



# ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE

---

## WELDING & WELDED STRUCTURES

God. 62 Vol. 62	Br. 1 No. 1	1-48 1-48	Beograd Belgrade	Srbija Serbia	2017. 2017.
--------------------	----------------	--------------	---------------------	------------------	----------------

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)

Dr 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) 2420-652  
(10-16h)



[duzs@eunet.rs](mailto:duzs@eunet.rs)  
[www.duzs.org.rs](http://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 2017.

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.

1/2017

SADRŽAJ:

CONTENTS:



NAUKA•ISTRAŽIVANJE•RAZVOJ

SCIENCE•RESEARCH•DEVELOPMENT

- 05 NEKI EFEKTI UVOĐENJA AZOTA U ARGON ZAŠTITNI GAS KOD TIG ZAVARIVANJA NERĐAJUĆIH ČELIKA SOME EFFECTS OF THE NITROGEN INTRODUCTION IN ARGON SHIELDING GAS IN TIG WELDING OF STAINLESS STEELS  
Behar Alić, Sead Pašić, Edin Džih
- 11 MEHANIČKA I STRUKTURNA SVOJSTVA SPOJEVA OD RAZNORODNIH ALUMINIJUMSKIH LEGURA ZAVARENIH FSW POSTUPKOM MECHANICAL AND STRUCTURAL PROPERTIES OF FRICTION STIR WELD OF DISSIMILAR ALUMINUM ALLOYS  
Igor Radisavljević, Aleksandar Živković, Nenad Radović, Vencislav Grabulov
- 19 EKSPERIMENTALNO MERENJE ZAOSTALIH NAPONA U NAVARENIM SLOJEVIMA KOD TERMOPOSTOJANOG ČELIKA EXPERIMENTAL MEASURING OF RESIDUAL STRESSES IN HARD FACED LAYERS OF THE HOT WORK TOOL STEEL  
Vukić Lazić, Dušan Arsić, Milorad Zrilić, Srbslav Aleksandrović, Milan Đorđević, Nada Ratković



MIZ

IIW

- 27 POTENTIAL OF ERROR FOR ARC WELDING PROCESSES - WHERE CAN I MAKE MISTAKES AND HOW THEY AFFECT THE COMPONENT? POTENCIJAL GREŠKE KOD ELEKTROLUČNIH POSTUPAKA ZAVARIVANJA - GDE SE MOGU NAPRAVITI GREŠKE I KAKO ONE UTIČU NA KOMPONENTU?  
A. Hälsig, S. Pehle, M. Kusch, P. Mayr



STANDARDIZACIJA I KVALITET

STANDARDIZATION & QUALITY

- 41 NOVI STANDARDI U OBLASTI ZAVARIVANJA U SRBIJI



OBRAZOVANJE

EDUCATION

- 44 KRIOGENA TERMIČKA OBRADA ČELIKA



VESTI

NEWS

- 04 SEMINAR SA TEMOM: TERMIČKA OBRADA ČELIKA I ZAVARENIH SPOJEVA  
40 SEMINAR SA TEMOM: TERMIČKA OBRADA ČELIKA I ZAVARENIH SPOJEVA - nastavak  
48 MARKETING

## **Poštovani čitaoci,**

**uveliko smo se svi uključili u radne aktivnosti a pomalo ušuškani u hladnoći ovogodišnje zime pokušavamo da je prebrodimo čekajući prve vesnike proleća. Mi smo, posle niza odlaganja, odlučili da organizujemo seminar sa temom vezanom za termičku obradu čelika i zavarenih spojeva o čijim detaljima (poziv i prijava) ćete imati priliku da se upoznate u ovom broju.**

**Pored toga, moći ćete da pročitate još radova sa našeg savetovanja kao i jedan od dokumenata MIZ-a koji na interesantan način tretira uticaj vremena hlađenja  $t_{8/5}$ .**

**U rubrici „Obrazovanje“, ovoga puta vas upoznajemo sa termičkom obradom na enormno niskim (kriogenim) temperaturama, verujući da će to biti pravi uvod u naš najavljeni seminar gde će se govoriti naravno o klasičnoj termičkoj obradi.**

**I za kraj vam omogućavamo da se upoznate sa novim standardima iz oblasti našeg delovanja.**

**Do skorog viđenja,**

**Glavni i odgovorni urednik  
Milica Antić, dipl.ing, EWE**



**DUZS – DRUŠTVO ZA  
UNAPREĐIVANJE  
ZAVARIVANJA U SRBIJI**

i



**ISS – INSTITUT ZA  
STANDARDIZACIJU SRBIJE**

POZIVAJU VAS NA SEMINAR SA TEMOM

## Termička obrada čelika i zavarenih spojeva

**Termin održavanja:** 05. april 2017. godine od 10.00 – 15.30 časova

**Mesto:** Beograd, Institut za standardizaciju Srbije, ul. Stevana Brakusa 2

### PROGRAM SEMINARA

### SVRHA SEMINARA:

- 09:30 – 10:00** Prijavljivanje i registracija učesnika
- 10:00–10:30** Primena standarda iz oblasti zavarivanja  
Predavač: *Aleksandar Stefanović*
- 10:30–11:30** Termička obrada čelika (vrste, ciljevi)  
Predavač: *Vladan Jeremić*
- 11:30–12:00** Pauza i osveženje
- 12:30–13:30** Prikaz izveštaja SRPS CEN ISO/ TR 14745  
Predavač: *Milica Antić*
- 13:30–14:30** Primeri iz prakse  
Predavač: *Dragan Mitić*
- 14:30–15:30** Diskusija

### Predavači:

*Aleksandar Stefanović*, dipl. ing., Institut za standardizaciju Srbije, Beograd

*Vladan Jeremić*, Vladan Jeremić, dipl.ing., Zavod za zavarivanje, Beograd

*Milica Antić*, dipl. ing., Kontrol Inspekt doo Beograd

*Dragan Mitić*, dipl.ing., Nivar doo, Niš

Svrha seminara je da korisnicima standarda pruži informacije o načinu izbora parametara termičke obrade zavarenih spojeva, što je često presudni faktor kvaliteta zavarenih spojeva na svim tipovima zavarenih konstrukcija.

### KOTIZACIJA ZA SEMINAR I NAČIN PLAĆANJA

Kotizacija za seminar iznosi **9.200,00** dinara **bez uračunatog PDV-a**. Na ovako utvrđenu kotizaciju odobravaju se sledeći popusti:

- **25 %** za članove ISS-a i članove DUZS-a (**6.900,00 dinara**);
- **15 %** za članove komisija za standarde i srodne dokumente Instituta (**7.820,00 dinara**)
- **10 %** po učesniku za organizacije koje prijave više od dva polaznika (**8.280,00 dinara**).

Popusti se međusobno isključuju.

**Svi polaznici seminara sa plaćenom kotizacijom dobijaju:**

- štampani primerak tehničkog izveštaja: **SRPS CEN ISO/TR 14745:2016**
- materijal na CD-u
- uverenje o pohađanju

Uplata kotizacije se vrši na tekući račun DUZS-a br: **355-1025530-87**, sa naznakom: „Za seminar”

### KOME JE SEMINAR NAMENJEN:

Seminar je namenjen inženjerima, tehnolozima, zavarivačima, specijalistima, inspektorima zavarivanja, proizvođačima i korisnicima zavarenih konstrukcija, kao i osoblju koje učestvuje u pripremi tehničke dokumentacije, odnosno osoblju koje učestvuje u tehničkim prijemima objekata.

