišene čvrstoće u čeličnim konstrukcijama, konstrukcijama vozila i cevovoda kontinualno raste zbog uštede na težini. Međutim, korišćenje ovih čelika je povezano sa pogodnim procedurama spajanja kojima bi se mogao postići zahtevani kvalitet izrade uz

Rezime

Korišćenje finostrukcionih čelika povišene čvrstoće za čelične konstrukcije, konstrukcije vozila i cevovoda kontinualno raste. Dodatno, osnovna ušteta na težini, smanjenjem debljine zida, potrošnje resursa i čak proizvodnih troškova može se značajno smanjiti korišćenjem ovih čelika u zavarenim konstrukcijama. Jedan problem koji može da se javi pri korišćenju postupka zavarivanja pod praškom za takve primene je opasnost od unosa vodonika, posebno zbog korišćenja praškova za zavarivanje. U ovoj studiji se istražuje smanjenje unosa vodonika u metal šava finostrukcionih čelika povišene čvrstoće korišćenjem postupka zavarivanja pod zaštitom praška u impulsno-modulovanom obliku jednosmerne struje. Sa tog stanovišta moguće je postići to da se ne stvaraju šupljine njihove konačne veličine usled konstantne promene između pulzirajućih uslova i baznih uslova. Ovo rezultuje u manjoj zapremini sa nižim parcijalnim pritiskom vodonika od srednje vrednosti uz redukciju kontaktne površine izvora vodonika.

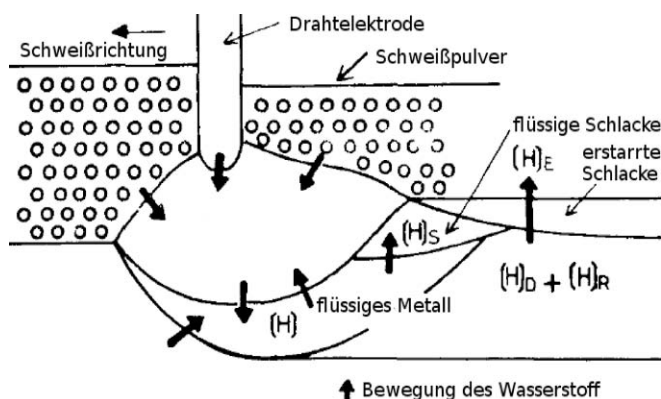
odgovarajuću ekonomičnost. Kao uspostavljeni postupak spajanja, trenutno je najviše korišćen postupak zavarivanja u zaštiti gasa (GMA). Bilo bi vredno težiti ka dostupnosti dodatnih procedura izrade s višim stopama brzina deponovanja i povećane pouzdanosti procesa. Uzimajući u obzir



ove kriterijume, zavarivanje pod praškom je izuzetno pogodan proces jer pokazuje, ne samo lako rukovanje i vrlo visoku pouzdanost, već takođe i velike brzine deponovanja i širok opseg primene. Međutim, jedan nedostatak postupaka zavarivanja topljenjem, je uvek uzrokovan vodonikom, koji je ugrađen u metal šava i može da dovede do hladnih prslina posle zavarivanja. Dok zavarivanje finostrukturnih konstrukcionih čelika povišene čvrstoće predstavlja ekstremno povećanje opasnosti od nastanka prslina, samo postupci zavarivanja koji količinu ugrađenog vodonika mogu da održavaju na minimumu se mogu ovde koristiti. Međutim, veća količina apsorbiranog vodonika može da se očekuje u slučaju postupaka zavarivanja kod kojih postoje mineralne šljake, npr. zavarivanje u zaštiti praška (SA) ili ručnog elektrolučnog zavarivanja. Kako bi se ipak iskoristile prednosti EPP zavarivanja u slučaju ovih aplikacija, potrebno je preduzeti mere u vezi postupka kako bi se smanjila količina vodonika koji bi bio upijen u rastoplenu kupku, za vreme zavarivanja. Zato je jedna modifikacija postupka koja može da dovede do povećanja pouzdanosti tokom EPP zavarivanja finostrukturnih konstrukcionih čelika povišene čvrstoće, obuhvaćena projektom istraživanja koji je vodio i finansirao AiF na odeljenju za zavarivanje i spajanje "(ISF)" RWTH Univerziteta u Ahenu.

2. Cilj i primena

Ova modifikacija postupka je namenjena za korišćenje impulsno modulovane jednosmerne struje tokom EPP zavarivanja u cilju postizanja smanjenja zapremine šupljine i, kao rezultat toga, unosa vodonika u metal šava finostrukturnih konstrukcionih čelika povišene čvrstoće. Ovo je namenjeno za proširenje primenljivosti EPP zavarivanja sa velikom ekonomičnošću čak i kod čelika koji imaju napon tečenja od oko 690 MPa i



Slika 1 • Model apsorpcije vodonika u metal šava tokom zavarivanja pod praškom [1].

sada imaju posebno izraženu opasnost od nastanka prslina. Međutim, istovremeno, opasnosti od hladnih prslina i obim termičke obrade će biti smanjene, a mogućnost primene postupka za izvođenje zavarenih spojeva bez prslina se može proširiti na slučaj čelika sa nižom čvrstoćom. Prema tome, pouzdanost procesa tokom rada na čeličnim materijalima osetljivim na hladne prsline se može povećati korišćenjem modifikovanog zavarivanja pod praškom sa komparativno malim obimom angažovanja mašina i, u odnosu na ekonomičnost, može da se uradi alternativna tehnologija zavarivanja koja se može uporediti sa GMA postupkom zavarivanja koji pripada sadašnjem nivou znanja. Veličina šupljine ili njena zapremina uslovljena je, u slučaju EPP zavarivanja sa impulsno modulovanom jednosmernom strujom. U tom pogledu, šupljina u baznoj fazi nema mogućnost da bude stvorena do svoje konačne veličine, što dovodi do manje zapremine šupljine u preseku. Međutim, manja zapremina šupljine rezultuje u manjoj količini gasne mešavine u šupljini što, među drugim supstancama, uključuje i udeo vodonika. Kao dodatak ovim uticajima na vodonik, smanjenje zapremine takođe vodi direktnoj vezi uticaja na profil šupljine. I u ovom slučaju, kroz promene konstantne veličine dolazi do manje interakcije u procesima difuzije vodonika, u odnosu na prosečne vrednosti, sl.1. Upravo u slučaju zavarivanja pod praškom, prašak za zavarivanje posebno ima vrlo jak karakter higroskopnosti i pored odgovarajućih dodatnih sušenja. Prema tome, odgovarajući procesi difuzije mogu da počnu kroz kontaktnu površinu praška za zavarivanje i šupljine. Obe opisane uticajne promene tada dovode do mogućnosti postizanja smanjenja unosa vodonika korišćenjem modifikovanog postupka zavarivanja pod praškom.

Schweißrichtung	Welding direction	Pravac zavarivanja
Drahtelektrode	Wire electrode	Elektrodna žica
Schweißpulver	Welding flux	Prašak za zavarivanje
flüssige Schlacke	Liquid slag	Tečna troska
erstarre Schlacke	Solidified slag	Očvsila troska
flüssiges Metall	Liquid metal	Tečni metal
Bewegung des Wasserstoffs	Movement of hydrogen	Pomeranje vodonika



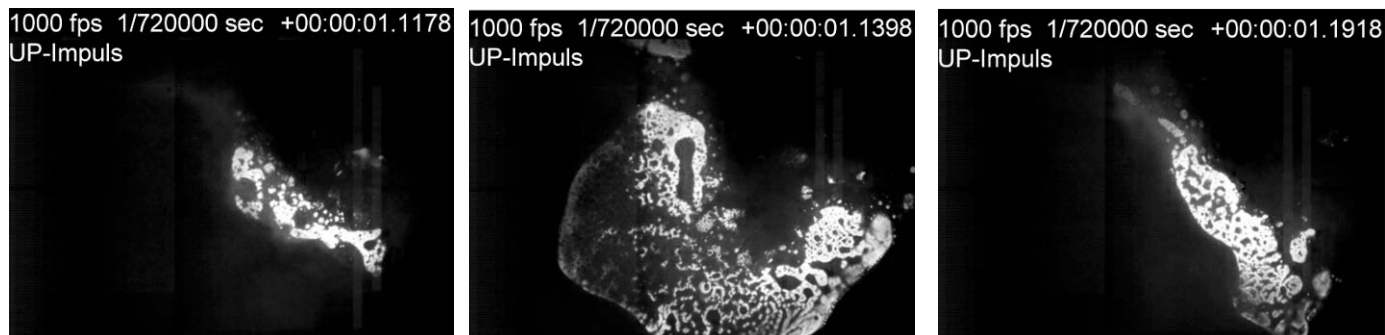
EPP postupak zavarivanja je modifikovan korišćenjem impulsno-modulisane jednosmerne struje kontrolom signala kvadratnih talasa. Preliminarna istraživanja prema [2] indikuju da epruvete zavarene naizmeničnom strujom kvadratnog talasa pokazuju manji udeo vodonika nego spojevi zavareni naizmeničnom strujom sinusnog talasa. Ispostavilo se da su sadržaji vodonika postignuti na ovaj način, manji za kurs kvadratnog talasa. Ovo se pripisuje izbegavanju skokova napona. Prema [2], dalje smanjenje sadržaja vodonika se postiže korišćenjem jednosmerne struje i uzrokovano je zahtevanim smanjenim naponom što rezultuje u manjem stepenu jonizacije vodonika. Kao drugo moguće objašnjenje, može se dodati da se veća zapremina troske topi potpuno tokom prolaza kroz negativni polutalas u slučaju naizmenične struje zavarivanja. Sa ovim nalazima, dole navedeni, ilustrovani rezultati zasnovani su na korišćenju impuls-modulovane jednosmerne struje kojima se ciljano utiče na promene šupljine koja nastaje između impulsa i osnovne faze. U bilo kojem slučaju, inertni karakter šupljina znači da se samo pri frekvenciji od 5 Hz i 20 Hz mogu pratiti električne karakteristike i na taj način osiguravati konstantne promene promenljivih. Još dok izvori struje za stvaranje impuls-modulovane jednosmerne struje nisu bili na raspolaganju na početku ovog projekta, analogno je korišćen longitudinalno regulisan izbor struje korišćen za EPP zavarivanje. U cilju implementacije modulacije impulsa, izvor struje za zavarivanje kontrolisan je spolja korišćenjem sistema National

Instruments® koji dopušta pulziranje šupljine unutar željenih frekvencija od 5 Hz do 20 Hz.

Materijal za ispitivanje koji je korišćen u ovom istraživanju je čelik S960 QL na čijoj su površini zavarivanja izvedena sa fluorid-baznim praškom za zavarivanje prema ISO 14174 - S A FB 1 55 AC klasa sadržaja vodonika od H3 i H5 kao i žice prema DIN EN ISO 26304-A - SZ3Ni2.5MoCr prečnika 2 mm i 4 mm.

3. Karakterizacija veličine šupljine

Korišćene su različite metode za dokazivanje uticaja koji modulacija impulsa vrši na veličinu šupljine. One se sastoje, ne samo od fotografija snimljenih velikom brzinom o ponašanju šupljine, već takođe merenjem pritiska unutar šupljine, koji su uzeti sinhrono kako bi se snimili kursevi struja / napon. Fotografije snimljene velikom brzinom EPP procesa uzete su paralelno i poprečno na pravac zavarivanja i razotkrile šupljine na različite načine. Za vizualizaciju upravno na smer zavarivanja, EPP -om zavarena površina uz ivicu čeličnih uzoraka fiksirana je diskom od kvarcnog stakla na svoju stranu, i na taj način se dozvoljava slobodan pogled na unutrašnjost šupljine, sl. 2. Mada ovo utiče na ponašanje u šupljini, relativno poređenje je moguće u različitim fazama impulsa. Tip prenosa metala može se takođe posmatrati ovom metodom. Korelacijom ovih kvalitativnih rezultata sa izmerenim vrednostima vodonika sa komparativnim parametrima zavarivanja, bilo je moguće proširiti razumevanje mehanizama apsorpcije vodonika u metal šava.



Slika 2 • Faze impulsa u šupljini: bazni ka impulsu (levo), impuls (centar) i impuls ka baznom (desno); fotografija upravno na pravac zavarivanja.

Izraziti uticaji na veličinu šupljine odgovaraju kursu impulsa i uočeni su u ispitivanom opsegu frekvencija između 5 Hz i 20 Hz, sl. 2. U tom smislu, šupljina je, u delu odvojenom od diska od kvarcnog stakla gotovo u potpunosti u osnovnoj fazi. Dakle, nije bilo prepoznatljivih šupljina na vreme. Međutim, povećanje u veličini šupljine do ukupnog stvaranja u fazi impulsa, je ponovo uspostavljeno tokom prelaska u fazu impulsa. Osim

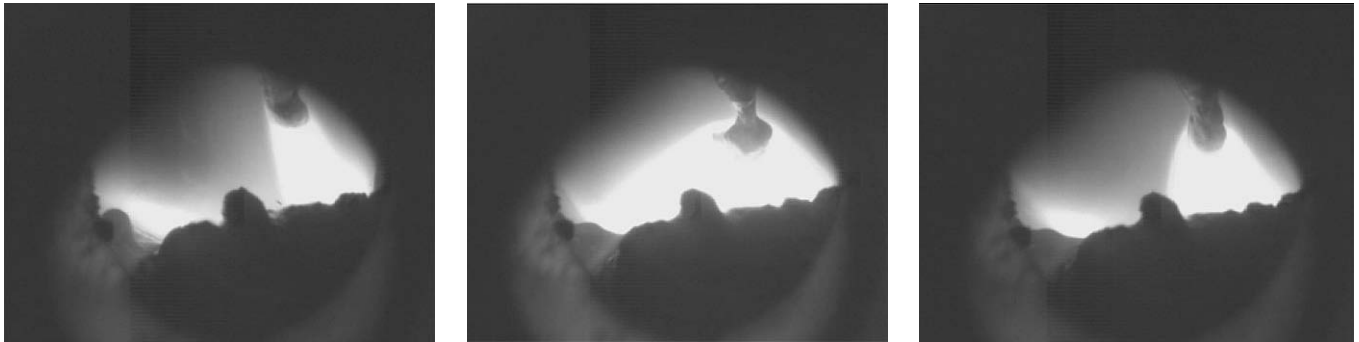
toga, odvajanje kapljica u šupljinu u kojoj se kapljice uglavnom prenose u rastopljenju kupku preko diska od kvarcnog stakla je takođe prepoznatljiv u vidljivim fazama. Iz testova izvršenih na različitim frekvencijama impulsa, frekvencija od 15 Hz je ustanovljena kao optimalna za uticaj na veličinu šupljine.

Kao dodatak ovom istraživanju, proces EPP je takođe praćen video zapisom paralelno na pravac



zavarivanja. Metoda opisana u [3] je primenjena u ovom slučaju. Ovom metodom, zavarivanje je sprovedeno prema keramičkoj cevi koja je umetnuta u žleb za svrhe fiksiranja. U momentu kada se šupljina stvara veza sa keramičkom cevi, odgovarajuća tehnologija velikih brzina nudi mogućnost uzimanja fotografija u cilju posmatranja procesa u šupljini, sl. 3. Međutim, za vreme izvođenja testa, slab kontra pritisak uvek mora da postoji u keramičkoj cevi prema šupljini jer bi mešavina gasova inače pobegla iz šupljine u

keramičke cevi i na taj način izazvala nestabilno ponašanje procesa. U svakom slučaju, kontra pritisak, za koji je korišćen argon, ne sme prelaziti određenu vrednost, jer bi uvedeni gas u suprotnom, izazvao protok u šupljinu i uvećao ga ili doveo do opšteg uticaja na proces zavarivanja. Kada su izvedeni testovi žicom prečnika od 2 mm, za protok od 5 l / min se ispostavilo da je optimalna vrednost za gas pomoću keramičke cevi unutrašnjeg prečnika 8 mm.

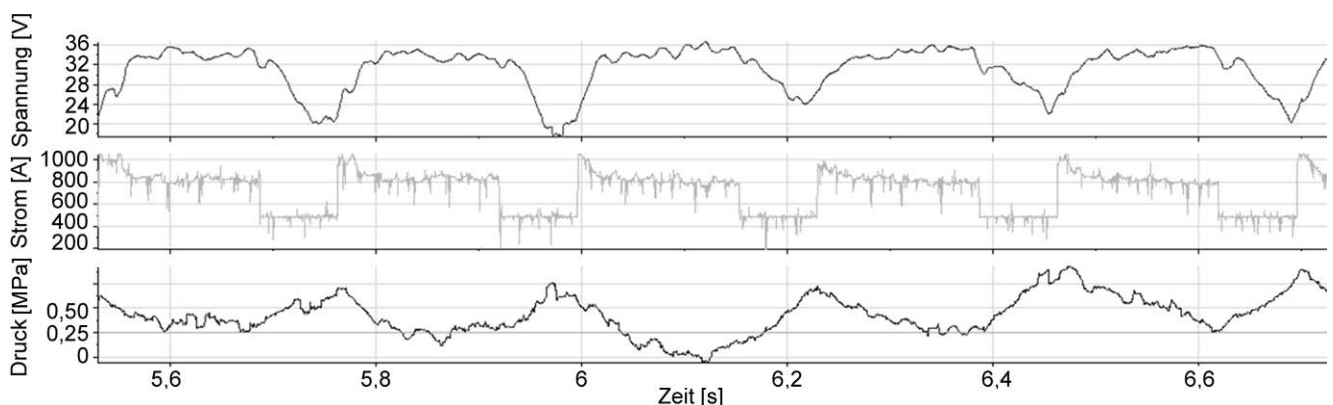


Slika 3 • Faze impulsa u šupljini: bazni ka impulsu (levo), impuls (centar) i impuls ka baznom (desno); fotografija paralelno sa pravcem zavarivanja

Prilikom analize fotografija snimljenih velikom brzinom, izrazita promena u stubu luka uočena je u zavisnosti od kursa impulsa. Na primer, bio je jasno sužen u formiranju osnovne faze, sl. 3 vrh, a manje kapljice su se odvajale sa žičane elektrode. U fazi impulsa, kapljice su odvajale u kapima većeg prečnika. sl. 3 centar, uz stvaranje znatno šireg luka, jer je primenjen napon veći nego u osnovnoj fazi. Uz primenjene metode, bilo je moguće dokazati da značajan uticaj na veličinu šupljine može biti izvršen sa modulacijom impulsa tokom procesa zavarivanja u zaštiti praška.