### PRIJAVA

Prijava za seminar nalazi se i na internet-stranicama ISS i DUZS, na adresi [www.iss.rs](http://www.iss.rs) i [www.duzs.org.rs](http://www.duzs.org.rs)  
Popunjenu prijavu potrebno je poslati na adresu DUZS, Gvozdićeva 15/ PR, st.4, 11000 Beograd, odnosno e-mail: [duzs011@gmail.com](mailto:duzs011@gmail.com); [duzs@eunet.rs](mailto:duzs@eunet.rs) ili faks: 011/ 2420-652

**Broj polaznika je ograničen.**

Nastavak na strani 40

Behar Alić<sup>1</sup>, Sead Pašić<sup>2</sup>, Edin Džihović<sup>2</sup>

## SOME EFFECTS OF THE NITROGEN INTRODUCTION IN ARGON SHIELDING GAS IN TIG WELDING OF STAINLESS STEELS

### NEKI EFEKTI UVOĐENJA AZOTA U ARGON ZAŠTITNI GAS KOD TIG ZAVARIVANJA NERĐAJUĆIH ČELIKA

**Originalni naučni rad / Original scientific paper**

**Rad primljen / Paper received:**

Januar 2017.

*Rad je u izvornom obliku objavljen u Zborniku sa savetovanja „ZAVARIVANJE 2016“ održanog na Srebrnom jezeru 14-17. Septembra 2016*

**Ključne reči:** austenitni nerđajući čelik, metal šava, zaštitni gas, azot

#### Rezime

U slučaju austenitnih nerđajućih čelika, azot se može smatrati legirajućim elementom. Jedan od razloga je to što azot, kao intersticijski rastvoren u kristalnoj rešeci železa, doprinosi poboljšanju zateznih karakteristika, prvenstveno napona tečenja. Dodatno, zahvaljujući svom jakom austenitotvornom delovanju doprinosi povećanju stabilnosti austenita, čime je omogućena delimična supstitucija skupog i deficitarnog nikla. Legiranjem metala šava austenitnih nerđajućih čelika azotom moguće je uticati na njegove osobine. Kod postupaka zavarivanja sa gasnom zaštitom, metal šava se može legirati i putem dodavanja azota u zaštitni gas. U ovom radu su razmotreni neki od efekata dodavanja azota u argon zaštitni gas kod TIG zavarivanja austenitnog nerđajućeg čelika X5 CrNi 18 10.

#### 1. UVOD

Azot se rastvara u čeliku već pri relativno niskim temperaturama (500 – 600 °C), a sa daljim rastom temperature raste i intenzitet apsorpcije azota [1]. U ravnotežnim uslovima, apsorpcija azota se pokorava Sivertovom zakonu, prema kojem je količina apsorbovanog azota proporcionalna kvadratnom korenu njegovog parcijalnog pritiska u atmosferi iznad tečnog metala, a maksimalna rastvorivost azota u tečnom železu pri pritisku 0,1 MPa (1atm) i temperaturi 1809 K (tačka topljenja železa) iznosi 0,0445 %<sub>mas.</sub> U uslovima koji vladaju u stubu električnog luka, pri temperaturama 5000-7000 K, dolazi do disocijacije dvoatomnih gasova na jednoatomne [2, 3]. Kinetička energija jonizovanog azota je viša od drugih njegovih oblika, zbog čega se kao takav laše rastvara u železu, pa

**Adresa autora / Author's address:**

<sup>1</sup> Metalurški institut "Kemal Kapetanović", Travnička 7, Zenica  
 behar.alic@miz.unze.ba

<sup>2</sup> Mašinski fakultet, Univerzitetski kampus, Mostar  
 sead.pasic@unmo.ba, edin.dziho@unmo.ba

**Key words:** austenitic stainless steel, weld metal, shielding gas, nitrogen

#### Abstract

In the case of austenitic stainless steels, nitrogen can be considered as alloying element. One reason is that the nitrogen, interstitially dissolved in the crystal lattice of iron contributes to improved tensile properties, primarily of the yield point. In addition, thanks to its strong austenite forming action contributes to increasing the stability of austenite, thereby enabling partial substitution of expensive and scarce nickel. Alloying of the weld metal of austenitic stainless steels with nitrogen can affect its properties. In welding processes with gas protection, weld metal can also be alloyed through the addition of nitrogen in the shielding gas. This paper discusses some of the effects of the addition of nitrogen in argon shielding gas at TIG welding of austenitic stainless steel X5 CrNi 18 10.

je rastvorivost azota pod TIG električnim lukom više direktno proporcionalna parcijalnom pritisku azota u zaštitnoj atmosferi. Zbog toga se, u ovom slučaju, u metalu šava mogu postići viši sadržaji azota, između 0,07 i 0,2 % [3]. Kao jak austenitotvorni element, čiji stabilizirajući efekat je 20 do 30 puta jači nego efekat nikla, azot izuzetno doprinosi stabilizaciji austenitne strukture, odnosno smanjenju sadržaja delta ferita u strukturi metala šava austenitnih nerđajućih čelika [4]. Međutim, obzirom da se kod sadržaja delta ferita ispod 2-3 % uočava pojava toplih pukotina, poželjno je prisustvo delta ferita u metalu šava austenitnih nerđajućih čelika 3 do 10 % [1]. Azot ima pozitivan uticaj na povećanje mehaničkih osobina: zatezne čvrstoće, napona tečenja, otpornosti na puzanje i žilavost [4,



5]. Povećanje navedenih mehaničkih osobina rezultat je prvenstveno ojačavanja čvrstim rastvorom, u kojem je azot prisutan kao intersticijski rastvoren element.

## 2. EKSPERIMENT

Ispitni komadi za eksperiment su izrađeni zavarivanjem TIG postupkom zavarivanja, pri čemu su, kao zaštitni gas korišteni čisti argon, te smese argona sa 1,25 i 2,50 % azota. U skladu sa sadržajem azota u zaštitnom gasu izvršeno je označavanje ispitnih komada, kako sledi:

AN0 – ispitni komad zavaren uz primenu čistog argona ( 0,00 % azota u argonu)

AN1 – ispitni komad zavaren uz primenu smjese argona sa 1,25 % azota

AN2 – ispitni komad zavaren uz primenu smjese argona sa 2,50 % azota

Zavarivanje je sprovedeno uz primenu uređaja za zavarivanje sa automatskim dodavanjem dodatnog materijala u vidu žice. Za izradu ispitnih komada, korišten je lim iz austenitnog nerđajućeg čelika sa oznakom X5CrNi 18 10, u skladu sa standardom EN 10088-2 (AISI 304, u skladu sa ASTM). Standardom propisani hemijski sastav navedenog čelika i hemijski sastav lima korištenog za izradu ispitnih komada, dati su u tabeli 1.

Oznaka (Standard)	Hemijski elementi, %								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N
X5CrNi 18 10 (EN 10088-2)	max. 0,07	max. 1,00	max. 2,00	max. 0,045	max. 0,030	17,5÷19,5	8,0÷10,5	---	≤ 0,11
Strugotina iz ploče	0,04	0,34	1,20	0,007	0,006	18,8	9,5	0,22	0,050

**Tabela 1.** Usporedni hemijski sastav čelika X5CrNi 18 10 u skladu sa standardom i materijala lima

Kao dodatni materijal korištena je žica promera 1,2 mm, proizvođača Askaynak, sa oznakom MW 308LSi (G 19 9 LSi prema EN 12072). Prosečni

(kataloški) hemijski sastav žice i hemijski sastav uzorka uzetog iz kotura žice, dati su u tabeli 2.

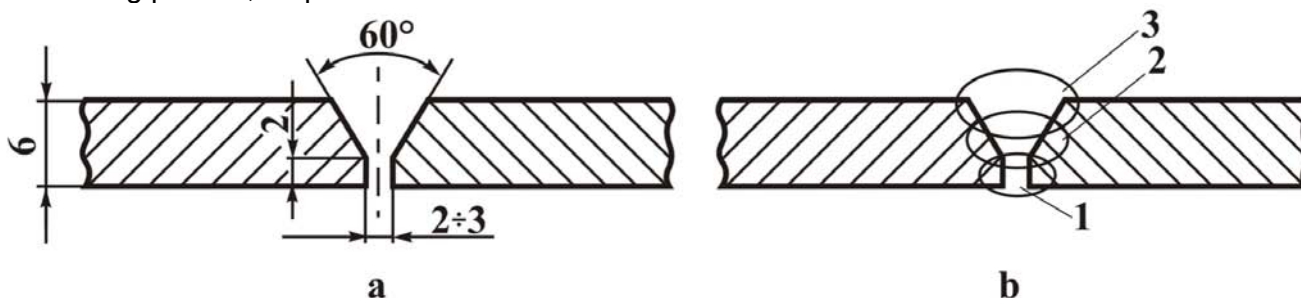
Oznaka	Hemijski elementi, %								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	
Kataloške vrijednosti	max. 0,03	0,85	1,70	P + S < 0,035		20,0	10,0	0,15	
Uzorak žice	0,03	0,80	1,90	0,007	0,007	20,1	9,90	0,07	

**Tabela 2.** Prosečan (kataloški) i hemijski sastava realnog uzorka žice

Zavarivanje je provedeno uz primenu slijedećih parametara zavarivanja

- struja zavarivanja: 130 A,
- brzina zavarivanja: 5 cm/min, za svaki prolaz i
- brzina dotura dodatnog materijala (žice): 0.30, 0.26 i 0.18 m/min kod prvog, drugog i trećeg prolaza, respektivno.

Napon (dužina) luka je održavan na približno istom nivou, a pošto je prije zavarivanja narednog prolaza ispitni komad prethodno potpuno ohlađen, međuslojna temperatura je odgovarala temperaturi okoline. Oblik i dimenzije žleba i redosled zavarivanja su prikazani na slici 1.



**Slika 1.** Žleb za zavarivanje (a) i redosled zavarivanja (b) ispitnih komada



Nakon zavarivanja, na ispitnim komadima je izvršeno merenje feritnog broja – FN (sadržaja delta ferita). Merenje je izvršeno na svakih 20 mm po osi metala šava, po dužini zavarenog spoja. Nakon merenja feritnog broja izvršeno je uzimanje strugotine za hemijsku analizu, također duž ose šava, te su izrezani segmenti za izradu epruveta za mehanička ispitivanja.

### 3. REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati hemijske analize dati su u tabeli 3., u kojoj su navedeni i podaci o ekvivalentnom sadržaju hroma ( $Cr_{eq.}$ ) i nikla ( $Ni_{eq.}$ ), dobijeni izračunavanjem korištenjem sledećih jednačina [5]:

$$Cr_{eq.} = Cr + Mo + 0,7 Nb \quad (1)$$

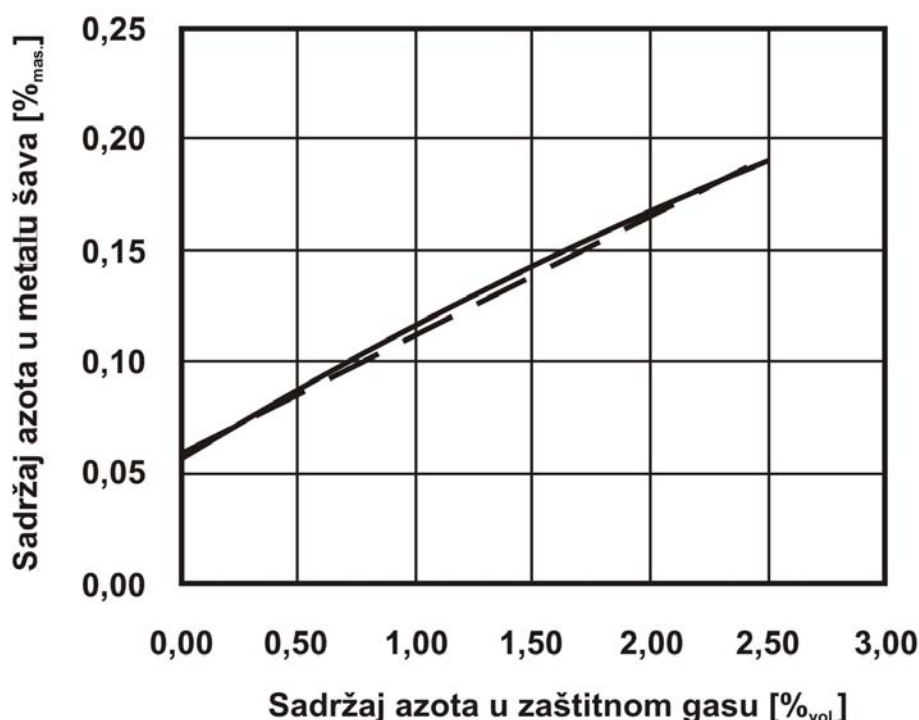
$$Ni_{eq.} = Ni + 35 C + 20 N + 0,25 Cu \quad (2)$$

Red. broj	Oznaka uzorka	Hemijski sastav [% <sub>mas.</sub> ]							Ekviv. Sadržaj	
		C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	N	$Cr_{eq.}$	$Ni_{eq.}$
1.	AN0	0,023	0,51	1,50	18,50	8,60	0,16	0,056	18,66	10,88
2.	AN1	0,042	0,51	1,48	18,40	8,60	0,18	0,130	18,58	12,67
3.	AN2	0,029	0,51	1,43	19,00	8,40	0,19	0,190	19,19	13,22

**Tabela 3.** Hemijski sastav metala šava ispitnih komada

Na osnovu podataka iz gornje tabele može se zaključiti da se sa povećanjem sadržaja azota u zaštitnom gasu povećava njegov sadržaj u metalu šava. Isto se može videti i sa dijagrama prikazanog na slici 2., sa kojeg se dodatno može uočiti da

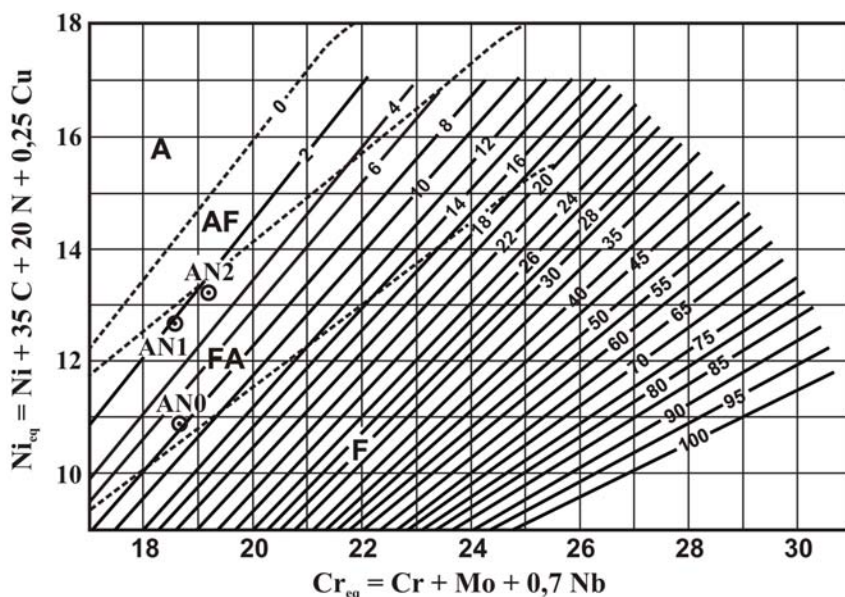
postoji dosta dobra saglasnost između stvarne zavisnosti i crtkanom linijom prikazane linearne zavisnosti sadržaja azota u metalu šava od njegovog zapreminskog učešća u zaštitnom gasu.