Osim metode vizuelnog pregleda, sprovedena su merenja pritiska kako bi se karakterisale promene veličine šupljine. U tom smislu, šupljina je probodena pomoću cevi od kvarcnog stakla prečnika od 2 mm i postavljena je paralelno prema

pravcu zavarivanja. Druga cev od kvarcnog stakla je povezana sa senzorom pritiska, koji koristi piezoelektrični elemenat za merenje pritiska. Sinhrono snimanje električnih promenljivih u procesu zavarivanja omogućava povezivanje kurseva struja / napon sa kursom pritiska, sl. 4. Jasna razlika u pritiscima za vreme osnovne i impuls faze je ovde ustanovljena. U svakom slučaju, uočeno je blago vremenski vezano povezivanje u profilu pritiska u odnosu na snimljene kurseve napona i struje, ali to bi se moglo pripisati odgovarajućem mrtvim vremenima u stvaranju pritiska. Osim toga, zaključeno je iz kursa variranja pritiska, da postoji zavisnost od modulacije impulsa tako da je parcijalni pritisak vodonika bio niži u preseku.



Slika 4 • Napon luka, jačina struje i profile pritiska kod pulzirajuće šupljine

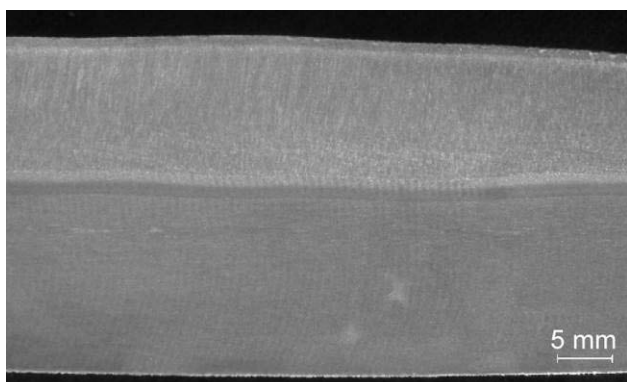


4. Površina i višeslojni šavovi

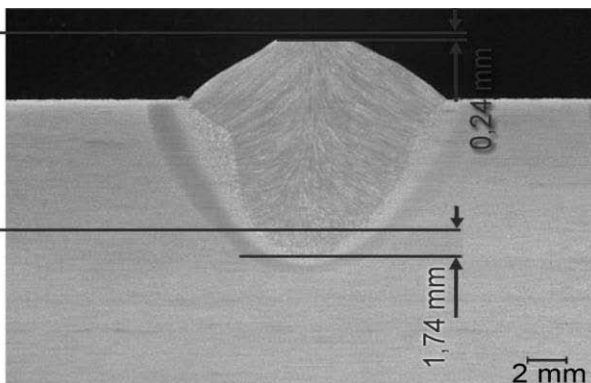
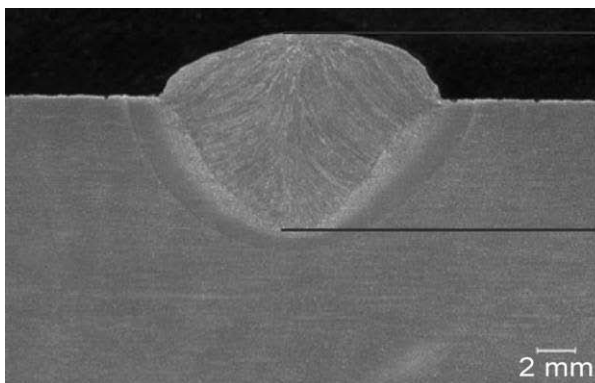
Na makropresecima (u poprečnom i uzdužnom pravcu na šav), površinski šavovi izvedeni pulzirajućim EPP postupkom nisu pokazali bilo kakvu neregularnost vezanu za profil uvarivanja. Ubedljivo svojstvo podužnih preseka je konstantan profil preseka, sl. 5 vrh, koji ne pokazuje bilo kakvu приметnu karakteristiku u poređenju sa šavovima izvedenim konstantnom jednosmernom strujom. Slični dobri rezultati su dobijeni i u slučaju višeslojnih šavova koji su izvedeni žicom prečnika 4 mm, sl. 5 dno, a čiji su koreni zavari takođe

izvedeni sa smanjenom unetom energijom po jedinici dužine preko pulzirajućeg zavarivanja pod praškom.

Nasuprot tome, moguće je zapaziti oblike koji odstupaju od tipičnog paraboličnog tipa šava i blago smanjenje uvarivanja u poređenju sa poprečnim presecima kroz uzorak, koji je zavaren impulsnim modulom jednosmerne struje i konstantnom jednosmernom strujom, sl. 6. U skoro identičnom bliskom ZUT u odnosu na dimenzije površine, ustanovljeno je identično nadvišenje šava u svim slučajevima.



Slika 5 • Podužni presek šava zavarenog pod praškom sa impulsno modulovanom jednosmernom strujom (levo) i poprečni presek šava kod višeslojnog zavarivanja pod praškom sa impulsno modulovanom jednosmernom strujom (desno).



Slika 6 • Levo – poprečni presek šava zavarenog pod praškom sa impulsno modulovanom jednosmernom strujom (širina šava: 14.22 mm; nadvišenje šava: 3.77 mm; dubina uvarivanja: 7.33 mm; površina šava 102.18 mm²; površina ZUT: 52.34 mm²)
Desno - presek šava zavarenog pod praškom sa konstantnom jednosmernom strujom (širina šava: 12.72 mm; nadvišenje šava: 3.53 mm; dubina uvarivanja: 9.07 mm; površina šava: 96.83 mm²; površina ZUT: 52.84 mm²).

5. Analiza vodonika

Vezivanje atomarnog vodonika po greškama rešetke igra esencijalnu ulogu u nastajanju hladnih prslina. Ovo se može objasniti činjenicom, da lokalno kritična koncentracija vodonika koja inicira prsline usled dekohezije, jedino može biti uzrokovana nagomilavanjem na greškama [4]. U tom smislu, pravi se razlika između reverzibilne i ireverzibilne klopke. Reverzibilne klopke, npr dislokacije, vrše uticaj na mehanička svojstva

metalnih materijala usled vezanog vodonika koji može biti otpušten plastičnom deformacijom i potom ponovo dostupan u rešeci u difundovanom obliku. Nepovratne klopke, npr nekoherentni talozi i granice zrna (nazivaju se "šantovi"), vezuju vodonik na takav način da to nije bitno za obogaćivanje u zonama u kojima se može pojaviti dekohezioni efekat [4; 5].

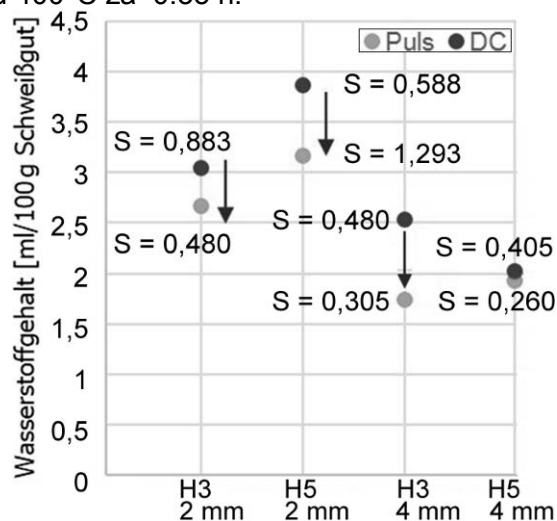
Dok se reverzibilne klopke i "šantovi" mogu razlikovati samo uz pomoć primene obimnih mernih



tehnologija, samo razlikovanje rastvorenog i difundovanog vodonika je uobičajeno u tehnologiji zavarivanja. Vodonik koji je rastvoren u rešeci, nije vezan za klopke u rešeci na ispitnoj temperaturi i zato može slobodno da se širi, označen je kao difundovani. Sadržaj zaostalog vodonika u metalu šava se može odrediti preko merenja širenja ili određivanja fizičkih osobina. Procedure za merenje širenja su zasnovane na merenju zapremine gasa koji nastaje u ispitnom komadu. U tom smislu, se otkriva ukupna zapremina korišćenjem živine metode ili promenom termičke provodljivosti protoka gasa korišćenjem metode vruće ekstrakcije nosećeg gasa.

Sadržaj difundovanog vodonika je jedan od faktora koji uzrokuju prsline. U okviru sveukupnog izvođenja ispitivanja, on je zato određen preko vruće ekstrakcije nosećeg gasa prema DIN EN ISO 3690. Za sprovođenje ispitivanja, svi ambijentni uslovi su identični (ambijentna temperatura: 20°C) a epruvete sa C oblikom su uvek birane dok je sadržaj difundovanog vodonika meren na ispitnoj temperaturi od 400°C za 0.35 h.

Srednja vrednost sa tri epruvete koje su zavarene identično podešenim parametrima je ustanovljena iz statističkih razloga. Vezano za to, sprovedena su upoređenja između zavarenih spojeva sa konstantnom jednosmernom strujom i zavarenih spojeva sa impulsno modulovanom jednosmernom strujom, uzimajući u obzir identičnu energiju po jedinici dužine i održavanje identične brzine dodavanja žice kao i identične brzine zavarivanja. U kombinaciji dve elektrodne žice sa prečnicima 2 mm i 4 mm sa praškovima za zavarivanje klasa sadržaja vodonika H3 i H5, smanjenje sadržaja difundovanog vodonika je bilo zapaženo pri razmatranju srednjih vrednosti merenja u svakom slučaju specificiranog standardnog odstupanja pri korišćenju pulzirajućeg zavarivanja pod praškom, sl. 7. Saglasno informacijama proizođača, korišćeni praškovi za zavarivanje su bili sušeni na 320°C u trajanju od 150 min. Izabrana je učestanost od 15 Hz za modulaciju impulsa, jer je pri njoj utvrđen najveći uticaj na veličinu šupljine.



Slika 7. Merenje vodonika u šavovima izvedenim zavarivanjem pod praškom sa impulsnom (15 Hz) i konstantnom jednosmernom strujom sa različitim dodatnim materijalima i praškovima za zavarivanje (s - standardno odstupanje).

Wasserstoffgehalt	Hydrogen content	Sadržaj vodonika
Schweißgut	Weld metal	Metal šava

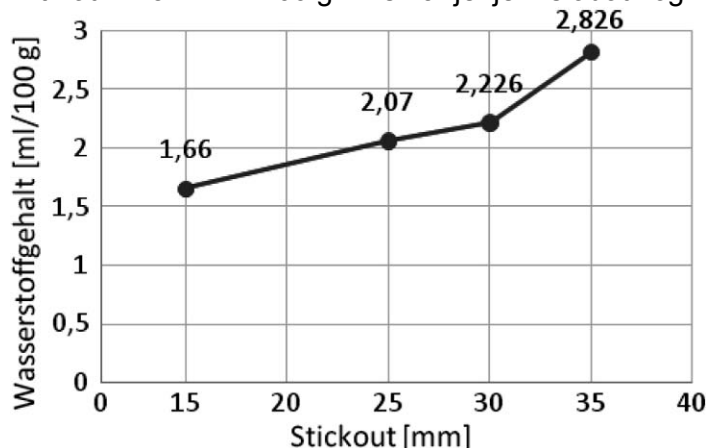
Mada su površinski šavovi proizvedeni konstantnom jednosmernom strujom, već pokazali sadržaj difundovanog vodonika unutar granica koje je dao proizvođač praška (maks. 3 ml ili 5 ml / 100 g čistog metala šava), ovo bi se moglo minimizirati čak i više, korišćenjem procesa pulzirajućeg zavarivanja pod praškom. S obzirom na ovo, može se dodati, da pored drugih faktora, utiče i veličina šupljine. Međutim, uticaji veličine šupljine na sadržaj vodonika (istraživanja su fokusirana na njihovo istraživanje), ekstra parametri

(npr. vremenski zavisni unos toplote i temperature tečne kupke) takođe pokazuju uticaj. Već na sl. 3, moguće je prepoznati sužavanje luka usled manje unete energije u baznoj fazi. Ovo sugeriše o manjem unosu vodonika. Šta više, dodatna ispitivanja su pokazala promenu temperature tečne kupke. U tom slučaju, podstaknuta na taj način, ispitivanja su fokusirana na promene energije između dva uslova (pulzirajući i bazni uslovi) sa ciljem istraživanja uticaja na veličinu šupljine.



Dalja razmatranja su orijentisana na promenu slobodnog kraja žice tokom ispitivanja uz korišćenje žice prečnika 2 mm i praška za zavarivanje klase vodonika H3. Gornji limit od 3 ml / 100 g

propisanog za prašak za zavarivanje je uvek sastavljen u odnosu na to. Ovde je smanjenje sadržaja difundovanog vodonika postignuto smanjenjem slobodnog kraja žice, sl. 8.



Slika 8 • Uticaji promena slobodnog kraja žice na sadržaj difundovanog vodonika

U tom slučaju, visina praška je održavana na 25 mm kod svih ispitivanja u saglasnosti sa standardom. Međutim, ovo zapažanje je u suptotnosti sa nalazima za MAG-MIG zavarivanje kod kojeg je smanjenje sadržaja vodonika, objašnjeno povećanjem slobodnog kraja žice usled otporskog zagrevanja žice. Shodno tome, pad u unosu vodonika kao rezultat kraćeg slobodnog kraja žice može se dodati nekolicini faktora u slučaju procesa pulzirajućeg zavarivanja pod praškom. Ovde je ustanovljen kao primarni razlog, to što je manja veličina šupljine pri smanjenju slobodnog kraja žice. U odnosu na to, zapažena je dodatna promena u stubu luka pri smanjenju slobodnog kraja žice.

6. Perspektiva

Korišćenje konstrukcionih finozrnih čelika povišene čvrstoće za primene na čeličnim konstrukcijama, vozilima i cevovodima je stalno u porastu iz razloga smanjenja težine. Korišćenje zavarivanja pod zaštitom praška na ovom polju vodi ka opasnosti od unosa vodonika u metal šava. U cilju neutralisanja ove opasnosti, zavarivanje pod praškom sa impulsnom modulacijom je bilo korišćeno u cilju uticanja na veličinu šupljine. U odnosu na ovo, šupljina se nije stvorila do njene konačne veličine usled konstantne promene između impulsnog i baznog uslova. Ovo je rezultovalo u manjoj zapremini šupljine sa prosečno manjim parcijalnim pritiskom, u manjoj zakrivljenosti površini šupljine i čak smanjenju kontakta sa izvorima vodonika.

Vizuelno zapažanje je izvedeno korišćenjem fotografija snimljenih velikim brzinama, paralelno i upravno na pravac zavarivanja i poslužilo je za dokazivanje naizmenične veličine šupljine. Šta više, bilo je moguće ustanoviti optimalnu frekvenciju

impulsa koja dopušta maksimum uticaja na veličinu šupljine. Kao dodatak, pritisak unutar šupljine je takođe meren. Ovde je bilo moguće obezbediti niži pritisak u baznoj fazi nego u fazi impulsa a takođe i u proseku, nego u slučaju zavarivanja sa konstantnom jednosmernom strujom. Zbog toga se može očekivati smanjeni parcijalni pritisak vodonika u šupljini.

Na osnovu makropreseka, površinski šavovi napravljeni procesom pulzirajućeg zavarivanja pod praškom, pokazuju dovoljne i konstantne profile uvarivanja. S tim u vezi, razmatranja poprečnih preseka indikuju izmenjenu raspodelu u poređenju sa zavarivanjem konvencionalnom jednosmernom strujom. Šta više, dodatni višeslojni šavovi na limu debljine 25 mm su pokazali dobru primenu procesa pulzirajućeg zavarivanja pod praškom pri spajanju spojeva.

Ustanovljene vrednosti vodonika u šavovima izvedenim postupkom pulzirajućeg procesa zavarivanja u poređenju sa šavovima sa konstantnom jednosmernom strujom, pokazuju da se može očekivati smanjenje sadržaja difundovanog vodonika sa ovom novom varijantom procesa zavarivanja, tako da se polje primene ove tehnologije zavarivanja čak može proširiti i na finozrne konstrukcione čelike povišene čvrstoće.



Literatura

[1] Tsuboi, J., and H. Terashima: The Behavior of Hydrogen in Arc Welding (Report 4): Hydrogen dissolution into submerged arc weld metal. Journal of the Japan Welding Society 42 (1973), No. 6, pp. 544/53.

[2] Thier, H., u. C. Eisenbeis: Wasserstoffgehalt – Reproduzierbarkeit und Bestimmung bei UP-Schweißungen. Schw. Schn. 47 (1995), H. 11, S. 906/13.

[3] Franz, U.: Vorgänge in der Kaverne beim UP-Schweißen. Diss., TU Magdeburg. Magdeburg 1965.

[4] Klose, K. H., u. S. Beyer: Wasserstoffversprödungsanfälligkeit hochfester Werkstoffzustände. Materialwissenschaft u. Werkstofftechnik 23 (1992), H. 8, S. 274/82.

[5] Pressouyre, G. M.: Trap theory of hydrogen embrittlement. Acta Metallurgica 28 (1980), No. 7, pp. 895/911.



Dipl.-Ing. Johannes Schäfer studirao na mašinskom fakultetu sa naprednim predmetom Inženjering izrade pri RWTH univerziteta u Ahenu. Od februara 2012, radi kao naučni saradnik u delu za elektrolučno zavarivanje u Institutu za zavarivanje i spajanje pri univerzitetu u Ahenu. Tokom 2013, on je kvalifikovana kao IWE posle kursa u SLV Duisburg.



Dipl.-Ing. Konrad Willms studirao na mašinskom fakultetu sa specijalizacijom na inženjeringu projektvanja, na univerzitetu primenjenih nauka u Ahenu. On je rukovodilac dela za elektrolučno zavarivanje u Institutu za zavarivanje i spajanje (ISF) pri RWTH univerziteta u Ahenu.



Prof. Dr.-Ing. Uwe Reisgen studirao na mašinskom fakultetu pri RWTH Univerziteta u Ahenu i završio je studije kao Dipl.-Ing. 1990. Zatim je radio kao naučni saradnik u Institutu za zavarivanje pri RWTH univerziteta u Ahenu gde je stekao titulu Dr.-Ing. 1995. Bio je zaposlen kao Senior Engineer u Institutu za zavarivanje pri RWTH univerziteta u Ahenu od 1995 do 2000 i bio je rukovodilac Odeljenja za spajanje i ispitivanje u istraživačkom centru Jülich od 2000. Tokom 2007, imenovan je za Univerzitetskog profesora u Institutu za zavarivanje i spajanje pri RWTH univerziteta u Ahenu kao i za direktora instituta sa istim nazivom.

IGF projekat IGF 17.351 N / DVS broj 03.105 istraživačke asocijacije "Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren des DVS, Aachener Straße 172, 40223 Düsseldorf" je bio, na osnovu odluke nemačkog Bundestaga, promovisan od strane nemačkog ministarstva za ekonomske poslove i energiju preko federacije industrijskih istraživačkih asocijacija (AiF) unutar okvira programa za promociju industrijskog istraživanja i razvoja spajanja (IGF).

INFLUENCE OF GRAIN SIZE ON MECHANICAL PROPERTIES OF ALUMINIUM GTA WELD METAL

UTICAJ VELIČINE ZRNA NA MEHANIČKE OSOBINE METALA ŠAVA ALUMINIJUMA ZAVAREN OG TIG POSTUPKOM

NASTAVAK IZ PREDHODNOG BROJA

CONTINUED FROM PREVIOUS ISSUE

2. deo

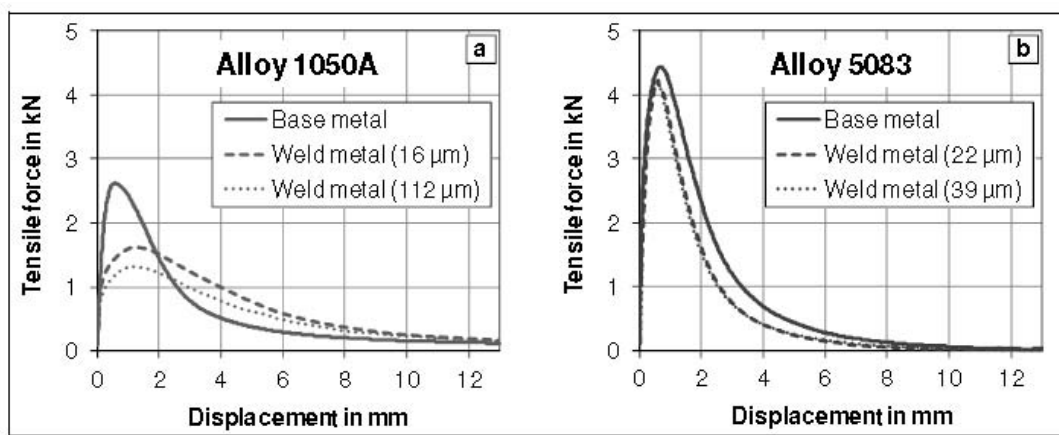
part 2

3.4 Žilavost

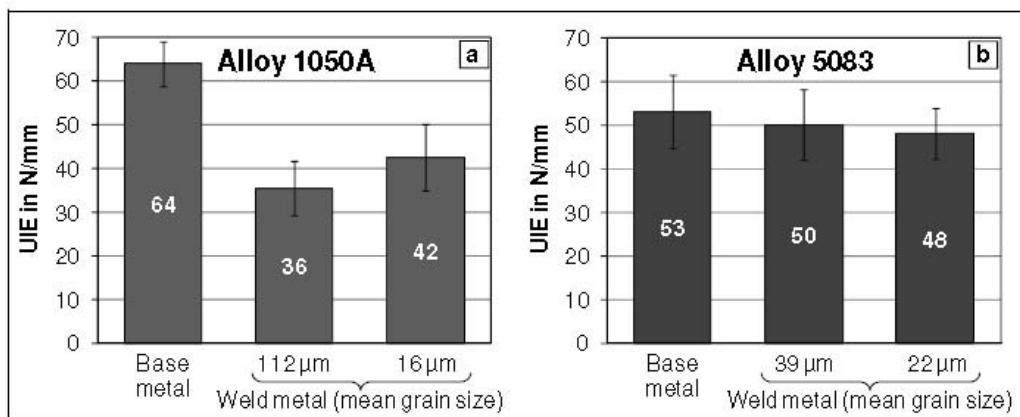
Žilavost osnovnog materijala i metala šava legura 1050A i 5083 određena je pri ispitivanju cepanjem. Slika 6 pokazuje dobijene krive sila-pomeranje, gde je svaka kriva, srednja vrednost 6 različitih ispitivanja cepanjem. Kao što se očekivalo, maksimalna opterećenja su bila niža kod epruveta od legure 1050A (slika 6a) nego kod legure 5083 (slika 6b) s obzirom na nižu čvrstoću legure 1050A u poređenju sa legurom 5083.

Štaviše, razlika u žilavosti između osnovnog materijala i metala šava je veća za leguru 1050A i manja za leguru 5083. Iz svake krive sila-pomeranje, jedinice energije UIE i UPE su računane prema jednačinama (2) i (3). Srednja vrednost energije potrebne za nastanak prsline (UIE) prikazana je na slici 7. UIE je mera za zareznu žilavost [19]. U saglasnosti sa slikom 6, UIE za leguru 1050A je mnogo veća za osnovni materijal nego za metal šava, videti sliku 7a. Ovo je verovatno zbog potpunog gubitka efekata obrade na hladno i stoga čvrstoće tokom TIG zavarivanja što je takođe saopšteno pri merenju tvrdoće i ispitivanju zatezanjem za leguru 1050A, poziv na

delove 3.2 i 3.3. Rezultujuće smanjenje UIE od osnovnog materijala ka metalu šava bio je samo blago izražen kod legure 5083, videti sliku 7b. Ovo se može objasniti vrlo malim stepenom obrade na hladno osnovnog materijala lima 5083 (manje od 1/4 tvrd) u poređenju sa hladno obrađenim osnovnim materijalom 1050A (1/2 tvrd). U odnosu na osnovni materijal, legura 1050A pokazuje veću otpornost na nastanak prsline (64 N/mm) nego legura 5083 (53 N/mm), što se ne reflektuje na različite čvrstoće obe legure (legura 1050A: 108 MPa, legura 5083: 143 MPa). Štaviše, rafinacija zrna znatno povećava vrednosti UIE metala šava za leguru 1050A, dok je taj efekat zanemarljiv za leguru 5083. Da bi se ovo objasnilo, mora se pozvati na to da je smanjenje srednje vrednosti veličine zrna bilo više izraženo u metalu šava od 1050A (-86%) nego u metalu šava od 5083 (-44%), poziv na sliku 3. Prečnik zarezna kao značajan uticajni faktor vezan za nastanak prsline, meren je na svakoj epruveti pre ispitivanja i njegove vrednosti su bile u intervalu 0.05 i 0.15 mm za sve epruvete od obe legure. Sistemski uticaj prečnika zarezna na UIE, međutim, nije nađen.



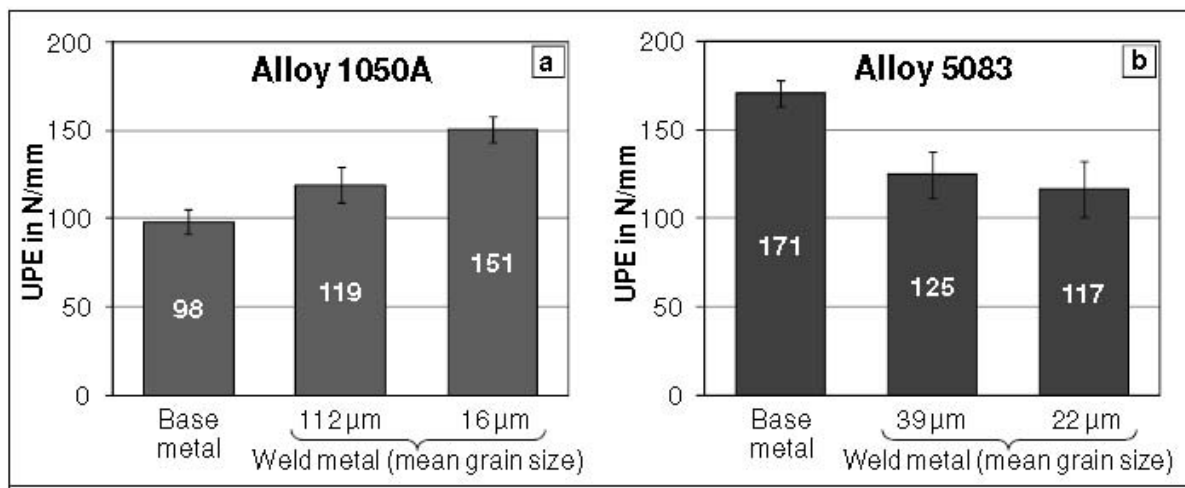
Slika 6. Sila zatezanja zavisno od pomeranja i veličine zrna pri ispitivanju cepanjem (srednja vrednost). TIG zavarivanje, debljina lima 3 mm, brzina kretanja pištolja 4,2 mm/s, srednja vrednost količine unete toplote 482 J/mm



Slika 7. Jedinica energije za nastanak (*UIE*) zavisno od veličine zrna pri ispitivanju cepanjem. TIG zavarivanje, debljina lima 3 mm, brzina kretanja pištolja 4,2 mm/s, srednja vrednost količine unete toplote 482 J/mm

Jedinica energije potrebna za naknadno širenje prsline do loma (*UPE*) predstavlja otpornost cepanju materijala [19] i takođe se shvata kao mera udarne žilavosti [44, 54]. Slika 8 pokazuje dobijene vrednosti *UPE* koje potvrđuju potpuno različito prostiranje prsline u ove dve legure: otpornost na širenje prsline je mnogo veća u osnovnom materijalu od 5083 (171 N/mm) nego u osnovnom materijalu od 1050A (98 N/mm). Ovakvo ponašanje je razumljivo jer su granica otpornosti i zatezna čvrstoća legure 5083 generalno viših vrednosti nego kod legure 1050A, poziv na deo 3.3. Štaviše, vrednosti *UPE* (slika 8) su jasno više nego odgovarajuće vrednosti *UIE* (slika 7), što je uobičajeno za slučaj legura Al [19, 44, 55]. Visoka žilavost legure 5083, međutim, opada ako se prsline prostire kroz metal šava, videti sliku 8b. Tada je *UPE* legure 5083 slična (grubozrni metal

šava) ili izraženo manja (finozrni metal šava) u odnosu na odgovarajuće vrednosti *UPE* za leguru 1050A. Unapređenje otpornosti na širenje prsline preko rafinacije zrna je vrlo jasno za leguru 1050A (27%) dok metal šava od 5083 beleži blago smanjenje žilavosti (- 6%) preko rafinacije zrna. Tako, slika 8 pokazuje da je ojačavanje preko veličine zrna najznačajniji mehanizam ojačavanja za leguru 1050A dok je za leguru 5083, ovaj mehanizam zanemarljiv u odnosu na ojačavanje čvrstim rastvorom sa Mg. Ovo se tvrdi i na drugim mestima [18] rafinacija zrna može da smanji udarnu žilavost u nekim slučajevima dok fina zrna smanjuju vijugavost prsline i čak energiju potrebnu za širenje prsline. Bez obzira na to, fina zrna često daju veću žilavost [19], kao što je prikazano u npr. studiji o Al livenim legurama –legura Al Si7Mg [54].



Slika 8. Jedinica energije za širenje (*UPE*) zavisno od veličine zrna pri ispitivanju cepanjem. TIG zavarivanje, debljina lima 3 mm, brzina kretanja pištolja 4,2 mm/s, srednja vrednost količine unete toplote 482 J/mm

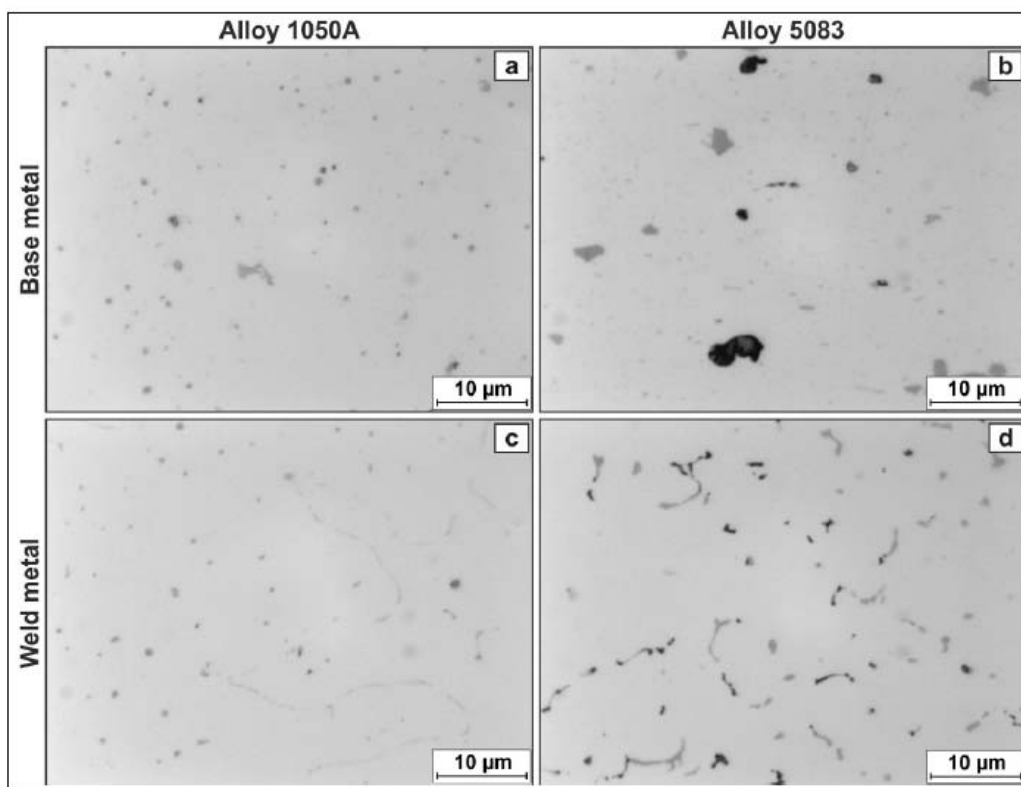
Važno je napomenuti da pomeranje u momentu nastajanja prsline (*si*, poziv na sliku 2) ima veliki uticaj na vrednosti *UIE* i *UPE*: određivanje *si* prema standardu [43] pretpostavlja da prsline nastaje generalno pri najvećem opterećenju, što nije slučaj

u ovoj studiji, posebno kod legure 1050A. Poređenjem obe metode izračunavanja, razlika izračunatih *UIE* i *UPE* može da bude do 64%. Ovo naglašava potrebu za određivanjem stvarne vrednosti *si* kao što je pokazano u ovoj studiji, što

je takođe urađeno i na drugim mestima [44]. Prslina se širi upravno na pravac opterećenja – unutar odstupanja od $\pm 20^\circ$, mnogo češće i unutar $\pm 10^\circ$ (odvojeno od dve epruvete kod legure 5083). Nije primećeno izvijanje i na zavarenim epruvetama prslina nije izašla iz metala šava. Epruvete su izrađene od legure 1050A koja je bila više plastično deformisana nego legura 5083, što odgovara razlikama koje se odnose na *UIE* i *UPE* između obe legure, poziv na slike 7 i 8. Udarne žilavost se može smanjiti preko rafinacije zrna ako se lom menja od transgranularnog na intergranularni [15]. Metalografija i SEM analiza, međutim, potvrđuju to da je prostiranje prsline bilo transgranularno na svim epruvetama u ovoj studiji. Ovo sugeriše da granice zrna verovatno igraju sporednu ulogu u otpornosti na širenje prslina. Umesto toga, smatra se da hemijski sastav i odgovarajuća mikrostruktura imaju glavnu ulogu različite žilavosti obe legure što se pominje i kod drugih [7, 17]. Može se videti sa slike 9 da su intermetalne faze velike i sferne u osnovnom materijalu (slika 9a i b) i tanke i dugačke u metalu šava stvarajući polukontinualnu mrežu (slika 9c i d). Rafinacija zrna u metalu šava polako povećava veličinu ovih faza. Slika 9 dalje pokazuje da je promena u mikrostrukturi od osnovnog materijala do metala šava bila više izražena kod legure 5083 nego kod legure 1050A zbog većeg stepena legiranosti legure 5083. Tako, mreža

intermetalnih faza obezbeđuje putanju za širenje prsline duž ovih faza, posebno u metalu šava legure 5083.

Pored veličine i raspodele, hemijski sastav intermetalnih faza je značajan za kontrolu variranja žilavosti. Na primer, veliki udeo elemenata nečistoća kao što su Fe i Si može da obezbedi mesta za nastanak i širenje prslina u 2xxx i 7xxx legurama [17]. WDS analiza je pokazala za leguru 5083 da tamna (crna) faza na slici 9 b i d jeste Mg_2Si dok je svetla (siva) faza verovatno $Al_6(FeMn)$ [7, 40], $Al_7(FeMn)$ [56] ili $Al_{12}(Fe,Mn)_3Si$ [7]. Veoma je poznato da Mg_2Si ima štetan efekat na otpornost prema lomu i duktilnost [57] (što takođe može da objasni veliku razliku u duktilnosti između osnovnog materijala i metala šava za leguru 5083, poziv na sliku 5). Ovo sugeriše da je žilavost metala šava od legure 5083 bila manja nego u osnovnom materijalu usled širenja prsline duž krtih intermetalnih faza sa nepovoljnom veličinom i raspodelom. Sivi eutektički konstituent u osnovnom materijalu i metalu šava od 1050A (slika 9 a i c) je verovatno Al_6Fe ili Al_8Fe_2Si [40]. Štaviše, Al_3Ti aglomerati koji se stvaraju pri većim nivoima dodatka rafinatora [49] mogu imati negativan uticaj na žilavost. U stvari, Al_3Ti je stvoren u obe legure; čak rezultuje u smanjenju žilavosti koje se može javiti u oba finozrna metala šava od 1050A i 5083, što nije bio slučaj u ovoj studiji.



Slika 9. Intermetalne faze u osnovnom materijalu (a i b) i nerafinisani metal šava (c i d). TIG zavarivanje, debljina lima 3 mm, brzina kretanja pištolja 4,2 mm/s, srednja vrednost količine unete toplote 482 J/mm

Parametar koji se obično određuje pri ispitivanju cepanjem je čvrstoća cepanja koja se izračunava prema standardu [43]:

$$\text{Tear Strength} = \frac{4F_i}{w \cdot t} \quad (4)$$

Tear strength – čvrstoća cepanja

gde je F_i sila zatezanja pri nastanku prsline (pri pomeranju s_i), w je širina epruvete (25 mm, rastojanje između korenog zarezaja i zadnje strane epruvete) i t je

debljina epruvete (2 mm). U tabeli 4 su pobrojane očekivane vrednosti čvrstoće cepanja za osnovni materijal i metal šava sa grubozrnim i fino-zrnim strukturom. Ove vrednosti pokazuju isti trend kao i UIE , poziv na sliku 7; tako je čvrstoća cepanja mnogo veća kod legure 5083 nego kod legure 1050A. U dodatku, u tabeli 4 je zbirno data granica otpornosti $Rp0.2$ za obe legure koje su prethodno predstavljene ispitivanjem zatezanjem (poziv na deo 3.3).