**Slika 2.** Zavisnost sadržaja azota u metalu šava od njegovog sadržaja u argonu

Nanošenjem odgovarajućih vrednosti ekvivalentnog sadržaja kroma i nikla, datih u tabeli 3. u dijagram WRC-1992 i iznalaženjem tačaka koje predstavljaju strukturni sastav metala šava ispitnih komada,

može se zaključiti da, po svom strukturnom sastavu metal šava svih ispitnih komada leži u feritno-austenitnoj oblasti (slika 3.)



Slika 3. Dijagram WRC 1992 sa naznačenim ekvivalentnim sadržajem kroma i nikla

Međutim, metal šava ispitnih komada sa većim sadržajem azota nalazi se bliže austenitno-feritnoj oblasti. Primenom istog dijagrama, grafičkim putem su utvrđene vrednosti feritnog broja (FN), metala

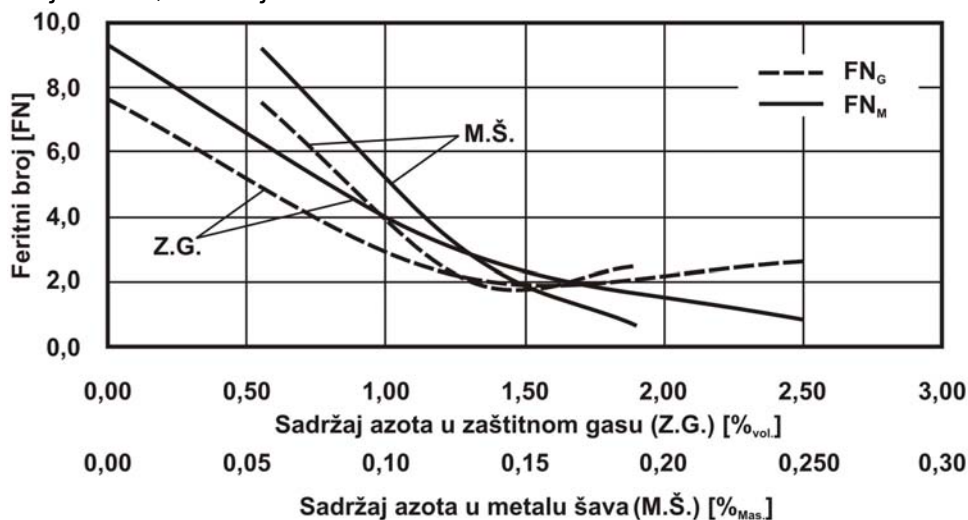
šava pojedinih ispitnih komada, koje su, zajedno sa prosečnim vrijednostima feritnog broja dobijenim mjerenjem, date u tabeli 4

Red. broj	Oznaka ispitnog komada	Sadržaj azota u metalu šava, [% <sub>mas.</sub> ]	Vrijednost FN	
			Izmjerena	Grafički određena
1.	AN0	0,056	9,25	7,6
2.	AN1	0,130	2,97	2,2
3.	AN2	0,190	0,82	2,5

Tabela 4. Izmerene i grafički određene vrednosti FN

Iz table 4. se vidi da postoji relativno dobra saglasnost između izmerenih i grafičkim putem dobijenih vrijednosti feritnog broja, pri čemu je veći stepen saglasnosti karakterističan za više vrednosti feritnog broja. Iz iste table se takođe vidi da se sa povećanjem sadržaja azota, sadržaj ferita u metalu

šava (izražen preko feritnog broja) značajno smanjuje, što je prikazano i na dijagramu na slici 4, na kojem se oznake FN<sub>M</sub> i FN<sub>G</sub> odnose na krive dobijene na osnovu izmerenih i grafičkim putem dobijenih vrednosti, respektivno.

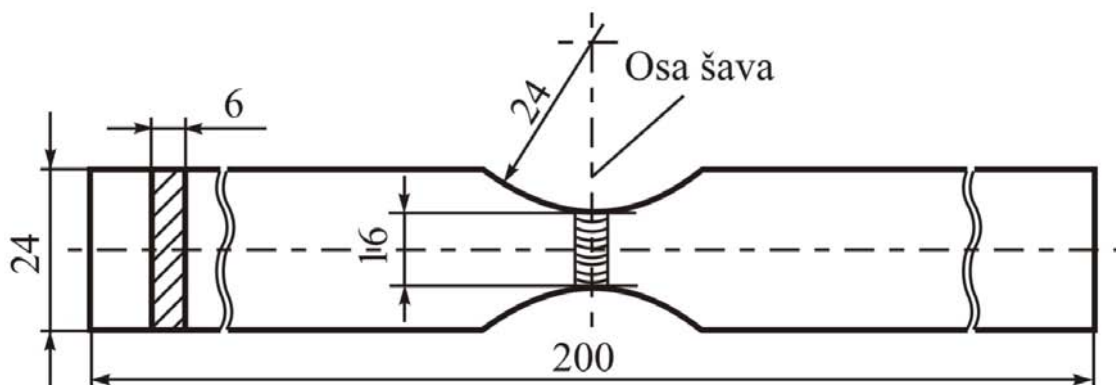


Slika 4. Promjena feritnog broja u zavisnosti od sadržaja azota u metalu šava i u zaštitnom gasu



Povećanje vrijednosti FN, do kojeg dolazi sa povećanjem sadržaja azota, koje se može konstatovati na osnovu podataka iz tabele 4. i sa dijagrama prikazanog na slici 4. nije u skladu sa gamagenom prirodom azota i rezultat je malih razlika u rezultatima hemijske analize između pojedinih ispitnih komada, prvenstveno u sadržaju hroma.

Ispitivanje zatezne čvrstoće i utrošene energije udara je izvršeno uz korišćenje epruveta koje omogućavaju određivanje ovih osobina za metal šava. U tom smislu, ispitivanje zatezne čvrstoće je provedeno uz korišćenje epruveta sa udubljenim bokovima, čiji izgled i dimenzije su prikazane na slici 5.