Parameter	1050A (Al 99.5)			5083 (Al Mg4.5Mn0.7)		
	BM	WM		BM	WM	
Mean grain size in μm	20	112	16	14	39	22
Tear strength in MPa	171	103	135	355	335	329
Proof strength in MPa	108	-	-	143	127	129
Tear strength / Proof strength	1.6	-	-	2.5	2.6	2.6

Tabela 4. Čvrstoća cepanja i čvrstoća otpornosti za osnovni materijal i metal šava zavisno od srednje vrednosti veličine zrna

(mean grain size-srednja vrednost veličine zrna; tear strength- čvrstoća cepanja; proof strength- čvrstoća otpornosti)

Koeficijent čvrstoće cepanja i granice otpornosti se shvata kao mera zarezne žilavosti [19, 43]. Što je viši taj odnos, veća je plastična deformacija pri lomu [19]. U ovoj studiji, odnos je bio mnogo veći kod legure 5083 (2.6 do 2.8) nego kod legure 1050A (1.6), videti zadnji red u tabeli 4. Većina Al legura ima odnose čvrstoća cepanja / granica otpornosti ispod 2.0, zavisno od termičkog stanja [19, 45, 58]. Ovo naglašava atraktivnu kombinaciju velike zarezne žilavosti, čvrstoće i duktilnosti za legure 5xxx kao što je legura 5083 [19], koja je stoga pogodan konstrukcioni materijal kod mnoštva zavarenih komponenata koje imaju koncentraciju napona kao što su zarezaji.

4. Zaključci

Dodaci komercijalnih rafinatora zrna Al Ti_5B_1 u TIG metal šava aluminijumskih legura 1050A i 5083 dovode do sledećih rezultata:

- Smanjenje srednje vrednosti veličine zrna u metalu šava od 44% (Legura 5083) do 86% (Legura 1050A)
- Veća efikasnost rafinacije zrna (manje je potrebno rafinatora zrna za minimalnu veličinu zrna) kod legure 1050A nego kod legure 5083
- Promena oblika zrna u metalu šava iz stubičastog u istoosni

Srednja vrednost veličine zrna na epruvetama od osnovnog materijala i zavarenim epruvetama sa različitim metalima šava utiče na tvrdoću, ispitivanje zatezanjem i cepanjem, na sledeći način:

- Tvrdoća ne zavisi od srednje vrednosti veličine zrna u metalu šava od obe legure

- Povećanje duktilnosti kod metala šava od legure 5083 postiže se rafinacijom zrna
- Povećanje (Legura 1050A) i blagi pad (Legura 5083) žilavosti u metalu šava pri rafinaciji zrna

Može se zaključiti da velika čvrstoća, duktilnost i žilavost legure 5083 bivaju umanjene pri zavarivanju zbog nepovoljne veličine, raspodele i hemijskog sastava intermetalnih faza u metalu šava. Komercijalno čisti Al (Legura 1050A) je pokazao snažno reagovanje na dodatke rafinatora zrna i značajno povećanje žilavosti zato što ne sadrži mnogo legirajućih elemenata pa stoga ima mali zapreminski udeo intermetalnih faza.

Zahvalnost

Autori zahvaljuju H. Hayen iz Aljo Aluminium-Bau Jonuscheit GmbH, Nemačka i P. Gudde iz KBM Affilips B.V., Holandija na vrlo ljubaznoj donaciji limova od legure 5083 (Alijo) i rafinatora zrna (KBM Affilips). Oni takođe zahvaljuju M. Babiker (ispitivanje zatezanjem i cepanjem), M. Cassau (ispitivanje cepanjem), D. Bettge i S. Bohraus (SEM analiza), G. Oder (WDS analiza), M. Marten i N. Stojkic (metalografija i ispitivanje tvrdoće), H. Strehlau (ICP-OES hemijska analiza), D. Köhler (livenje ingota), W. Großmann (mašinska obrada umetaka) i S. Brauser (merenje izduženja) na velikoj podršci u BAM.

Autori su veoma zahvalni Istraživačkoj asocijaciji dela Zavarivanje i srodni postupci pri DVS na podršci kao i Programu za finansiranje industrijskog razvoja i tehnologije (IGF) nemačkog federalnog ministarstva ekonomije i tehnologije na finansiranju istraživačkog projekta 16.242N.

Bibliografija

- [1] Roos E. and Maile K.: *Werkstoffkunde für Ingenieure, Materials Science for Engineers*, Springer, Berlin, first edition, 2002 (in German).
- [2] Hall E.O.: *The Deformation and Ageing of Mild Steel: III Discussion of Results*, Proceedings of the Physical Society B, 1951, vol. 64, pp. 747-752.
- [3] Petch N.J.: *The Cleavage Strength of Polycrystals*, Journal of the Iron and Steel Institute, 1953, vol. 174, pp. 25-28.
- [4] Cottrell A.H.: *Theory of Brittle Fracture in Steel and Similar Metals*, Transactions of the Metallurgical Society of AIME, 1958, vol. 212, no. 2, pp. 192-203.
- [5] Li J.C.M.: *Petch Relation and Granica zrna Sources*, Transactions of the Metallurgical Society of AIME, 1963, vol. 227, pp. 239-247.
- [6] Rösler J., Harders H. and Bäker M.: *Mechanisches Verhalten der Werkstoffe, Mechanical Behaviour of Materials*, Teubner, Stuttgart, second edition, 2006 (in German).
- [7] Tiryakioğlu M. and Staley J.T.: *Physical Metallurgy and the Effect of Leguraing Additions in Aluminum Leguras*, in: *Handbook of Aluminum*, vol. 1, pp. 81-209, Marcel Dekker, New York, first edition, 2003.
- [8] Hansen N.: *The effect of veličina zrna and strain on the tensile flow stress of aluminium at room temperature*, Acta Metallurgica, 1977, vol. 25, no. 8, pp. 863-869.
- [9] Embury J.D., Lloyd D.J. and Ramachandran T.R.: *Strengthening Mechanisms in Aluminum Leguras*, in: *Treatise on Materials Science and Technology*, vol. 31, pp. 579-601, Academic Press, 1989.
- [10] Lloyd D.J.: *Deformation of fine-grained aluminium leguras*, Metal Science, 1980, vol. 14, no. 5, pp. 193-198.
- [11] Embury J.D.: *Strengthening mechanisms in Al leguras - an overview of natural limits and engineering possibilities*, Materials Science Forum, 1996, vols. 217-222, pp. 57-70.
- [12] Hornbogen E. and Warlimont H.: *Metalle - Struktur und Eigenschaften der Metalle und Legierungen, Metals - Structure and Properties of Metals and Leguras*, Springer, Berlin, fifth edition, 2006 (in German).
- [13] Gottstein G.: *Physikalische Grundlagen der Materialkunde, Fundamentals of Physics in Materials Science*, Springer, Berlin, first edition, 1998 (in German).
- [14] Phillips V.A., Swain A.J. and Eborall R.: *Yield-Point Phenomena and Stretcher-Strain Markings in Aluminium-Magnesium Leguras*, Journal of the Institute of Metals, 1952, vol. 81, pp. 625-647.
- [15] Staley J.T. and Sanders R.E.: *Property Prediction*, in: *Handbook of Aluminum*, vol. 2, pp. 319-342, Marcel Dekker, New York, first edition, 2003.
- [16] Carreker R.P. and Hibbard W.R.: *Tensile Deformation of Aluminum as a Function Of Temperature, Strain Rate, and Grain Size*, Transactions of Metallurgical Society of AIME, 1957, vol. 209, pp. 1157-1163.
- [17] Staley J.T.: *Microstructure and Toughness of High-Strength Aluminum Leguras*, Journal of ASTM International, Special Technical Publications (STP), 1976, vol. 605, pp. 71-103.
- [18] Hornbogen E. and Starke E.A.: *Theory Assisted Design of High Strength Low Legura Aluminum*, Acta Metallurgica et Materiala, 1993, vol. 41, no. 1, pp. 1-16.
- [19] Kaufman J.G.: *Fracture Resistance of Aluminum Leguras: Notch Toughness, Tear Resistance and Fracture Toughness*, ASM International, Materials Park, Ohio, first edition, 2001.
- [20] Jata K.V. and Starke E.A.: *Fatigue Crack Growth and Fracture Toughness Behavior of an Al-Li- Cu Legura*, Metallurgical Transactions A, 1986, vol. 17, no. 1, pp. 1011-1026.
- [21] Janaki Ram G.D., Mitra T.K., Shankar V. and Sundaresan S.: *Microstructural refinement through inoculation of type 7020 Al-Zn-Mg legura welds and its effect on hot cracking and tensile properties*, Journal of Materials Processing Technology, 2003, vol. 142, no. 1, pp. 174-181.
- [22] Dev S., Archibald Stuart A., Ravi Dev Kumaar R.C., Murty B.S. and Prasad Rao K.: *Effect of scandium additions on microstructure and mechanical properties of Al-Zn-Mg legura welds*, Materials Science and Engineering A, 2007, vol. 467, no. 1-2, pp. 132-138.
- [23] Seshagiri P.C., Nair B.S., Reddy G.M., Rao K.S., Bhattacharya S.S. and Rao K.P.: *Improvement of mechanical properties of aluminium-copper-legura (AA2219) GTA welds by Sc addition*, Science and Technology of Welding and Joining, 2008, vol. 13, no. 2, pp. 146-158.
- [24] Arata Y., Matsuda F., Mukae S. and Katoh M.: *Effect of Weld Solidification Mode on Tensile Properties of Aluminum Weld Metal*, Transactions of JWRI, 1973, vol. 2, no. 2, pp. 55-61.
- [25] Cui G.R., Ma Z.Y. and Li S.X.: *The origin of non-uniform microstructure and its effects on the mechanical properties of a friction stir processed Al-Mg legura*, Acta Materialia, 2009, vol. 57, no. 19, pp. 5718-5729.
- [26] Matsuda F., Nakata K., Tsukamoto K. and Arai K.: *Effect of Additional Element on Weld Solidification Crack Susceptibility of Al-Zn-Mg Legura (Report II)*, Transactions of the Joining and Welding Research Institute, 1983, vol. 12, no. 2, pp. 253-262.
- [27] Dvornak M.J., Frost R.H. and Olson D.L.: *The Weldability and Rafinacija zrna of Al-2.2Li- 2.7Cu*, Welding Journal, 1989, vol. 68, no. 8, pp. 327s-335s.
- [28] Mousavi M.G., Cross C.E. and Grong Ø.: *Effect of scandium and titanium-boron on rafinacija zrna and hot cracking of aluminium legura 7108*, Science and Technology of Welding and Joining, 1999, vol. 4, no. 6, pp. 381-388.

- [29] Schempp P., Cross C.E., Schwenk C. and Rethmeier M.: Influence of Ti and B additions on veličina zrna and weldability of aluminium legura 6082, submitted to *Welding in the World*, accepted for publication, 2012, vol. 56, no. 9 or 10.
- [30] Dvornak M.J., Frost R.H. and Olson D.L.: Influence of Solidification Kinetics on Aluminum Weld Grain Refinement, *Welding Journal*, 1991, vol. 70, no. 10, pp. 271s-276s.
- [31] Spittle J.A. and Cushway A.A.: Influences of superheat and grain structure on hot-tearing susceptibilities of Al-Cu legura castings, *Metals Technology*, 1983, vol. 10, no. 1, pp. 6-13.
- [32] Koteswara Rao S. R., Madhusudhana Reddy G., Kamaraj M. and Prasad Rao K.: Rafinacija zrna through arc manipulation techniques in Al-Cu legura GTA welds, *Materials Science & Engineering A*, 2005, vol. 404, no. 1-2, pp. 227-234.
- [33] Pearce B.P. and Kerr H.W.: Rafinacija zrna in Magnetically Stirred GTA Welds of Aluminum Leguras, *Metallurgical and Materials Transactions B*, 1981, vol. 12, no. 3, pp. 479-486
- [34] Schempp P., Cross C.E., Schwenk C. and Rethmeier M.: Metal šava Rafinacija zrna of Aluminium Legura 5083 through Controlled Additions of Ti and B, *MP Materials Testing*, 2011, vol. 53, no. 10, pp. 604-609.
- [35] Schneider W., StJohn D.H. and Greer A.L.: Solidification Processing of Foundry Leguras: Mechanism of Rafinacija zrna of Aluminium - Almost All You Need to Know, *Proceedings of the 11th International Conference on Aluminium Leguras, Their Physical and Mechanical Properties*, September 2008, Aachen, Germany, vol. 1, pp. 383-392.
- [36] Cibula, A.: The Mechanism of Rafinacija zrna of Sand Castings in Aluminium Leguras, *Journal of the Institute of Metals*, 1949, vol.76, no.4, pp.321 et seqq.
- [37] Crossley F.A. and Mondolfo L.F., Mechanism of Rafinacija zrna in Aluminum Leguras, *Journal of Metals*, 1951, vol. 191, pp. 1143-1148.
- [38] McCartney D.G.: Grain refining of aluminium and its leguras using inoculants, *International Materials Reviews*, 1989, vol. 34, no. 5, pp. 247-260.
- [39] Easton M. and StJohn D.: An Analysis of the Relationship between Grain Size, Solute Content, and the Potency and Number Density of Nucleant Particles, *Metallurgical and Materials Transactions A*, 2005, vol. 36, no. 7, pp. 1911-1920.
- [40] Bäckerud L., Król E. and Tamminen J.: Solidification Characteristics of Aluminium Leguras, vol. 1, Skanaluminium Universitetsforlaget, Oslo, first edition, 1986.
- [41] Hesse W.: Aluminium-Schlüssel, *Aluminium Handbook*, Aluminium-Verlag, Düsseldorf, second edition, 2008 (in German).
- [42] ASTM E 112-96:1996, Standard Test Methods for Determining Average Grain Size, Standard USA.
- [43] ASTM B 871-01:2001, Standard Test Method for Tear Testing of Aluminum Legura Products, Standard USA.
- [44] Shi Y., Zhong F., Li X., Gong S. and Chen L.: Effect of laser beam welding on tear toughness of a 1420 aluminum legura thin sheet, *Materials Science and Engineering A*, 2007, vol.465, no.1-2, pp.153-159.
- [45] Unpublished research from EADS, Germany, 1999.
- [46] Pirondi A. and Fersini D.: Simulation of ductile crack growth in thin panels using the crack tip opening angle, *Engineering Fracture Mechanics*, 2009, vol. 76, no. 1, pp. 88-100.
- [47] Dvornak M.J., Frost R.H. and Olson D.L.: Effects of Rafinacija zrna of Aluminum Weldability, in: *Weldability of Materials*, ASM International, Materials Park, Ohio, 1990, pp. 289-295.
- [48] Schempp P., Tang Z., Cross C.E., Pittner A., Seefeld T. and M. Rethmeier: Influence of base metal and solidification parameters on rafinacija zrna in aluminum metal šavade to inoculation, *Proceedings of the 9th International Trends in Welding Research Conference*, June 2012, Chicago, USA.
- [49] Schempp P., Cross C.E., Pittner A. and Rethmeier M.: Influence of solute content and solidification parameters on rafinacija zrna of aluminum weld metal, submitted to *Metallurgical Transactions A*, August 2012.
- [50] Easton M.A. and StJohn D.H.: A model of rafinacija zrna incorporating legura constitution and potency of heterogeneous nucleant particles, *Acta Materialia*, 2001, vol. 49, no. 10, pp. 1867- 1878.
- [51] Schloz J.D.: Fundamentals of Grain Refining Aluminum Leguras, *Light Metal Age*, 2010, vol.4, pp.30-37.
- [52] Maxwell I. and Hellawell A.: A Simple Model for Rafinacija zrna during Solidification, *Acta Metallurgica*, 1975, vol. 23, no. 2, pp. 229-237.
- [53] Turchin A.N., Zuijderwijk M., Pool J., Eskin D.G. and Katgerman L.: Feathery grain growth during solidification under forced flow conditions, *Acta Materialia*, 2007, vol. 55, no. 11, pp. 3795-3801.
- [54] Zhu H., Kumai S. and Sato A.: Tear Toughness Evaluation of Aluminum Legura Castings Using a Small-Size Specimen, *Proceedings of the 9th International Conference on Aluminium Leguras*, August 2004, Brisbane, Australia, pp. 1160-1166.
- [55] Poklyatsky A.G.: Resistance of welds on thin-sheet aluminium leguras to initiation and propagation of service cracks, *The Paton Welding Journal*, 2011, no. 10, pp. 5-9.
- [56] Czechowski M.: Low-cycle fatigue of friction stir welded Al-Mg leguras, *Journal of Materials Processing Technology*, 2005, vol. 164-165, pp. 1001-1006.
- [57] Mondolfo L.F.: *Aluminum Leguras: Structure and Properties*, Butterworths, London, first edition, 1976. [58] Unpublished research from Z. Tang, BIAS, Germany, 2012.

*Nastavak sa strane 148*

Takmičenje “MLADI ZAVARIVAČ 2015” Lazarevac, 14. Novembar 2015.

Na ovogodišnjem takmičenju je učestvovalo 45 mladih zavarivača, od čega 3 devojke, u okviru 2 starosne kategorije, pri čemu su srednjoškolci činili najveći broj učesnika:

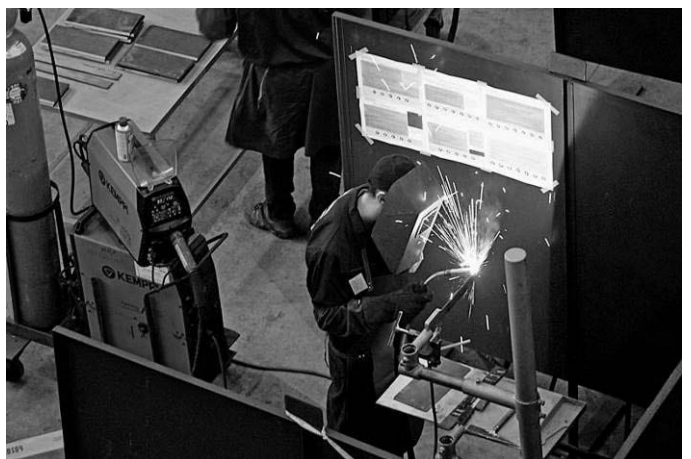
U KATEGORIJI “MLADI ZAVARIVAČI - SREDNJOŠKOLCI” - 40 takmičara iz 15 tehničkih i mašinskih škola

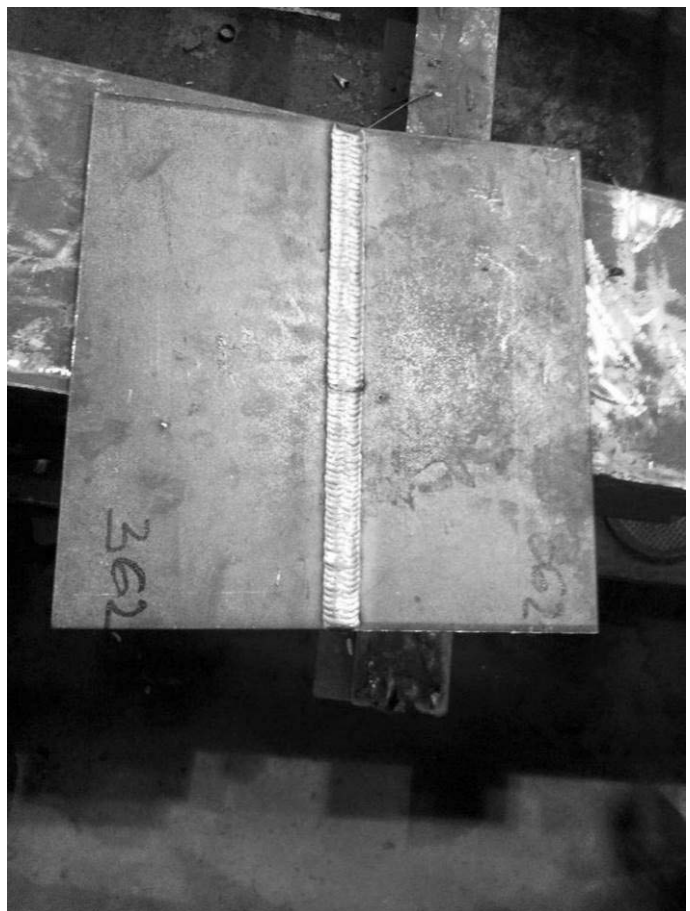
U KATEGORIJI “NAPREDNA” – 5 takmičara starosti od 19 – 21 godine.

U revijalnom delu učestvovali su i specijalni gosti, 3 mlada zavarivača iz srednje škole iz Slovačke, sa kojom su početkom ove godine saradnju ostvarile srednje tehničke škole iz Lazarevca i Obrenovca.

Značaj ove manifestacije odmah su prepoznala preduzeća JP EPS – OGRANAK RB «KOLUBARA» - LAZAREVAC i ORGANIZACIONA CELINA «KOLUBARA METAL» pruživši značajnu podršku radu DUZS u realizaciji takmičenja, pre svega kroz obezbeđivanje mesta za takmičenje i svega za takmičenje neophodnog.









Zahvaljujući i drugim brojnim firmama i preduzećima koje se zavarivanjem bave na različite načine i koje su se uključile u podršku DUZS - "Društvu za unapređivanje zavarivanja u Srbiji" pobednici su osvojili vredne nagrade - aparate i opremu za zavarivanje.



Takmičenje "Mladi zavarivač 2015" podržali su:

JP EPS – OGRANAK RB «KOLUBARA»LAZAREVAC; ORGANIZACIONA CELINA «KOLUBARA METAL»; JP EPS – OGRANAK TENT OBRENOVAC; JKP «TOPLOVOD» OBRENOVAC; GRADSKA OPŠTINA OBRENOVAC; GIZ; A.P. SIDRO D.O.O.BEOGRAD; ASBV TERMOTEHNIKA D.O.O.BEOGRAD; CRVENA LINIJA D.O.O. BEOGRAD; ELIMP DOO BEOGRAD; ENERGOTOK D.O.O. BEOGRAD; EURO HEAT D.O.O. KRAGUJEVAC; FIN IMPORT D.O.O. BEOGRAD; HONEX D.O.O. BEOGRAD; INSTITUT ZA ZAŠTITU NA RADU A.D. NOVI SAD; ISOPLUS D.O.O. BEOGRAD; KONMAT D.O.O. BEOGRAD; KONUS LAZAREVAC; MAJKIĆ D.O.O. INĐIJA; MESSER TEHNOGAS BEOGRAD AD; NDT-ZZ D.O.O. BEOGRAD-ZEMUN; NEMINIK D.O.O. BEOGRAD; PROFICUT D.O.O. BAČKI PETROVAC; TEHNIČKI CENTAR – INSPEKT D.O.O. OBRENOVAC; ZANUS PUMPE D.O.O. VALJEVO

Ovo je prilika da im se još jednom na svemu zahvalimo.

**RANG LISTA**

RANG	ŠKOLA	KOEFICIJENT	Ukupno bodova	Ukupno takmičara
1	Tehnička škola KOLUBARA Lazarevac	78,00	234	3
2	Tehnička škola Buda Davidović Obrenovac	73,00	292	4
3	Tehnička škola "Nikola Tesla" Kostolac	31,75	127	4
4	Srednja škola "17. SEPTEMBAR" Lajkovac	29,50	118	4
5	Tehnička škola "Ivan Sarić" Subotica	6,00	12	2
6	Tehnička škola Loznica	5,00	10	2
7	Politehnička škola Kragujevac	4,75	19	4
8	Srednja mašinska škola Novi Sad	3,50	7	2
9	Tehnička škola Mladenovac	2,50	10	4
10	Tehnička škola "Milenko Brzak - Uča" Ruma	1,67	5	3
11	Srednja Tehnička škola "Mihajlo Pupin" Kula	0,00	0	1
12	Tehnička škola Požega	0,00	0	2
13	Tehnička škola Kikinda	0,00	0	3
14	Tehnička škola Železnik	0,00	0	4
	Stredná odborná škola Technická, Tlmače-SLOVENSKO	80,33	241	3

Rang lista je formirana po sledećem modelu: ukupan broj osvojenih bodova u svim postupcima podeljeno sa brojem takmičara iz ekipe



U ambijentu, više nego svečarskom, uručene su vredne nagrade, t.j. aparati i oprema za zavarivanje najboljima u svakom postupku.



Naše mlade dame su, zbog malobrojnosti žena u ovoj struci, posebno nagrađene zaštitnim maskama za zavarivanje, mada su njihove vešte ruke naučile da koriste i brusilice.



U odnosu na prethodno takmičenje sa 27 takmičara i 5 škola, ovogodišnje predstavlja veoma značajan pomak. Time se misija našeg Društva ne završava, naprotiv, predstavlja upravo motiv za još intenzivnije angažovanje i nadamo se, veće uspehe.



GODIŠNJA SKUPŠTINA EVROPSKE FEDERACIJE ZA ZAVARIVANJE, SPAJANJE I REZANJE

U nedelji od 9-13. novembra 2015. godine u Porto Salvo, predgrađu Lisabona održan je niz sastanaka u vezi aktivnosti Evropske federacije za zavarivanje, spajanje i rezanje (EWF).

Najznačajnija je bila godišnja skupština Evropske federacije za zavarivanje, spajanje i rezanje.

Godišnja skupština EWF-a se tradicionalno održava u novembru mesecu u Lisabonu i na njoj učestvuju u radu predstavnici 32 evropske zemlje koje su članice EWF.

U okviru, moglo bi se reći, nedelje zavarivanja održani su i drugi sastanci kao: sastanak tehničkog komiteta, dve radionice – aktivnosti ovlašćenih tela za obuku kadrova u zavarivanju i o Projektima koje finansira Evropska komisija i Konsultativni regionalni sastanak. Ukoliko spomenemo da su na marginama Godišnje skupštine održani i drugi sastanci radnih grupa EWF-a kao i niz bilateralnih i/ili višelateralnih sastanaka predstavnika raznih članica Evropske federacije, onda je jasno da je nedelja od 9-13. novembra stvarno bila nedelja zavarivanja. Svi sastanci su bili održani u prostorijama Instituta za zavarivanje i kvalitet u Porto Salvu – Lisabon, Portugal.

Godišnja skupština Evropske federacije za zavarivanje, spajanje i rezanje je bio najznačajniji skup i održana je 10.11.2015.godine.





Pored redovnih aktivnosti kao što su operativna pitanja vezana za članstvo, usvajanje izveštaja o radu EWF-a, finansijskog izveštaja, plana rada i strategije EWF-a i priručnika za organizaciju specijalnih evropskih kurseva, najvećim delom se diskutovalo i o obavezama EWF-a u delu promena i usaglašavanje dokumenata EWF-a sa zakonima EU o sprečavanju konkurencije. To su pitanja koje se najviše tiču odnosa između članica u domenu obrazovanja kadrova u zavarivanju, odnosa između nacionalnih tela za ovlašćivanje (ANB). Zbog toga je deo diskusije po ovom problemu bio predmet više pratećih sastanaka.

Po ovom pitanju najznačajniji je bio takozvani Konsultativni regionalni sastanak na kome su bili pozvani predstavnici iz Rumunije, Bugarske, Slovenije, Hrvatske, Poljske i Rusije.

Sastanku su pored predstavnika EWF-a: Henk Bodt (predsednik EWF-a), Tim Jessop (predsedavajući sastanka), Rute Ferraz (izvršni direktor sekretarijata EWF) i Erico Assuncao (konsultant u sekretarijatu) prisustvovali i predstavnici Poljske (Michail Kubica), Rusije (Aleksandar Mulin), Bugarske (Petar Držanov), Slovenije (Miro Uran) i Srbije (Vencislav. Grabulov).

Na ovom sastanku koji je bio prvi u nizu, jer se planiraju još 3 Regionalna konsultativna sastanka sa ostalim članovima EWF, svaki predstavnik je diskutovao o sledećim temama:

- Kakva je ocena stanja aktivnosti nacionalnih tela za ovlašćivanje (ANB) u svojoj zemlji, i kako EWF može da doprinese boljoj aktivnosti ANB
- Kakvo je naše mišljenje o efektima promena pravila delovanja ANB u skladu se predloženim izmenama a tiču se mogućnosti promene izvornih načela Međunarodne grupe za autorizaciju.
Pojašnjenje: to znači, da princip da u svakoj zemlji može da postoji jedno Nacionalno telo za ovlašćivanje koje jedino u matičnoj zemlji može da bude odgovorno za ovlašćivanje Centara za obuku kadrova u zavarivanju treba modifikovati u smislu da i Telo za ovlašćivanje iz drugih (nedomicilnih) zemalja mogu da deluju van svojih granica. To je zbog toga što Zakoni EU ne dozvoljavaju zatvaranje aktivnosti u nacionalnim granicama.

Znači, zakon o sprečavanju konkurencije dozvoljava maksimalnu slobodu delovanja svih subjekata u svakoj zemlji.
- Kako ocenjujemo/vidimo perspektivu EWF u novim uslovima u budućnosti

Naravno da se najinteresantnija diskusija razvila po pitanju "promena pravila igre za vreme utakmice" kako se u žargonu naziva pokušaj da se poremete izvorni principi Međunarodnog tela za autorizaciju (IAB).

Zemlje van EU su generalno protiv toga a i neke od zemalja iz EU. Čine se pokušaji da se ovaj pravni zahtev uvede u kolosek poboljšanja kvaliteta obrazovanja i saradnje između članica EWF.

Izmene su neminovne, ali se nadamo da će i u novim uslovima postojati pravila ili makar interni sporazumi da Nacionalna tela za ovlašćivanje (ANB) ne izgube na svojoj odgovornosti i na svom značaju.

Treći značajan događaj je bila Radionica koja se odnosila na upoznavanje sa najnovijim izmenama priručnika za organizaciju kurseva i sprovođenja ispita.

Pored toga održan je i sastanak sa konsultantima iz EWF koji su zaduženi za međunarodnu saradnju, a tema su bili Projekti koji se odnose na zavarivanje a finansirani su od strane Evropske komisije. Posebno je diskutovano o tome kako EWF može da pomogne razvojnim institucijama u učešću na budućim projektima.

Zaključak je da je učešće na ovim sastancima korisno za aktivnosti Društva za unapređivanje zavarivanja i DUZS CertPers-a.



BAKAR I LEGURE BAKRA

Klasifikacija bakra i legura bakra prema ISO/TR 15608; Fizičke i mehaničke osobine; Dezoksidacija i zavarljivost; Primenljivi postupci zavarivanja (zavarivanje, tvrdo i meko lemljenje; Dodatni materijali; Zaštitni gasovi; Primena i specijalni problemi

Rezime

Kao čist metal, bakar ima široku primenu, posebno u elektrotehnici za izradu provodnika, zbog izvanrednih fizičkih svojstava – električne i toplotne provodljivosti. Takođe, bakar se odlikuje velikom plastičnošću i sposobnošću obrazovanja velikog broja tehničkih legura koje imaju dobra mehanička i tehnološka svojstva.

Uticaj pratećih elemenata.

Osobine tehnički čistog bakra zavise od njegove čistoće i sadržaja gasova u njemu. Štetnim primesama se smatraju antimon, sumpor, selen, telur, bizmut, vodonik i kiseonik, koji snižavaju električnu provodljivost bakra.

Zbog navedenih osobina bakar i legure bakra posebno imaju primenu u elektronskoj industriji, u postrojenjima procesne opreme i cevni instalacija, u građevinarstvu. Metalurški proizvodi Cu i Cu legura su kovani, valjani, vučeni i presovani; u obliku lima, trake, šipke i žice, i liveni proizvodi (legure). Širok asortiman trgovačke robe gotovih proizvoda su elementi cevni instalacija, mašinski delovi i alati za upotrebu u eksplozivnom i korozivnom okruženju, dekorativna galanterija...

U izradi gotovih proizvoda od Cu materijala najšire je zastupljeno spajanje lemljenjem, a u izradi procesne opreme i drugih nosećih spojeva, spajanje zavarivanjem i lemljenjem. U nanošenju zaštitnih slojeva (plakiranje) Cu materijala na

Bakar pripada prvoj grupi periodnog sistema sa atomskim brojem 29 i atomskom masom od 63,54. Gustina čistog bakra iznosi 8,93 g/cm³. Kristališe po površinski centriranoj kubnoj rešetki. Posle zlata i srebra ima najveću električnu provodljivost. Toplotna provodljivost bakra je šest puta veća nego železa, odnosno dva puta veća nego aluminijuma. Temperatura topljenja čistog bakra iznosi 1083°C.

čelične valjane metalurške proizvode (kompoziti), sa osobinama specifične korozivne otpornosti i otpornosti na specifične vrste habanja, primenjuje se navarivanje pritiskom. Za zaštitne slojeve na gotovim proizvodima primenjuje se polemljivanje, elektrohemijsko i termičko nanošenje prevlaka.

TOPLOTNO FIZIČKE I MEHANIČKE OSOBINE BAKRA

Fizičke osobine bakra u poređenju sa konstrukcionim čelikom pokazuju izrazite razlike (tab.1). Toplotna provodljivost bakra na temperaturi okoline je oko 6 x veća, a na povišenoj temperaturi oko 10 x veća od konstrukcionog čelika. Iako je temperatura topljenja i količina toplote topljenja bakra značajno niža od čelika, kod zavarivanja bakra, zbog toplotne provodljivosti, mora se uneti znatno više toplote u odnosu na zavarivanje nelegiranog čelika.

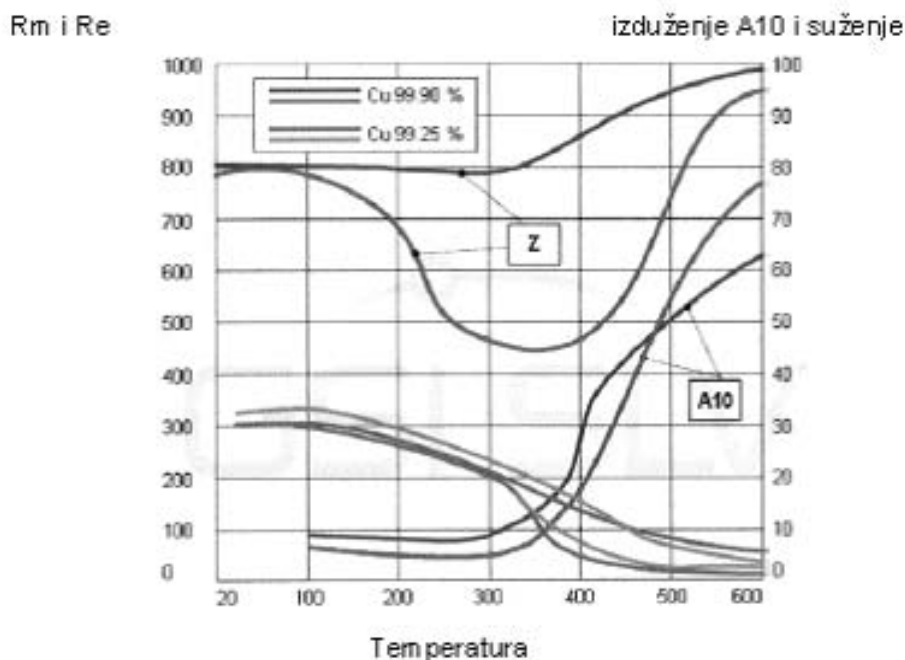
Osobine	Nelegirani čelik (±0,20% C)	Bakar
- Gustina (g/cm ³)	7,85	8,93
- Temperatura topljenja (°C)	1520-1450	1080---1083
- Specifična toplota kod 18...100 °C (J/K.g)	0,46	0,38
- Utrošak toplote kod zagrevanja na temperaturu topljenja i kod topljenja u (J/g)	620	950
- Toplotna provodljivost (W/cm.K)	~0,675	~3,943
- Toplotno izduženje 1000 mm dužine šipke od 0 na 100 °C (mm)	1,2	1,7
- Toplotno izduženje 1000 mm dužine šipke od 0 na 1000 °C (mm)	14,5	20,3
- Skupljanje pri očvršćavanju (%)	2,0	4,9

Tabela 1. Fizičke osobine bakra i nelegiranog konstrukcionog čelika

Skupljanje pri očvršćavanju bakra je veće od 2x u odnosu na nelegirani čelik. Toplotno izduženje je toliko veće da se kod skupljanja pri hlađenju posle zavarivanja stvaraju znatni naponi koji se zatim razgrađuju preko plastične deformacije, ili ostaju u zavarenom spoju kao sopstveni naponi.

Kod svih vrsta bakra sa porastom temperature čvrstoća i napon tečenja se veoma smanjuju.. Razlike nastaju u pokazateljima deformabilnosti.

Kod kiseoničnog i srednje dezoksidisanog bakra izduženje i kontrakcija sa temperaturom rastu, a kod fosforom dezoksidisanog bakara na temperaturama između 250 i 500 °C oštro opadaju (sl.1.). Kod različitih vrsta bakra u području temperatura do 700 °C deformabilnost se povećava, a zatim, zbog povećanja rastvorljivosti zagađivača, počinje da se smanjuje.