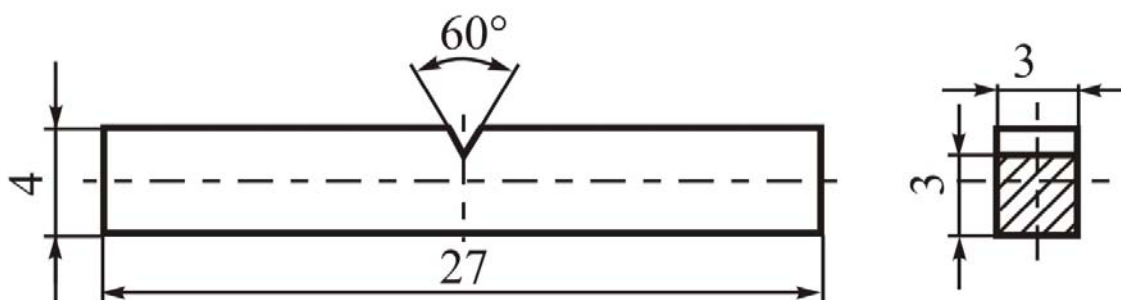
**Slika 5.** Epruveta za ispitivanje zatezanjem sa udubljenim bokovima

Vrednost zatezne čvrstoće, u slučaju korišćenja navedenih epruveta, se izračunava prema obrascu, koji je propisan standardom, a glasi:

$$R_m = 0,926 F_m/a \cdot b_2 \text{ [MPa]} \quad (3)$$

Pošto istim standardom nije definisan način izračunavanja konvencionalnog napona tečenja, odnosno granice razvlačenja, određivanje ove mehaničke osobine nije ni provedeno.

Ispitivanje utrošene energije udara je izvršeno uz korišćenje epruveta čiji su izgled i dimenzije prikazani su slici 6.

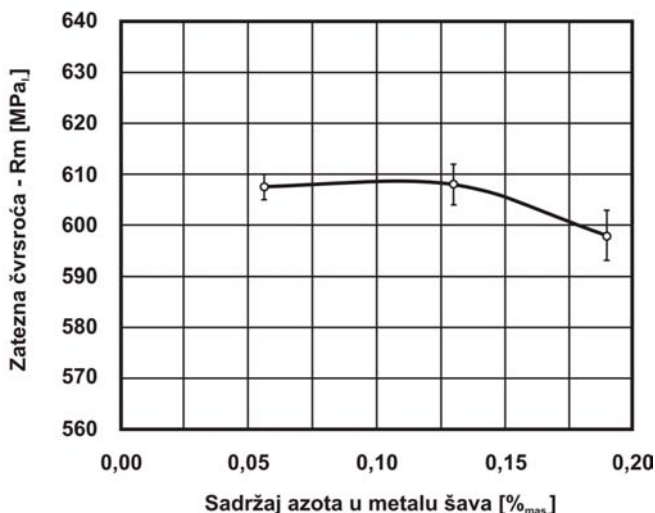


**Slika 6.** Izgled i dimenzije epruvete za ispitivanje utrošene energije udara.

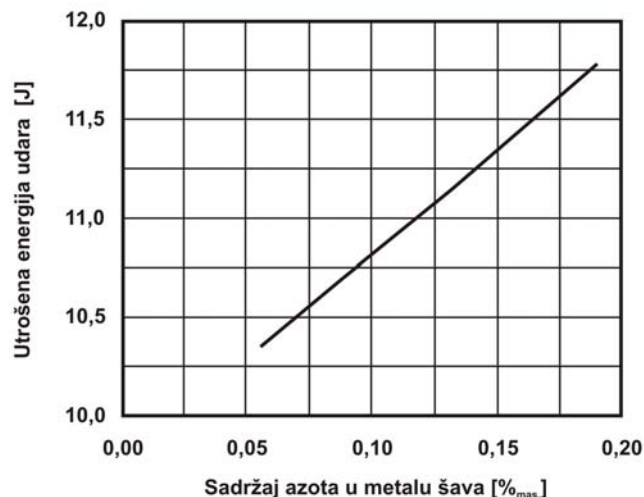
Rezultati ispitivanja zatezne čvrstoće i utrošene energije udara dati su u tabeli 5, a odgovarajući dijagramski prikazi dati su na slikama 7. i 8.

Red. broj	Oznak a uzorka	Zatezna čvrstoća [MPa]		Utrošena energija udara [J]			
		Epruveta I	Epruveta II	I	II	III	Prosjek
1.	AN0	610	605	10,89	10,10	10,10	10,35
2.	AN1	612	604	11,48	10,60	11,28	11,12
3.	AN2	593	603	11,97	11,77	11,58	11,77

**Tabela 5.** Rezultati ispitivanja zatezne čvrstoće i utrošene energije udara



**Slika 7.** Zavisnost između zatezne čvrstoće metala šava i sadržaja azota u metalu šava



**Slika 8.** Zavisnost između utrošene energije udara metala šava i sadržaja azota u metalu šava

Sa prikazanih dijagrama se može videti da sa povećanjem sadržaja azota u metalu šava zatezna čvrstoća u početku blago raste, a kasnije opada, dok utrošena energija udara gotovo linearno raste. Dobijeni rezultati mogu biti posledica promena izazvanih prisustvom azota, ali i relativno malog obima provedenih ispitivanja i kao takvi se mogu smatrati osnovom za definisanje pravca i obima daljih ispitivanja.

#### 4. ZAKLJUČCI

Na osnovu rezultata ispitivanja može se zaključiti slijedeće:

- Sa dodavanjem azota u argon zaštitni gas, kod TIG postupka zavarivanja, moguće je legiranje metala šava sa azotom;
- Sadržaj azota u metalu šava u %<sub>mas.</sub> gotovo je proporcionalan njegovom zapreminskom udelu u zaštitnom gasu, odnosno zaštitnoj atmosferi, u %<sub>vol.</sub>;
- Sa povećanjem sadržaja azota u metalu šava, sadržaj delta ferita (feritni broj) se naglo smanjuje;
- Nasuprot literaturnim podacima, zatezna čvrstoća sa povećanjem sadržaja azota u metalu šava u početku blago raste, a kod većih sadržaja azota počinje opadati;

- Povećanje sadržaja azota u metalu šava rezultuje povećanjem utrošene energije loma;
- Potrebno je provesti obimniji eksperiment, a dobijeni rezultati mogu poslužiti kao osnova za utvrđivanje obima i pravca daljih ispitivanja.

#### 5. LITERATURA

1. O. Pašić, Zavarivanje, IP „Svjetlost“, Sarajevo, 1998.
2. T. Kuwana, The oxygen and nitrogen absorption of iron weld metal during arc welding, Department of Material Processing, Tohoku University, Japan, 1996.
3. P.D. Blake, Nitrogen in steel weld metals, Metal Construction 9, April 1979., pp. 196-197
4. K.H. Tseng, C.P. Chou, The study of nitrogen in argon gas on the angular distortion of austenitic stainless steel weldments, Journal of materials processing and technology, 142, 2003. pp. 139 - 144
5. D. J. Kotecki, T. A. Siewert, WRC-1992 Constitution Diagram for Stainless Steel Weld Metals: A Modification of the WRC-1988 Diagram, Welding Research supplement, May 1992, pp. 171-178.



Igor Radisavljević<sup>1</sup>, Aleksandar Živković<sup>2</sup>, Nenad Radović<sup>3</sup>, Vencislav Grabulov<sup>4</sup>

# MECHANICAL AND STRUCTURAL PROPERTIES OF FRICTION STIR WELD OF DISSIMILAR ALUMINUM ALLOYS

## MEHANIČKA I STRUKTURNA SVOJSTVA SPOJEVA OD RAZNORODNIH ALUMINIJUMSKIH LEGURA ZAVARENIH FSW POSTUPKOM

**Originalni naučni rad / Original scientific paper**

**Rad primljen / Paper received:**

Januar 2017.

Rad je u izvornom obliku objavljen u Zborniku sa savetovanja „ZAVARIVANJE 2016“ održanog na Srebrnom jezeru 14-17. Septembra 2016

**Ključne reči:** zavarivanje trenjem alatom, zavareni spoj, legura AA2024, legura AA5083.

**Rezime:**

U radu su predstavljeni rezultati strukturnih i mehaničkih ispitivanja sučeonih spojeva raznorodnih aluminijumskih legura AlCu<sub>4,5</sub>Mg (AA2024) i AlMg<sub>4,5</sub>Mn (AA5083) zavarenih postupkom FSW. Primenom optimizovanog alata za zavarivanje, spojene su ploče debljine 6 mm. Međusobni položaj ploča u spoju je variran tako da je u prvom slučaju ploča od AA2024 pozicionirana na strani napredovanja a ploča od AA5083 na povratnoj strani spoja. U drugom slučaju položaj ploča je bio obrnut. Korišćeni su sledeći parametri zavarivanja: brzina rotacije alata nije menjana i iznosila je 750 obr/min a brzina zavarivanja iznosila je 73 i 93 mm/min. Dobijeni su spojevi bez prisustva grešaka i sa glatkom odnosno prihvatljivo ravnom površinom spoja. Analiziran je uticaj parametra zavarivanja na dobijenu strukturu i mehanička svojstva spoja. Oblik grumena i u njemu prisutnih koncentričnih krugova, zavisi od brzine zavarivanja i položaja ploča u spoju. Do loma uvek dolazi na strani spoja gde je pozicionirana ploča od legure AA5083. Karakteristično je da se lom uvek dešava na rastojanju od oko 21 mm od centra spoja.

**UVOD**

Postupak zavarivanja trenjem alatom (FSW) obezbeđuje spajanje metala bez topljenja i korišćenja dodatnog materijala, kao što je šematski prikazano na slici 1. Zavareni spoj se dobija dejstvom alata na ploče; trenje dovodi do zagrevanja ploča a alat vrši mešanje i spajanje dve ploče. Toplota se generiše na kontaktnoj površini alata i ploča usled trenja zbog rotacije i translacije

**Adresa autora / Author's address:**

<sup>1</sup>Vojnotehnički institut, Beograd,

E-mail: igor.radisavljevic@vti.vs.rs

<sup>2</sup>GOŠA FOM, Smederevska Palanka,

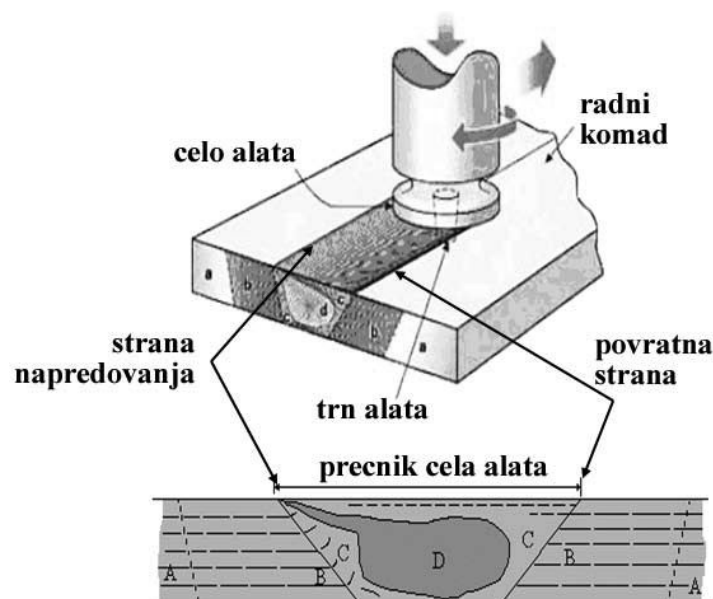
<sup>3</sup>Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, <sup>4</sup>Institut za ispitivanje materijala, Beograd

**Key words:** FSW, alloy AA2024, alloy AA5083, welded joint, dissimilar alloys.

**Abstract:**

In this work, the structural and mechanical properties of friction stir welded dissimilar butt joints of AA2024-T351 to AA5083-H112 aluminum alloys were evaluated. Plates of 6 mm thick were friction stir welded with optimized tool. In the first case, plate of AA2024 was positioned on the advancing and plate of AA5083 was on the retreating side of the weld. In second case, position of the plate was opposite. Specimens were welded using rotation rate of 750 rpm and welding speed of 73 and 93 mm/min. Specimens were defect free, with good or acceptable weld surface. The effects of rotation and lateral speed of the welding tool were related to structural features and mechanical properties. The structural appearances of concentric rings in the nugget zone were controlled by tool speed and plate position. Structural analysis of the joint cross-section, revealed the distinct lamellar bands. The joints consistently failed on the AA5083 aluminum alloy plate. Failures were observed through the heat-affected zone at distance of approximately 21 mm from weld center.

alata, a spajanje se vrši usled dejstva trna alata. U strukturi zavarenog spoja uočava se nekoliko različitih oblasti (Slika 1): zona uticaja toplote (ZUT), zona termomehaničkog uticaja (ZTMU), zona grumena i osnovni metal. Centralna zona (grumen), u kojoj se mogu identifikovati linije tečenja materijala, je zona u kojoj je najveća plastična deformacija.



**Slika 1.** Šematski prikaz postupka zavarivanja trenjem alatom i poprečnog preseka zavarenog spoja: (A) – osnovni metal, (B) – ZUT, (C) – ZTMU, (D) – grumen.

Primenom ovog postupka dobijaju se zavareni spojevi sa zahtevanim nivoima čvrstoće i plastičnosti, uključujući i sisteme legiranja za koje je dokazano da su teško zavarljivi uobičajenim postupcima zavarivanja topljenjem [1, 2].

Sa druge strane, zavarivanje Al legura konvencionalnim postupcima zavarivanja topljenjem može da bude problematično usled obrazovanja sekundarnih krutih faza, pojave prslina tokom očvršćavanja, značajne deformacije i prisustva zaostalih napona [1, 3].

Aluminijumske legure serija 2xxx Al-Cu i 5xxx Al-Mg imaju široku primenu i jedne su od najčešće korišćenih legura u raznim granama industrije. Sa stanovišta zavarivanja konvencionalnim postupcima, legure serije 2xxx se smatraju „nezavarivim“ dok su legure serije 5xxx lako zavarljive. Međutim, veliki broj istraživanja je pokazao da je i tzv „nezavarljive“ legure moguće uspešno zavariti FSW postupkom zavarivanja. Kako su dosadašnja istraživanja pokazala da se FSW postupkom uspešno spajaju slične aluminijumske legure nametnuo se interes za ispitivanje mogućnosti međusobnog spajanja raznorodnih legura [4-15].

Cilj ovog rada je bio da se ispita mogućnost spajanja raznorodnih aluminijumskih legura AlCu4,5Mg i AlMg4,5Mn koje pripadaju različitim

sistemima legiranja (2xxx i 5 xxx, respektivno) i utvrdi kvalitet dobijenih spojeva.

## 2. EKSPERIMENT

### 2.1. Materijal

Međusobno su zavarene dve raznorodne aluminijumske legure iz dva različita sistema legiranja 2xxx i 5xxx. Zavarene su legure:

- AlCu4,5Mg (AA2024) u stanju T351, koja termički ojačava (termički je obradiva) a sa aspekta zavarljivosti spada u grupu teško zavarljivih/nezavarljivih legura,
- AlMg4,5Mn (AA5083) u stanju H112, koja termički ne ojačava (termički je neobradiva) a sa aspekta zavarljivosti se svrstava u grupu dobro/lako zavarljivih legura.