Slika 1: Mehaničke osobine tehnički čistog bakra zavisno od temperature

TEHNIČKE VRSTE BAKRA

Razlikuje se dezoksidisani bakar i bezkiseonični bakar. Razlika između dezoksidisanog bakra i bezkiseoničnog bakra je u načinu proizvodnje; dezoksidisani bakar je kovani bakar koji je tretiran sa elementima za dezoksidaciju (fosfor), a bezkiseonični bakar je katodni bakar, pretapan pod posebnim uslovima bez pristupa kiseonika.

Bezkiseonični bakar je izvanredno plastičan, dobre zavarljivosti i lemljivosti; može se koristiti u redukcionoj atmosferi u vrućem stanju, bez opasnosti od nastanka vodonične krtosti. Osim katodnog bakra, sve ostale vrste rafinisanog bakra sadrže 0,03-0,04% kiseonika. Odstranjivanjem ovih

malih količina kiseonika postižu se znatne promene u osobinama bakra.

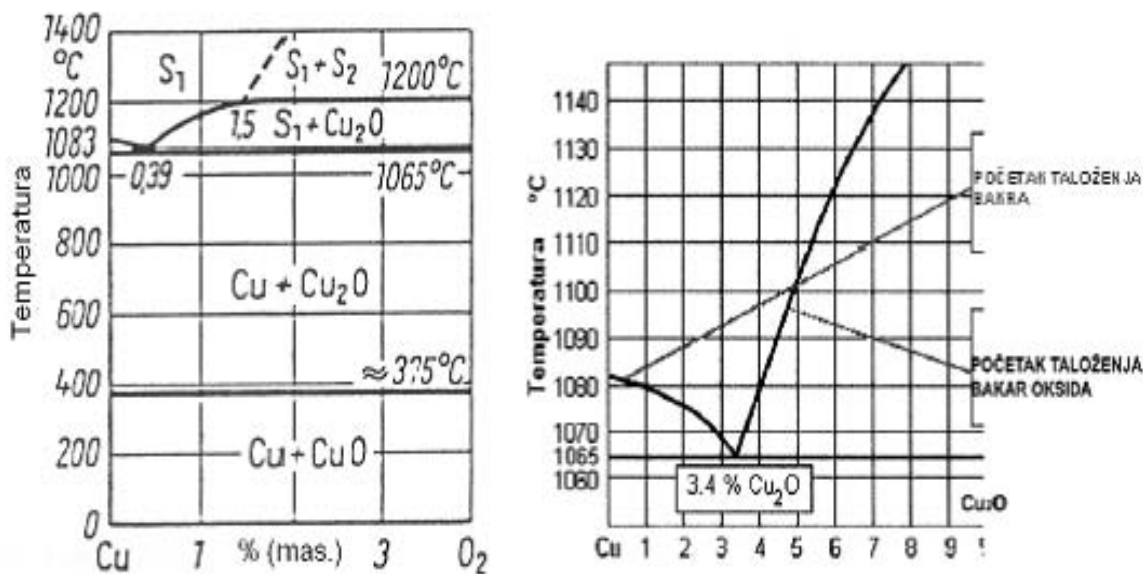
Pod nazivom tehnički bakar podrazumeva se čist bakar i vrste bakra koje sadrže do 1% drugih elemenata (tab.2). Ovi elementi su uglavnom nečistoće koje mogu da budu rastvorene u bakru kao čvrsti rastvor (Ni, Fe, As, Sb i P) ili nerastvorene u čvrstom stanju (Bi, Pb, Se, Te, S, kiseonik, i oksidi). Za specijalnu namenu postoje vrste bakra sa namerno dodatim Ag, Cd ili Te, većinom u količini ispod 1%.

Kiseonik u bakru

Kiseonik je prisutan u svim komercijalnim vrstama bakra izuzev u dezoksidisanom bakru.

Vrsta i oznaka ISO 1190-1	Broj materijala	Sastav u %
katodni bakar Cu-CATH	2.0050	Cu>99,90
bakar koji sadrži kiseonik (O) Cu-ETP	2.0061	Cu>99,90 O=0,005...0,040
bakar koji sadrži kiseonik Cu-FRHC	2.0080	Cu>99,90 O=0,015...0,040
bakar bez kiseonika, nedeoksidisan Cu-OF	2.0040	Cu>99,95
bakar bez kiseonika, dezoksidisan sa fosforom (P) Cu-DHP	2.0070	Cu>99,90 P=0,015...0,040

Tabela 2. Glavne tehničke vrste bakra

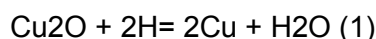


Slika 2: a) Dijagram stanja Cu –O₂ b) deo dijagrama područja eutektikuma Cu₂O.

On gradi sa Cu dva oksida, CuO i Cu₂O. Ako se metalno sjajni bakar zagreva na vazduhu na površini se stvara oksidni sloj pri čemu se sa porastom temperature povećava udeo Cu₂O. Od 1025 °C oksidni sloj se sastoji isključivo od Cu₂O (sl.2). Istovremeno se pojačava prodiranje kiseonika u bakar duž granica zrna. U livenom stanju Cu sa kiseonikom gradi eutektikum Cu - Cu₂O koji sadrži 0,386% kiseonika ili 3,45% Cu₂O, i ima temperaturu topljenja 1065 °C. Struktura eutektičke legure se sastoji iz bakarne matrice sa ravnomerno raspoređenim česticama Cu₂O. Kod očvršćavanja rastopljeni kiseonični bakar gradi tanku eutektičku mrežu izlučenu po granicama zrna. Toplim ili hladnim oblikovanjem mreža se razara te je kod legura za gnječenje usled preoblikovanja eutektikum u obliku kuglica. U zavisnosti od sadržaja i oblika preraspodele Cu₂O u bakru nastaje i deluje pojava krtosti.

Vodonična krtost

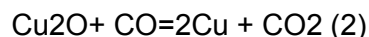
Ako kiseonični bakar kod povišenih temperatura dođe u dodir sa vodonikom (gorenje gasa, vlažnost, prljavština na površini), tada vodonik koji difunduje u bakar reaguje sa Cu₂O i stvara H₂O u obliku pare prema sledećoj jednačini:



Dubina prodiranja vodonika je to veća što je viša temperatura i što je duže vreme delovanja. Vodena para zarobljena pod visokim pritiskom ostaje u bakru na mestu nastanka, i ne može se odstraniti. To dovodi do stvaranja flokni i razaranjem granica

zrna uzrokuje vodoničnu krtost bakra. Ova vrsta oštećenja je poznata kao vodonična bolest. Ona se može sresti i kod bezkiseoničnog bakra ako je ovaj prvo bio izložen oksidirajućoj, a potom redukcionoj atmosferi koja sadrži vodonik.

Slično kao vodena para može delovati i CO₂, a nastaje ako difundovani CO reaguje sa Cu₂O:

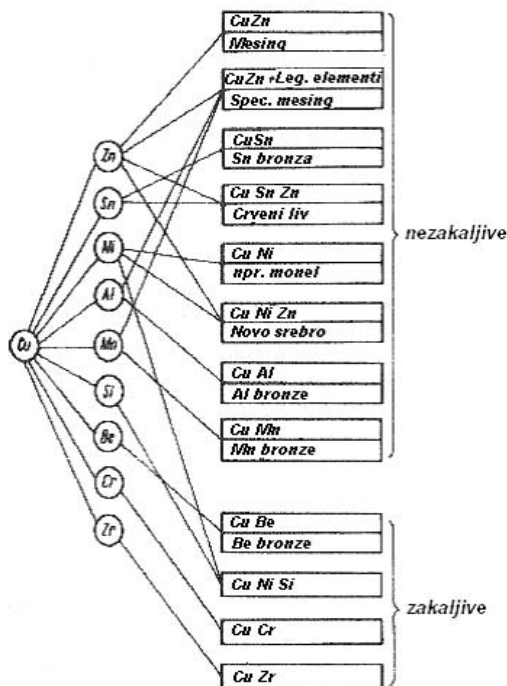


Zbog male brzine difuzije CO, ovaj slučaj nastaje samo u veoma nepovoljnim uslovima.

LEGURE BAKRA

Bakar ima sposobnost legiranja sa drugim metalima. U odnosu na čisti bakar legure bakra imaju povišenu čvrstoću, i u većini slučajeva bolju obradivost, dok su električna i toplotna provodljivost niže.

Za odavno poznate legure bakra još su često u upotrebi stari nazivi te se Cu-Zn legure nazivaju mesinzi, Cu-Sn legure bronzе, a Cu-Ni-Zn legure, zbog izgleda sličnog srebru, nazivaju se novo srebro. Bronze su se ranije razlikovale prema nameni pod nazivima bronzа za zvona i topovska bronzа. Kao kod drugih neželjeznih metala i kod bakarnih materijala prema načinu oblikovanja razlika je između livenih legura i legura za gnječenje, pri čemu kriterijum pripadnosti nije hemijski sastav. Prema sposobnosti zakaljivanja razlikuju se nezakaljive i zakaljive legure. Pregled uobičajenih legura bakra dat je na slici 3.



Slika 3. Pregled uobičajenih legura bakra

Skoro svi Cu materijali ojačavaju hladnom deformacijom. Zakaljive Cu legure sa berilijumom, obično uz dodatak Ni ili Co, uobičajeno pripadaju leguri za gnječenje CuBe₂ (sa R_m do 1400N/mm², Rp_{0,2} od oko 1200 do 1300N/mm²).

KLASIFIKACIJA BAKRA I LEGURA BAKRA PREMA ISO/TR 15 608

U sistemu grupisanja metalnih materijala za zavarivanje Cu i legure Cu su sistematizovani u 8 grupa:

Grupa	Podgrupa	Tipovi bakra i legura bakra
31		Cu sa više od 6% Ag i 3%Fe
32	32.1	Cu-Zn binarne legure
	32.2	Cu-Zn kompleksne legure
33		Cu-Sn legure
34		Cu-Ni legure
35		Cu-Al legure
36		Cu-Ni-Zn legure
37		Legure Cu niskolegirane (sa manje od 5% drugih elemenata) koje ne pripadaju grupama 31-36.
38		Ostale Cu legure (sa 5% ili više drugih elemenata) koje ne pripadaju grupama 31-36.

TERMIČKA OBRADA Cu MATERIJALA

Žarenje za smanjenje napona

Uobičajeno se primenjuje kod legura, pre svega posle zavarivanja, za smanjenje sklonosti ka nastanku prslina usled naponske korozije. Područje temperatura žarenja je između 150-300°C.

Rekristalizaciono žarenje

Primenjuje se za uklanjanje efekata hladne deformacije, pri čemu se takođe razgrađuju i sopstveni naponi. Područje temperatura

rekristalizacionog žarenja je od 400-600°C. Ova termička obrada se kod zavarivanja retko primenjuje.

Otvrdnjavanje taloženjem

Primenjuje se kod zakaljivih legura u cilju postizanja određenog porasta čvrstoće, veće tvrdoće i time veće otpornosti na habanje. Postupak obuhvata operacije: rastvarajuće žarenje, kaljenje i starenje. Tako npr. kod CuBe rastvarajuće žarenje je kod 750-800 °C koje dovodi do rastvaranja dela intermetalnih faza Cu₂Be, zatim



kaljenje u vodi, i starenje kod oko 325°C pri čemu se izlučuje Cu₂Be, veoma fino raspoređen u Cu mešanim kristalima. Zato Cu legure koje otvrdnjavaju nisu zavarljive, ali, zbog dobre otpornosti na habanje nalaze primenu npr. za izradu elektroda za elektrootporsko tačkasto zavarivanje.

SPOSOBNOST ZAVARIVANJA Cu MATERIJALA

Sposobnost zavarivanja Cu i većine njegovih legura je dobra. Ograničenje postoji kod kiseoničnih vrsta bakra, kod Cu legura koje otvrdnjavaju taloženjem, i kod legura koje su sklone stvaranju gustih tečnih troski. Problemi sposobnosti zavarivanja bakarnih materijala uglavnom se svode na:

- Kod hladno ojačanog materijala sniženje čvrstoće u ZUT usled rekristalizacije;
- Pojava hladnih i vrućih prslina u metalu šava i ZUT, usled nastanka krtosti, segregacija, hemijskih procesa i naponskih stanja;

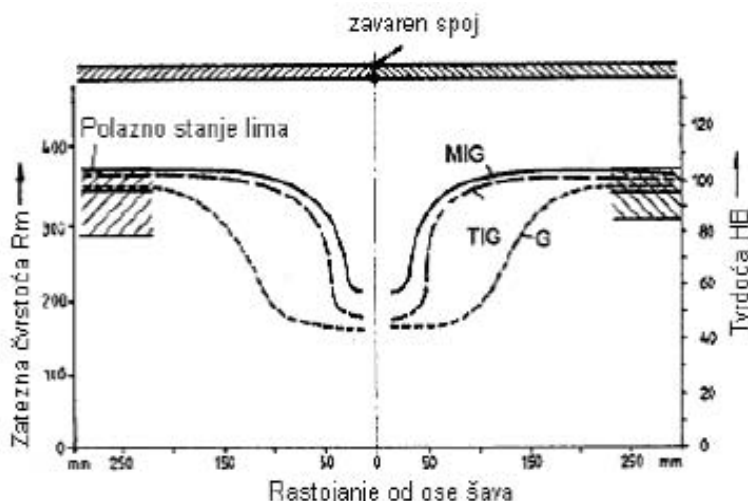
- Pojava poroznosti u metalu šava i ZUT, kao posledica prisustva oksida i vodonika, ili isparavanja legirajućeg elementa niže tačke topljenja;

- Pojava nespojenosti, deformacija i vitoperenja, kao posledica velike toplotne provodljivosti.

U cilju povećanja zavarljivosti preduzimaju se određene mere, zavisne od vrste osnovnog materijala, njegove debljine i primenjenog postupka zavarivanja.

Sniženje čvrstoće

Kod hladno ojačanog materijala sniženje čvrstoće u ZUT usled rekristalizacije je neminovna pojava koja se pri konstruisanju mora da uzme u obzir. Izborom postupka zavarivanja širina zone rekristalizacije se može umanjiti, ali ne i izbeći (sl. 4).



Slika 4. Sniženje čvrstoće hladno ojačanog materijala u ZUT zavarenog spoja

Vruće prsline

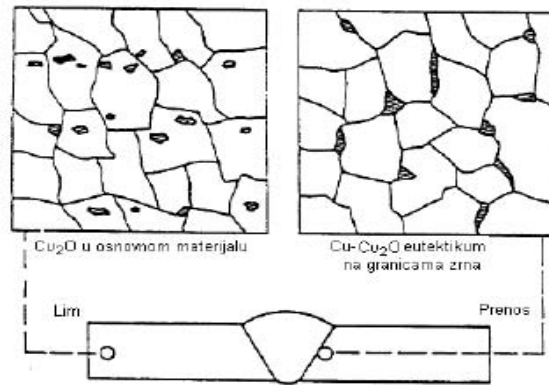
Opasnost od nastajanja vrućih prslina (prslina pri očvršćavanju) u metalu šava zavisi od stepena mešanja, odnosno nastanka kristalne segregacije za vreme procesa očvršćavanja. Ova opasnost je posebno izražena kod primene dodatnog materijala istog tipa legure kao što je osnovni materijal. Zato pre svega treba koristiti dodatni materijal niže legiran u odnosu na osnovni materijal.

Vruće prsline u ZUT usled kristalne segregacije mogu nastati posebno kod livenih legura. Inače, blokovi segregacija se ne sreću. Lokalno obogaćivanje legirajućih elemenata prevashodno

može nastati usled izlučivanja u području temperatura 300-500°C.

Prsline usled krtosti

Kod bezkiseoničnog bakra u principu nema opasnosti od krtog loma. Kod bakra koji sadrži kiseonik, usled stvaranja eutektikuma Cu - Cu₂O i njegovog izdvajanja po granicama zrna (sl. 5), kod zavarivanja dolazi do krtosti. Zato vrste kiseoničnog Cu po mogućnosti ne treba zavarivati. Krtost usled izlučivanja pojavljuje se pri zavarivanju svih vrsta legura koje otvrdnjavaju taloženjem, te ih u principu ne treba zavarivati



Slika 5 Šematski prikaz izdvajanja eutektikuma

Prsline usled hemijskih uticaja

Krtost usled zagrevanja, kao posledica smanjenja deformabilnosti, u slučaju udarnog opterećenja tokom zavarivanja ili hlađenja posle zavarivanja, može izazvati prsline prevashodno po granicama zrna. Zato, u toku zavarivanja mora da se predvide određene mere zaštite od opterećenja zone zavarenog spoja.

Za rastvaranje čvrsto prijanjajućeg oksidnog sloja na površini bakra, kod gasnog zavarivanja uvek, a često i kod TIG zavarivanja, mora se upotrebiti topitelj. Ostatak topitelja se mora detaljno ukloniti da ne bi uzrokovao nastanak korozije. Legure Cu u prisustvu NH_3 jona su osetljive na nastanak prsline usled naponske korozije (SpRk) (sl.6). Nastanak prsline usled naponske korozije može se umanjiti primenom žarenja za smanjenje napona posle zavarivanja.

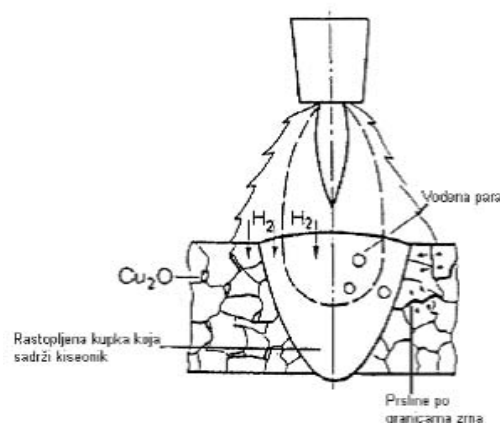


Slika 6. Prsline usled naponske korozije

Pore

Pore posebno nastaju kod zavarivanja čistog bakra ulaskom u zavarivačku kupku vodene pare pod

pritiskom, u kojoj kiseonik i vodonik ostaju zarobljeni (sl.7).



Slika 7. Kiseonična krtost bakra koji sadrži kiseonik. Levo – vodonik iz kiseonično-acetilenskog plamena; desno – oštećenja strukture isparavanjem vode



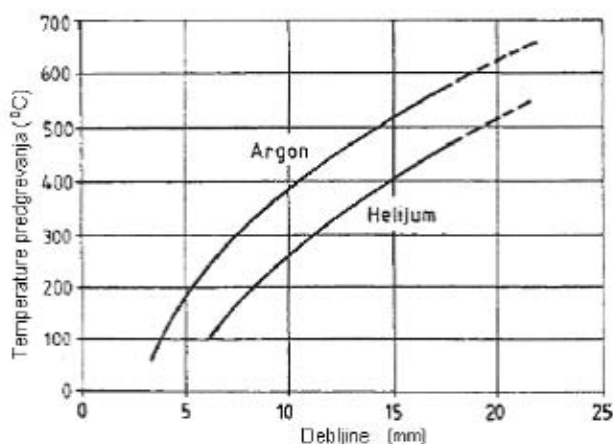
Sniženje i eliminacija slobodnog kiseonika se postiže njegovim vezivanjem preko dodatnog materijala koji sadrži dezoksidatore. Unos vodonika može se umanjiti ako se u pripremi za zavarivanje što je moguće više izvrši čišćenje i sušenje mesta zavarivanja. Za smanjenje jake apsorpcije gasova koja nastaje kod pregrejane kupke, kod zavarivanja većih delova za sniženje temperature rastopa treba praviti češće prekide rada.