Hemijski sastav i mehanička svojstva zavarenih legura dati su u Tabeli 1. Hemijski sastav je određen na uređaju PHILIPS PW-1404 metodom rendgenske fluorescentne spektrometrije. Mehanička svojstva su određena na hidrauličnoj kitalici AMSLER SZBDA-599, testom jednoosnog zatezanja a tvrdoća je izmerena metodom Vickers HV10 na uređaju za ispitivanje tvrdoće WOLPERT.

legura	Cu	Mg	Mn	Fe	Zn	Rp <sub>0,2</sub> (MPa)	Rm (MPa)	A <sub>5</sub> (%)	HV10
AlCu4,5Mg	4,70	1,56	0,65	0,17	0,11	370	481	17,9	145
AlMg4,5Mn	0,05	5,2	0,34	0,37	0,05	165	261	9,5	146

**Tabela 1.** Hemijski sastav i mehanička svojstva korišćenih legura



## 2.2. Zavarivanje

Zavarivanje je izvedeno na alatnoj glodalici prilagođenoj potrebama procesa zavarivanja trenjem alatom. Za zavarivanje je korišćen alat izrađen od čelika 56 NiCrMoV7 ( Č.5742) sa profilisanom radnom površinom i konusnim trnom sa urezanim zavojnicom (Slika 2).

Pločasti uzorci dimenzija 300x65x6 mm su zavareni sučeono. Ukupno su izrađena 4 zavarena spoja pri čemu je dužina svakog iznosila oko 280 mm. Međusobni položaj ploča, u odnosu na pravac zavarivanja, je variran tako da se primenom istih

parametra zavarivanja dobiju dva spoja koja se međusobno razlikuju po položaju ploča u njemu. Odnosno, u jednom slučaju, ploča od AlCu4,5Mg se nalazi na strani napredovanja alata a ploča od AlMg4,5Mn na povratnoj strani. U drugom slučaju raspored ploča je obrnut (Tabela 2). Parametri zavarivanja, brzina rotacije alata ( $V_{rot}$ ) i brzina zavarivanja ( $V_{zav}$ ) iznosili su 750 obr/min odnosno 73 i 93 mm/min. Odnos brzine rotacije i brzine zavarivanja iznosio je 10,27 i 8,06, respektivno. Ugao nagiba alata u odnosu na vertikalu je držan konstantnim i iznosio je  $1^{\circ}$



Slika 2. Alat oznake 310 korišćen za zavarivanje.

spoj	( $V_{rot}$ ) obr/min	( $V_{zav}$ ) mm/min	$V_{rot} / V_{zav}$	položaj ploča u spoju
A1	750	73	10,27	AlCu4,5Mg na strani napredovanja
A2				AlMg4,5 na povratnoj strani
B1	750	93	8,06	AlMg4,5 na strani napredovanja
B2				AlCu4,5Mg na povratnoj strani

Tabela 2. Oznake zavarenih spojeva i primenjeni parametri zavarivanja

## 2.3. Ispitivanja zavarenih spojeva

Zavareni spojevi su ispitani metodama sa i bez razaranja. U cilju otkrivanja površinskih i/ili unutrašnjih grešaka, zavareni spojevi su podvrgnuti vizuelnom pregledu i ultrazvučnoj kontroli. Dalja

ispitivanja su obuhvatala određivanje električne provodljivosti, analizu makrostrukture optičkom mikroskopijom i ispitivanja jednoosnim zatezanjem. Kompletna procedura ispitivanja svakog pojedinačnog spoja data je u Tabeli 3.

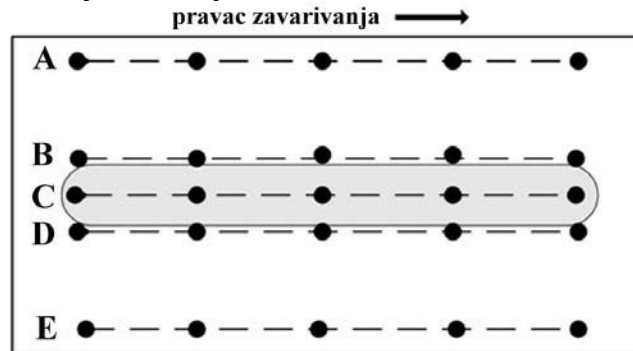
ispitivanja bez razaranja	korak 1	vizuelni pregled
	korak 2	ultrazvučna kontrola
	korak 3	određivanje električne provodljivosti
ispitivanja sa razaranjem	korak 4	analiza makrostrukture
	korak 5	ispitivanje zatezanjem

Tabela 3. Metodologija ispitivanja zavarenih spojeva



Za vizuelni pregled korišćena je lupa. Ultrazvučna kontrola je izvršena kosom sondom MSEB 4MHz na uređaju za ispitivanje ultrazvukom KRAUTKRAMER USM-22. Za određivanje električne provodljivosti, korišćen je uređaj FORESTER SIGMATEST D2.086. Električna provodljivost je merena na čeonj i korenoj strani

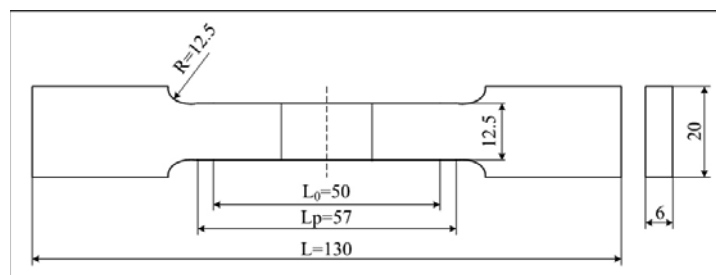
spoja na po 5 mernih mesta duž linija merenja prikazanih na slici 3 a postavljenih tako da su pokrivene oblasti osnovnog metala (linije A i E), ZTMU/ZUT (linije B i D) i zavarenog spoja (linija C). Vrednost električne provodljivosti je određivana u jedinicama %IACS.



**Slika 3.** Šematski prikaz mernih mesta za određivanje električne provodljivost

Uzorci za makrostrukturnu analizu poprečnog preseka spoja ispitivani su na stereo metalografskom mikroskopu LEICA 205A sa integrisanim računarskim sistemom i softverom za akviziciju i obradu slike. Priprema uzoraka se sastojala od klasičnih postupaka mašinske obrade, mehaničkog brušenja brusnim papirima i poliranja dijamantskim pastama. Razvoj makrostrukture obezbeđen je potapanjem i držanjem uzorka u Tuckers-ovom reagensu (45ml HCl, 15ml HNO<sub>3</sub>,

15ml HF, 25ml H<sub>2</sub>O), ispiranjem vodom i alkoholom i sušenjem u struji toplog vazduha. Zatezna svojstva zavarenog spoja kao celine i mesto preloma, određeni su na epruvetama izrađenim prema standardu ASTM E-8M (Slika 4). Epruvete su izrađene poprečno na zavareni spoj i u svom mernom delu obuhvataju OM, ZUT, ZTMU i grumen. Zatezna ispitivanja su urađena na hidrauličnoj kitalici SHIMADZU SERVOPULSER.