Sve legure za obradu rezanjem na automatima sadrže Pb. One nisu pogodne za zavarivanje, jer usled isparavanja olova nastaju pore i razaranje granica zrna. Kod zavarivanja mesinga pore nastaju usled isparavanja cinka. Gasno zavarivanje sa viškom kiseonika obezbeđuje zavaren šav sa

malo pora, pošto se veliki deo isparenog cinka taloži na površini u obliku oksidne prevlake.

Nespojenosti i deformacije

Zbog visoke toplotne provodljivosti Cu, i time jakog odvođenja toplote pri zavarivanju, da bi se materijal mogao pretopiti potreban je veliki unos toplote. Zato je počev od 6-8 mm debljine preporučljiva primena predgrevanja (sl. 8). Visoka toplotna provodljivost, toplotno izduženje i vitoperenje dovode do jakog oštećenja i kidanja pripoja i pomeranja stranica žljeba. Navedeni problemi se pojačano sreću kod čistog bakra, dok su manje izraženi kod legura.



Slika 8. Temperatura predgrevanja zavisa od debljine lima i vrste zaštitnog gasa

Opšta ocena zavarljivosti Cu materijala u zavisnosti od primenjenog postupka zavarivanja data je u tabeli 3.

Materijal	Gasno	TIG	MIG	Elektroski snop	Ultrazvučno	Elektrotoporno
Čisti Cu						
E-Cu	-	+	-	++	++	+
EF-Cu	++	++	++	++	++	+
SE-CU	++	++	++	++	++	+
Legure Cu						
CuAsP	++	++	++		++	
CuMn5	++	++	++		++	
CuSi3Mn	-	++	+		+	
CuZn40	+	+	+	++	++	+
CuZn39Pb	+	+	+	++		
CuZn20Al	-	+	-			+
CuSn6	++	++	++	++	++	++
CuNi10Fe	++	++	++	++		++
CuNi40	++	++	++		++	
CuAl8	-	++	+		++	
CuAl10Ni	-	++	+		++	

++dobra, +zadovoljavajuća, -nezadovoljavajuća

Tabela 3. Ocena zavarljivosti Cu materijala za primenjene postupke zavarivanja

ZAVARLJIVOST I ZAVARIVANJE BAKRA

Na zavarljivost bakra, posebno kod većih debljina loše utiče velika toplotna provodljivost koja je odgovorna za veliki broj oštećenja koja se javljaju pri njegovom zavarivanju. Ako se preduzmu sve

mere za saniranje efekta brzog odvođenja toplote, tada je nemoguće da se potpuno ostvari tečljivost zavarivačke kupke, potrebne za dobro stapanje i dezoksidaciju. Zato se često javljaju greške nedostatak stapanja i poroznost. Primenom predgrevanja smanjuje se brzina očvršćavanja, te



se može umanjiti i nastajanje grešaka spajanja i prisustvo pora. Termičko širenje bakra je takođe veliko, i zato, zavisno od temperaturnih promena tokom zavarivanja veličina zazora u korenu može da bude preterano promenljiva.

Metalurški, zavarivanje bakra postupcima u zaštiti gasa nije posebno teško, ali elektrolitički bakar (sa 0,003-0,005% kiseonika) zahteva dodatnu pažnju pri zavarivanju. Valjani metalurški proizvodi imaju bakar oksid u obliku intergranularnih vlakana koji imaju minimalni uticaj na ukupnu čvrstoću i i osobine. Međutim, u livenom obliku, oksid je prisutan po granicama zrna i tada ozbiljno ugrožava mehaničke osobine. Zato metal šava koji ima livenu strukturu neće imati zadovoljavajuće osobine, zbog čega se mora primeniti dodatni materijal koji sadrži dezoksidante.

U ZUT valjanog elektrolitičkog bakra temperature tokom zavarivanja mogu da budu dovoljno visoke da omoguće difuziju i migraciju oksidnih čestica, tako da može nastati poroznost. Uticaj vremena i

temperature zavarivanja na difuzione procese kod elektrolitičkog bakra moguće je umanjiti što bržim izvođenjem zavarivanja i sa ograničenjima ukupnog zagrevanja komponenti spoja. Ovo je u suprotnosti sa zahtevom za odgovarajuće stapanje i zadovoljavajući profil šava, što se postiže dobrim uvarivanjem.

Zavareni spojevi kod bezkiseoničnog i fosforom dezoksidisanog bakra mogu da se izvode dodatnim materijalom bez dezoksidatora, uz obezbeđenje efektivne gasne zaštite zone zavarivanja sa lica i korene strane spoja (gasna podloška), ali se i pored toga javlja slaba poroznost u ZUT. Uzrok je atmosfersko zagađivanje ili difuzija apsorbiranih gasova iz hladnijih zona osnovnog materijala prema metalu šava usled visokog toplotnog gradijenta osnovnog materijala. Kod fosforom dezoksidisanog bakra višak sadržaja fosfora nije dovoljan da tokom zavarivanja bude u funkciji dezoksidansa. Opšta ocena zavarljivosti važnijih vrsta tehničkog bakra data je u tabeli 4.

Oznaka	Dezoksidacija	Zavarljivost
ECu58	ne	loša
ECu57	ne	loša
OFCu	ne	dobra
SE Cu	da	dobra
SWCu	da	dobra
SF Cu	da	veoma dobra

Tabela 4. Opšta ocena zavarljivosti vrsta bakra

Za zavarivanje bakra primenjuju se postupci:

- Zavarivanje gasnim plamenom, uz primenu topitelja;
- Ručno elektroručno obloženom elektrodom;
- TIG, uz primenu topitelja;
- MIG.

Za uspešno gasno zavarivanje bakra plamen treba da je podešen strogo neutralno. Topitelj čisti zavarivačku kupku od oksida i štiti okolnu zonu metala šava od oksidacije. Sastoji se od jedinjenja bora sa dodatkom dobro oksidišućeg rastvora soli metala. Iako korišćenje topitelja za male debljine materijala nije neophodno, ipak se primenjuje za poboljšanje tečljivosti kupke i sigurnosti od pora. Topitelj deluje samo u slučaju ako se nanosi na hladni lim. Premazivanje stranica žljeba topiteljem ne isključuje ulogu zaštitnog gasa kod TIG zavarivanja, ali će zagrevana površina biti zaštićena od nastajanja oksida, a u području topljenja omogućava njihovo prevođenje u lako tečljivu trosku.

Primena predgrevanja kod jednostranog TIG zavarivanja kod debljina ≤ 3 mm nije neophodna; za debljine >3 mm predgrevanje je na 200 do 500 °C. Pri korišćenju argona kao zaštitnog gasa predgrevanje bakra pre zavarivanja za debljine > 3 mm se smatra obaveznim. Kod dvostranog TIG

zavarivanja za debljine 4...8 mm predgrevanje nije neophodno. Za debljine veće od 15 mm predgrevanje je na 300 do 400 °C.

Za debljine > 5 mm ipak treba koristiti postupak MIG. Kod zavarivanja u zaštiti gasa, osim argona i helijuma koristi se i azot (N₂). U odnosu na Cu azot deluje kao inertni gas, i nije rastvorljiv ni u tečnom ni u čvrstom bakru. Od ova tri gasa, azot najviše utiče na povećanje napona luka, tako da je potrebna temperatura predgrevanja niža, a brzina zavarivanja veća u odnosu na uslove kod primene helijuma. Međutim, zavareni spojevi korišćenjem samo azota ili mešavine argona i azota imaju često hrapavu površinu, mada je sam šav kvalitetan.

Kao dodatni materijal za zavarivanje bakra ne koristi se čist bakar. Dodatni materijali za zavarivanje sadrže legirajuće elemente koji snižavaju tačku topljenja čime se smanjuje zarobljavanje gasa u metalu šava. Dodatni materijali sadrže jedan od elemenata dezoksidatora (Mn, Si), kao i elemente koji poboljšavaju čvrstoću metala šava. Koriste se tipovi legura: SG-CuAg (Ag do 1%), EL- CuMn₂, SG-CuSi₃, S-CuSn.

Metal šava bakra je grubozrne strukture koja ima nedovoljnu mehaničku čvrstoću. Zato, ako je to tehnološki moguće, metal šava treba toplo iskvitati. Tako struktura postaje gušća, fino zrna, približno



iste čvrstoće i deformabilnosti kao osnovni materijal. Čvrstoća neiskivanog metala šava je samo 50% čvrstoće valjanog materijala.

ZAVARLJIVOST LEGURA BAKRA

Legure koje ojačavaju deformacijom, i čija čvrstoća zavisi od stepena prethodne hladne deformacije, pokazuju ozbiljne i nepovratne gubitke mehaničkih osobina pri zavarivanju. Pri projektovanju zavarenih spojeva od tih materijala taj gubitak mora da se uzme u obzir. Za razliku od bakra, kod bakarnih legura ređe se zahteva predgrevanje. Poteškoće sa unosom toplote su u tom slučaju uveliko eliminisane, ali se zato mora obratiti veća pažnja na sam proces zavarivanja.

Dezoksidacija zavarivačke kupke preko sastava dodatnih materijala u većini slučajeva se ostvaruje elementima koji su već prisutni u osnovnom metalu. U posebnim slučajevima, dodatak dezoksidanata, kao što su titan i aluminijum, je radi obezbeđenja potpune dezoksidacije i izbegavanja poroznosti u metalu šava. Kada dodatni materijal nije specificiran u standardima, obično se koriste dodatni materijali istog sastava kao i osnovni.

Na termički obradivim legurama koje otvrdnjavaju taloženjem, kao što su Cu-Cr i Cu-Be legure, zavarivanje se ograničeno primenjuje. Zavarivanje se sprovodi na uobičajeni način, uz dogrevanje, radi sprečavanja pojave prslina usled brzog hlađenja.

Legure bakar-hrom i legure bakar-berilijum stvaraju teško topive okside koji se pri TIG zavarivanju naizmeničnom strujom razaraju i disperguju u metalnoj matrici. TIG zavarivanje naizmeničnom strujom u zaštiti argona je konvencionalna tehnika, ali helijum kao zaštitni gas, uz jednosmernu struju sa elektrodom na negativnom polu, predstavlja izuzetno dobro rešenje, posebno kod reparaturnog zavarivanja legura bakar-hrom.

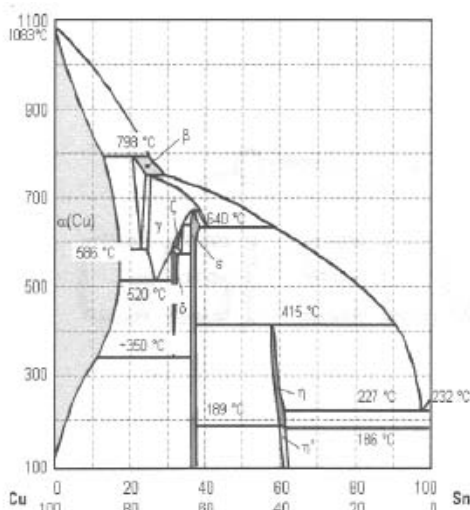
Dodatni materijal je dodatno legiran hromom i berilijumom za obezbeđenje odgovarajuće dezoksidacije tokom zavarivanja. Zavarivački dimovi kod legura koje sadrže berilijum su otrovni i zato se pri zavarivanju topljenjem moraju sprovesti sve mere zaštite na radu. Livene legure bakra, sa izuzetkom legura sa visokim sadržajem olova, su zavarljive uz poštovanje pravila zavarivanja.

SPECIFIČNOSTI ZAVARLJIVOSTI VAŽNIJIH VRSTA LEGURA BAKRA

Legure bakar – kalaj (kalajne bronze)

Legure Cu-Sn (sl.9) sa do oko 5% Sn grade homogene mešane kristale i tada se govori o α bronzi. Kod sadržaja od oko 5% Sn nastaje tvrdi, krta (α - β) eutektoid, zbog kojeg materijal nije više deformabilan. Zato se bronze sa sadržajem Sn većim od 5% proizvode samo kao liveni delovi. Zavarljivost Cu-Sn legura za većinu postupaka topljenjem je dobra do uslovljena. Širok interval topljenja, i time ujedno sklonost segregacijama, pogoduje stvaranju vrućih prslina kao moguće greške kod zavarivanja, na šta se mora obratiti pažnja. Kod prosečnog sadržaja Sn od 6%, sadržaj Sn u segregacijama po granicama zrna može da dostigne do 14%. Nastanak vrućih prslina isključivo je u metalu šava. Sve mere koje deluju na finostrukturnu strukturu metala šava smanjuju sklonost ka vrućim prslinama.

Valjane fosforne bronze sadrže do 8% kalaja, uz zaostali fosfor u količini do 0,4%. Za ograničeni broj primena kada se kod valjanih bronzi zahteva zavarivanje, odgovarajući zadovoljavajući rezultati mogu se postići korišćenjem dodatnog materijala tipa fosforne bronze. Metal šava bez poroznosti normalno se postiže korišćenjem dodatnog materijala istog sastava sa više dezoksidanata, kao i onih koji su razvijeni za bakar i aluminijumske bronze.



Slika 9: Dijagram stanja legura Cu-Sn



Crveni liv- CuSnZn legure Struktura i zavarljivost je kao kod kalajne bronzne. Nešto povišena opasnost od pora je zbog isparavanja cinka.

Livene kalajne bronzne sa dodatkom Pb

Zavarivanje i reparaturno zavarivanje bronzni sa dodatkom Pb, koji se dodaje komercijalnim legurama radi bolje obradivosti i povećanja otpornosti na pritiska naprezanja, treba izbegavati zbog problema uzrokovanih prisustvom olova. Komercijalno je na raspolaganju dodatni materijal koji sadrži nikl, fosfor i silicijum. Kada se zavarivanje ne može izbeći prednost je da je sadržaj olova na donjoj granici dopuštenog opsega.

Legure bakar-silicijum (silicijumske bronzne)

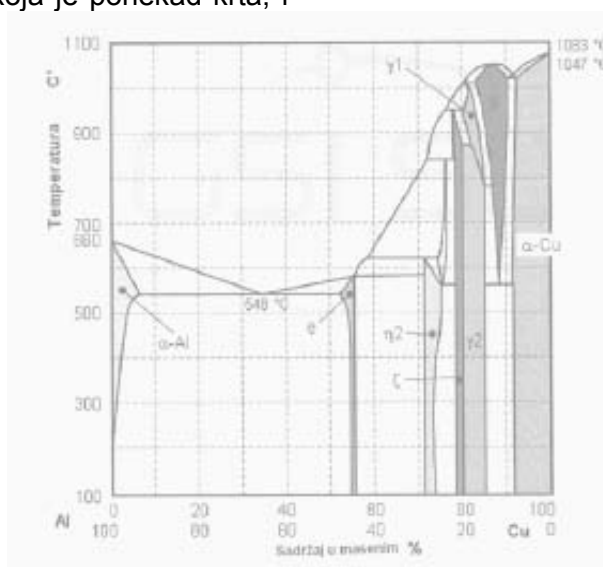
Ove legure sadrže oko 3% Si, uz dodatak oko 1%Mn koji u izvesnom stepenu poboljšava mehaničke osobine, radne karakteristike i korozionu otpornost običnih Cu-Si legura. Imaju odlične mehaničke osobine, uporedive sa običnim ugljeničnim čelicima, dobru otpornost na zamor i korozioni zamor, i termičku provodljivost sličnu običnim čelicima. U području temperatura 800-950°C postoji sklonost ka skupljanju, te hlađenje u tom području posle zavarivanja treba da je što brže. Ali, vrlo velika brzina hlađenja može dovesti do stvaranja metastabilne faze koja je ponekad krta, i

koja u uslovima uklještenja može izazvati prsline u metalu šava.

Zadovoljavajući zavareni spojevi na silicijumskim bronzama mogu se postići ako se primene odgovarajući uslovi zavarivanja. Pri TIG zavarivanju u zaštiti argona, naizmenična struja omogućava uklanjanje oksidnog filma teško topivih metala, ali uz manju stabilnost luka. Kada se koristi helijum, normalno je korišćenje jednosmerne struje sa elektrodom na negativnom polu. TIG postupak se koristi za zavarivanje materijala do 12 mm debljine, ali je sasvim pogodan i za veće debljine, mada su brzine nanošenja metala šava veće kod MIG postupka.

Legure bakar-aluminijum (aluminijumske bronzne)

Legure Cu-Al (sl.10) sadrže 4 do 12,5 % Al. Veliki broj aluminijumskih bronzni višekomponentnog sastava sadrže dodatke Fe, Ni, Mn i Si. Aluminijumske bronzne se koriste uglavnom zbog svoje dobre korozione otpornosti, uz istovremenu dobru čvrstoću. Legure su u opsegu od jednofaznog sastava, sa sadržajem oko 7% Al, do mnogo kompleksnijih dvofaznih legura koje sadrže oko 11% Al sa dodacima Fe, Ni i Mn.



Slika 10: Dijagram stanja legura Cu-Al

Zavarivanje loše utiče na metaluršku strukturu ovih legura. Legura sa sadržajem 6-8% Al, 2-2,3% Fe, koja se obično koristi za izmenjivače toplote, pri gasnom zavarivanju i pri korišćenju dodatnog materijala istog sastava, može pokazivati krtost u korenu višeslojnih šavova. Ova krtost je uzrokovana razlaganjem zaostale β faze u krtu γ2 tokom ponovnog zagrevanja zavara koji se najbrže hladi u korenom delu šava. Ovaj problem se prevazilazi korišćenjem za koreni zavar dodatnog

materijala koji nije istog sastava kao osnovni materijal.

U β fazi dvofazne Cu-Al legure pod određenim okolnostima može da se pojavi oblik korozije poznat pod imenom dealuminizacija. Da bi se sprečio ovaj elektrohemijski korozioni efekat, za završni sloj šava (lice šava) potrebna je primena dodatnog materijala sa istim sastavom kao i osnovni materijal. Obično aluminijumske bronzne pokazuju pad plastičnosti usled zagrevanja što je potencijalni problem u postizanju dobrih zavarenih



spojeva na ovim legurama. Iz tih razloga postoji interesovanje za legure aluminijumskih bronzi koje sadrže približno 6% Al, 2% Si, i za osnovni i za dodatni materijal. Osim u izuzetnim slučajevima zavarljivost Cu - Al legura je dobra.

Posebno je povoljna primena TIG zavarivanja. Samo kod retko korišćenog gasnog zavarivanja, zbog visokotopivog Al oksida, primenjuje se topitelj na bazi fluorida. Na komercijalnim aluminijumskim bronzama, zbog postojanja teško topivog oksida, visoko kvalitetni zavareni spojevi se mogu izvesti samo TIG postupkom naizmeničnom strujom u zaštiti argona, ali se bolji rezultati uklanjanja oksida postižu u zaštiti helijuma korišćenjem jednosmerne struje sa elektrodom na negativnom polu.

Cu Al legure su sklone kod zagrevanja stvaranju grubozrne strukture. Ovo može da dovede, zajedno sa niskotopivim filmom na granicama zrna, do povećanja sklonosti ka vrućim prslinama u ZUT. Na nastajanje vrućih prslina u ZUT, ali takođe i u metalu šava, značajno utiče stanje obrade osnovnog materijala. Što je više hladno deformisan, t.j. što je veća čvrstoća usled hladne deformacije, to je veća verovatnoća cepanja materijala. Kritični sastav za nastanak prslina kod zavarivanja je sadržaj Al od 6 do 7,5 %. Predgrevanje u cilju smanjenja toplotne provodljivosti Cu Al legura u opštem slučaju se ne primenjuje. Predgrevanje treba primeniti samo u slučaju velikih debljina materijala.

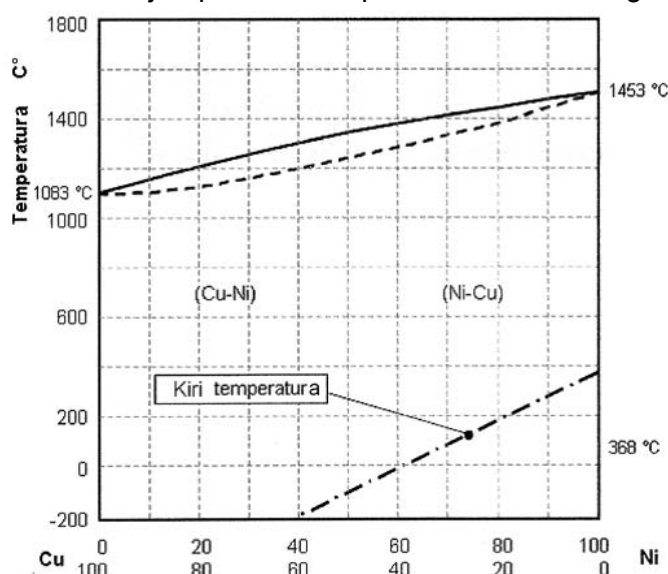
Live aluminijumske bronze

Najčešće korišćena aluminijumska bronza za livenje ima ograničen sadržaj Al od 8,5-10,5%. U nameni za zavarivanje i za obezbeđenje optimalnih

mehaničkih osobina, radi sprečavanja nepoželjnih krtih faza preporučuje se održavanje sadržaja Al u granicama 9,4-9,8%. Zbog korozivnih i mehaničkih osobina, dodatni materijal treba da je sličnog sastava ili veće legiranost u odnosu na osnovni materijal. Za sprečavanje problema nastajanja prslina, za slojeve ispune treba koristiti plastičniji dodatni materijal, a za pokrivne slojeve dodatni materijal odgovarajući osnovnom materijalu. Legure bakar-mangan-aluminijum za livenje sadrže do oko 11% Al, 12% Mn sa dodacima Fe i Ni. Imaju dobru zavarljivost i, u odnosu na obične Al bronze ne pokazuju krtost u određenom temperaturnom intervalu, mada za oporavak mehaničkih osobina i korozione otpornosti zahtevaju termičku obradu posle zavarivanja.

Legure bakar-nikl (monel)

Bakar gradi sa niklom homogene mešane kristale u svim odnosima legiranja (sl.11.). Ove legure sadrže od 5 do 30% Ni i dodatak Fe i Mn, uglavnom radi poboljšanja otpornosti na koroziju u određenim sredinama. Široko se koriste za izradu izmenjivača toplote, cevovoda i slično, kada se zahteva dobra koroziona otpornost i mehaničke osobine. Struktura i zavarljivost Cu-Ni legura je slična čistom Cu, dok su tvrdoća i čvrstoća izrazito veće. Sumpor u Cu-Ni legurama dovodi do krtosti i povišene sklonosti ka vrućim prslinama. Proces sumporizacije je posebno velik u medijumu koji sadrži sumpor, i može se očekivati kod zagrevanja preko 500°C. Sumpor prodire pre svega duž granica zrna gde dolazi do stvaranja niskotopivog krtog nikl-niklsulfid eutektikuma. Slična krtost takođe je moguća kod prodora kiseonika u granice zrna.



Slika 11: Dijagram stanja legura Cu-Ni

Bakar-nikl legure su dobro do uslovno zavarljive postupcima topljenjem. Zbog osetljivosti na

pregrevanje ovi materijali treba da se zavaruju sa što je moguće nižom pogonskom energijom.



Primena prekidanja zavarivanja može da bude štetna zbog stvaranja troske gustotečnog nikl oksida. Zato je povoljna primena TIG i MIG zavarivanja, uz dobru zaštitu gasom. Kod drugih postupaka topljenjem preporučuje se primena topitelja. Mada su osetljive na vruće prsline, kada su prisutne nečistoće kao što su olovo, fosfor i sumpor, današnji kvalitet komercijalnih legura je takav da pojava prsline usled prisustva intergranularnog filma nije opšta pojava. Legure su posebno osetljive na zaprljanost kiseonikom i vodonikom iz atmosfere, što dovodi do poroznosti u metalu šava. Neophodno je da protok zaštitnog gasa bude dovoljan da zaštiti širu zonu zavarivanja, a poželjna je, ali nije neophodna, i zaštita sa unutrašnje (korene) strane šava.

U svim slučajevima potrebno je koristiti dodatni materijal koji je posebno namenjen za zavarivanje bakar-niklovih legura, koji uglavnom sadrži titan kao glavni dezoksidans. Povoljni su dodatni materijali: npr. SG CuNi10Fe, EL-CuNi10Mn, SG-CuNi30Fe, EI-CuNi30Mn. TIG i MIG postupci se široko koriste kod svih primena zavarivanja, uključujući i

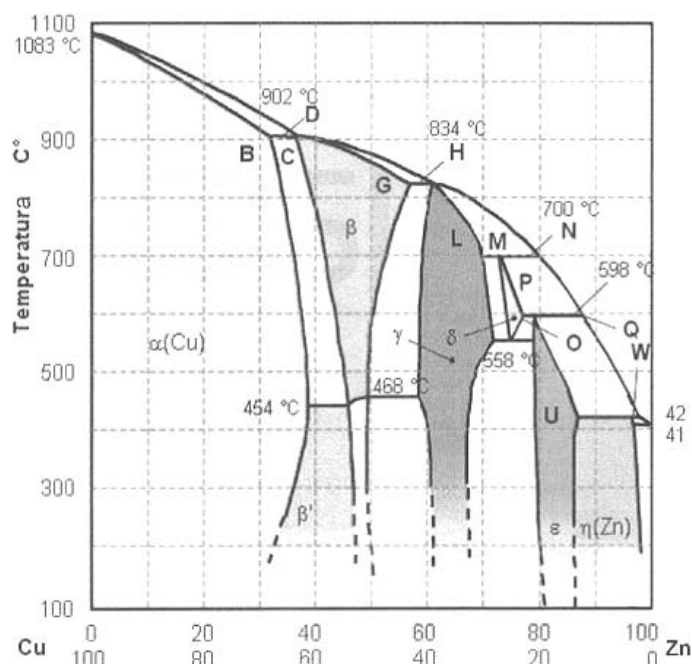
izvođenje visokokvalitetnih zavarenih spojeva kod cevovoda gde se plazma postupak već pokazao uspešnim. Zbog relativno niske toplotne provodljivosti Cu-Ni legura predgrevanje kod zavarivanja topljenjem se ne primenjuje.

Legure Cu-Ni-Zn (novo srebro)

Ove legure, uzimajući u obzir osobine materijala, retko se zavaruju. Sposobnost zavarivanja se može oceniti kao dobra do uslovljena.

Legure bakar-cink (mesing i niklovo srebro)

Legure Cu-Zn (sl.12) sa oko 37%Zn grade homogene mešane kristale, i tada se govori o α mesingu. Od oko 37% Zn nastaje druga faza bogata cinkom, tzv. β mešani kristali, i tada se govori o α - β mesingu, a kod većeg sadržaja cinka (od oko 48%) o čistom β mesingu; α mesing je dobre sposobnosti hladnog oblikovanja i korozijske postojanosti; α - β mesing, i posebno bogati β mesing, je loše sposobnosti hladnog oblikovanja, ipak, dobre sposobnosti toplog oblikovanja, i obično lošije korozijske otpornosti od α mesinga.



Slika 12: Dijagram stanja legura Cu-Zn

Posebne vrste mesinga imaju u manjim količinama i druge legirajuće elemente, kao Al, Sn, Si, Ni, ili Mn za npr. povećanje otpornosti na habanje. Uticaj ovih elemenata na strukturne osobine i na sposobnost zavarivanja je mali. Mesing za automate pored Cu i Zn sadrži i Pb, koji se nalazi u strukturi kao metalni uključak. Ove vrste mesinga nisu zavarljive.

Cu-Zn legure (mesing i specijalni mesinzi) sadrže najmanje 55% Cu, ostatak je Zn i ponekad dodatak Pb, Al, N, Mn, Ni, Fe i Sn. Legure koje se najčešće

zavaruju su aluminijumski mesing (76% Cu, 22% Zn, 2% Al), "Admiralty" mesing (70%Cu, 29% Zn, 1% Sn) i "Naval" mesing (62% Cu, 36,75% Zn, 1,25% Sn).

Veliki problem kod zavarivanja mesinga je opasnost od poroznosti usled isparavanja cinka. Cink ima temperaturu isparavanja od 907 °C. Da bi se kod zavarivanja isparavanje cinka održalo u prihvatljivim granicama, svako nepotrebno pregrevanje treba izbegavati. Isparavanje cinka u obliku dima dovodi do neprihvatljive poroznosti



zavarenih spojeva, što je poseban problem pri gasnom postupku zavarivanja. Osim toga, dim cinka otežava vizuelno praćenje procesa zavarivanja. Delimično rešenje ovog problema je u korišćenju dodatnog materijala sastava kao što su aluminijumska i silicijumska bronza, koji obezbeđuje na zavarivačkoj kupki površinski film visokotopivog oksida i time smanjuje nastajanje dima. Rizik pri primeni ove tehnike je očvršćavanje metala šava pre osnovnog materijala te mogući nastanak prslina u ZUT, kao i opasnosti od razlike u korozionoj otpornosti osnovnog i metala šava tokom eksploatacije.

Kod gasnog zavarivanja sa viškom kiseonika gubitak Zn se smanjuje stvaranjem guste visokotopive skrame Al oksida u obliku čvrsto prijanjajućeg oksidnog sloja na naležućim površinama, a koji se rastvara samo uz pomoć topitelja. Protiv isparavanja cinka silicijum deluje u području nižeg sadržaja, od 0,1 do 0,3 %, bez smanjenja zavarljivosti. Zato dodatni materijali za Cu-Zn legure često sadrže dodatak silicijuma. Pogodni dodatni materijali su npr. SG CuSi3, SG Zn 40Si.

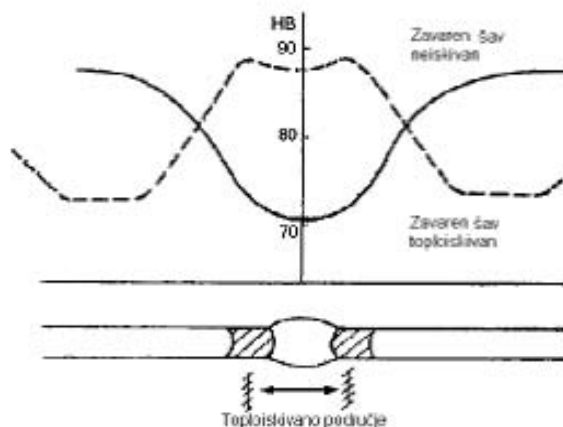
Legure mesinga u hladno oblikovanom stanju, i takođe kod velikih delova u zavarenom stanju, u prisustvu amonijum jona (NH₃) posebno su osetljive na prsline usled naponske korozije. Žarenje za smanjenje napona posle zavarivanja kod 150-300°C, razgradnjom napona usled zavarivanja smanjuje opasnost od prslina usled naponske korozije. Kod TIG zavarivanja u zaštiti argona uz dodatni materijal koji nije dodatno legiran, rad sa naizmeničnom strujom je od osnovnog značaja, ali zamena argona helijumom omogućava korišćenje jednosmerne struje. Termička obrada za smanjenje napona posle

zavarivanja kod mesinga je poželjna kod uklještenih spojeva radi sprečavanja pojave prslina usled naponske korozije. Ova termička obrada izvodi se na temperaturama 250-300°C.

Niklovo srebro, koje je u osnovi mesing sa različitim dodacima nikla sa ili bez dodatka olova, ponekad se zavaruje, mada je tvrdo lemljenje poželjnija tehnika spajanja. Ako se zahteva zavarivanje, onda se primenjuju ista pravila kao i za druge mesinge.

Legure bakar mangan

Niskolegirane Cu-Mn legure sadrže 2 do 5%, a visokolegirane 12 do 14%Mn. Obe su dobre zavarljivosti. Predgrevanje se primenjuje samo kod delova debljina preko 20 mm. U tom slučaju preporučuje se temperatura predgrevanja 150 do 200°C. Legura CuMn2, zbog posebno dobrog odnosa korozione otpornosti i čvrstoće na povišenoj temperaturi, koristi se u izradi hemijske opreme. Čvrstoća na povišenoj temperaturi osnovnog materijala je nešto viša od zavarenog spoja, pri čemu se sa porastom temperature razlika smanjuje. TIG zavareni spojevi CuMn2 su u metalu šava i u ZUT izvesno mekši. Iskivanjem kod 600 °C čvrstoća će porasti, a pored iskivanog područja šava ostaju omekšane zone (sl.13). Uopšteno, sklonost ka nižoj čvrstoći zavarenih spojeva CuMn2 se sreće zajedno sa verovatnoćom nastanka MnO₂ uključaka. Ovi uključci su mnogo češći u metalu šava nego u osnovnom materijalu. Posebno mnogo uključaka stvara se kod MIG zavarivanja u ZUT neposredno na prelazu od šava ka osnovnom metalu. Kod MIG zavarivanja pojačano je stvaranje pora koje utiču na smanjenje čvrstoće. Zbog toga se preporučuje upotreba dodatnog materijala povišene legiranosti sa dodatkom elemenata za dezoksidaciju metala šava.



Slika 13. Tvrdoća po preseku TIG zavarenog spoja legure CuMn2

ČASOPIS ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE**Cenovnik oglasnog prostora u četiri uzastopna broja 2015**

	A4	2/2	1/1	1/2	1/4	1/8
dimenzije (mm)		2 x 210 x 297	210 x 297	180 x 120	90 x 120	90 x 60
DIN	crno/beli	-	39 000	23 000	16 000	10 000
	kolor	105 000	75 000	-	-	-

- U cene nije uračunat PDV 20%.
- Objavljanje oglasa u samo jednom broju iznosi 30% od datih cena.
- Reklamni tekstovi: 25 % od cene površine crno/belih oglasa.
- Dostava materijala:
 - za crno-beli film ili CD (Adobe Photoshop / CorelDRAW);
 - za kolor film ili CD (Adobe Photoshop / CorelDRAW);
 - izrada filma sa CD: 10 % od cene angažovanog prostora.
- Na web prezentaciji DUZS-a, (www.duzs.org.rs), na strani Marketing, objavljuje se pregled firmi-oglašivača sa podacima o glavnim grupama proizvoda/usluga i adresom web prezentacije. Svi posetioci naše web prezentacije mogu da posete i web prezentacije oglašivača, preko aktivnih linkova koji se nalaze na ovoj stranici!

WELDING & WELDED STRUCTURES, Quarterly review**Advertising prices for four successive numbers in 2015**

	A4	2/2	1/1	1/2	1/4	1/8
dimensions (mm)		2 x 210 x 297	210 x 297	180 x 120	90 x 120	90 x 60
EUR	black/white	-	840	432	336	240
	colour	2 640	1 680	-	-	-

- VAT 20% included.
- Advertising in one number only is 35% of the given prices.
- Commercial articles: 30 % of black/white advertising price.
- Print material:
 - for black/white CD (Adobe Photoshop / CorelDRAW)
 - for color CD (Adobe Photoshop / CorelDRAW).
- All the visitors of our web site may be linked to the advertisers' web site.

**INDEKS OGLAŠIVAČA
ADVERTISERS INDEX**

REFIT INŽENJERING

YASKAWA SLOVENIJA

HONEX

ELIMP

ZAVOD ZA ZAVARIVANJE

MESSER

KEMPER GmbH

GSI SLV-SVV Praha, s.r.o. Centrum
Lepeni Brno

- | | |
|--|---------------|
| 1. ČLANARINA DUZS za 2015. godinu | 3.500 dinara |
| Članovima DUZS GRATIS godišnje izdanje časopisa "ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE" | |
| 2. ČASOPIS "ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE" - 2015. godina
u slobodnoj prodaji (u cene je uračunat PDV 10%): | |
| ▪ cena pojedinačnog broja..... | 825 dinara |
| ▪ godišnja pretplata za 1 komplet brojeva godišnjeg izdanja..... | 2.500 dinara |
| 3. ČASOPIS - stari brojevi (u cene je uračunat PDV 10%) | |
| a) u slobodnoj prodaji: | |
| ▪ cena pojedinačnog broja za 2013. godinu | 500 dinara |
| ▪ cena pojedinačnog broja za prethodne godine..... | 250 dinara |
| b) beneficirane cene za članove DUZS: | |
| ▪ cena pojedinačnog broja za 2014. godinu (pouzećem ili preuzimanjem) | 400 dinara |
| ▪ cena pojedinačnog broja za prethodne godine (pouzećem ili preuzimanjem) | <u>Gratis</u> |
| 4. Knjiga Organizacija i ekonomika zavarivačkih radova – autor: prof. dr Zoran Radojević (uračunat PDV 10%) | 1.045 dinara |
| 5. Zbirke standarda OBEZBEĐENJE KVALITETA U ZAVARIVANJU, komplet 4 toma | 6.750 dinara |