**Slika 4.** Šematski prikaz epruvete za ispitivanje zatezanjem

## REZULTATI I DISKUSIJA

Vizuelnim pregledom nije uočeno prisustvo površinskih grešaka. Izgled lica zavarenih spojeva prikazan je slikom 5. Dobijeni su spojevi sa glatkom/relativno glatkom površinom spoja. Ultrazvučnom kontrolom nije registrovano prisustvo zapreminskih grešaka tipa neprovara niti je uočena pojava tzv tunela na strani napredovanja kao greške karakteristične za FSW postupak zavarivanja [16-20].

Vrednosti električne provodljivosti u samom zavarenom spoju su ujednačene i iznose u proseku oko 31,48 %IACS na licu spoja odnosno oko 32,5 %IACS za korenu stranu spoja. Navedene

vrednosti su bliske vrednosti osnovnog materijala legure AlMg4,5 koja iznosi 32,68 %IACS i nešto više od vrednosti 29,52 %IACS za leguru AlCu4,5Mg. Na korenoj strani spoja, kod ploča od AlCu4,5Mg, u ZTMU/ZUT registrovano je značajno povećanje vrednosti električne provodljivosti (oko 38 %IACS). Kod legure AA2024, gledano od OM ka centru spoja, uočava se gradijent vrednosti električne provodljivost dok je za leguru AA5083 gotovo konstantna. Promena primenjenih parametara zavarivanja i pozicije ploča u spoju, nemaju uticaja na vrednosti električne provodljivosti.



spoj	linija A (osnovni metal)	linija B (ZTMU/ZUT)	linija C (spoj)	linija D (ZTMU/ZUT)	linija D (osnovni metal)
A1	lice	29,52	31,83	32,03	32,65
	koren		38,58	34,27	32,25
A2	lice	32,68	32,61	31,41	36,05
	koren		32,26	32,01	38,25
B1	lice	29,52	31,56	31,70	32,88
	koren		38,07	32,53	32,54
B2	lice	32,68	32,83	30,79	33,13
	koren		32,64	32,50	38,13

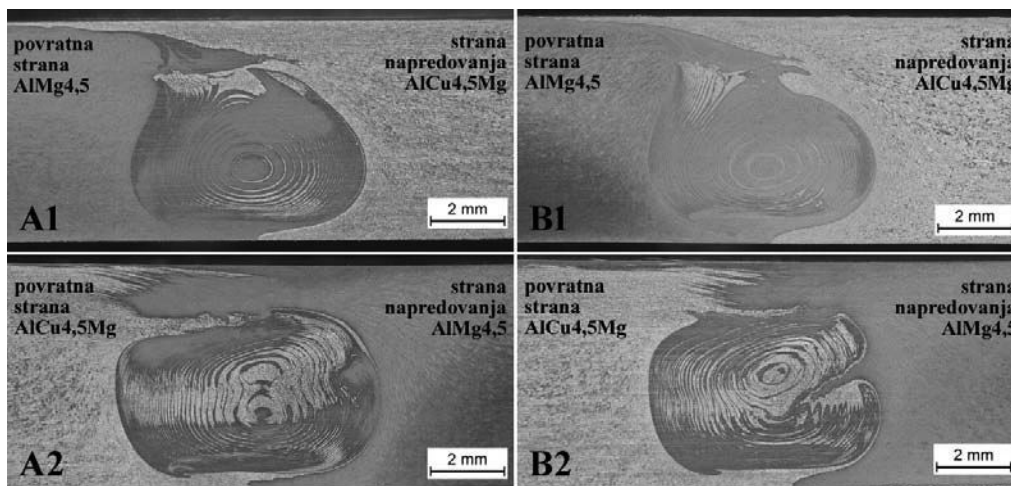
**Tabela 4.** Srednje vrednosti električne provodljivosti, %IACS



**Slika 5.** Zavareni spojevi – izgled lica spoja

Makrostruktura zavarenih spojeva prikazana je na slici 6. Ni kod jednog uzorka nije uočeno prisustvo poroznosti ili neprovara kao ni tunela na strani napredovanja. Jasno se razlikuju oblasti ZTMU, ZUT-a i zone intezivnog mešanja tzv grumena. U grumenu se jasno uočava postojanje karakterističnih koncentričnih prstenova, koji predstavljaju naizmeničnu mešavinu lamela

osnovnih materijala [21]. Oblik grumena i u njemu prisutnih koncentričnih krugova, zavisi od brzine zavarivanja i položaja ploča u spoju. U zavisnosti od položaja ploča u spoju, na licu spoja je prisutan materijala ploče koja je bila pozicionirana na strani napredovanja a što je posledica odvijanja procesa zavarivanja tj. rotacije alata.



**Slika 6.** Makrostrukture poprečnog preseka zavarenih spojeva

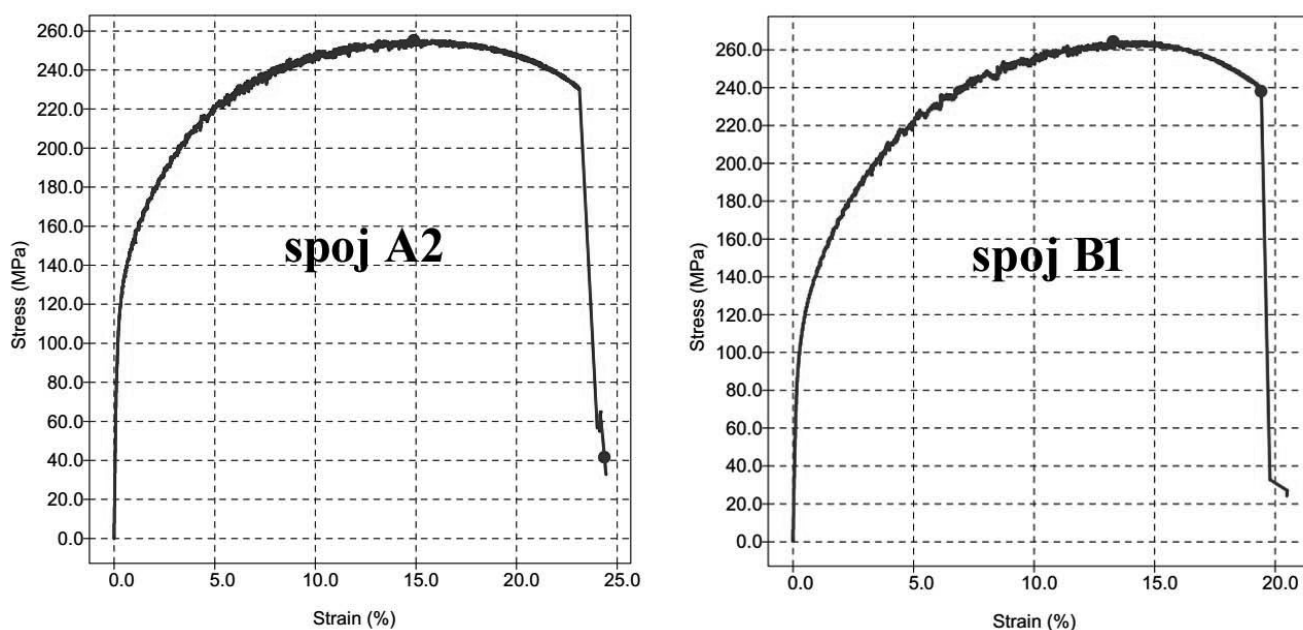


Srednje vrednosti ispitivanja zateznih svojstava zavarenih spojeva date su u Tabeli 5 a izgled tipičnih dijagrama napon-deformacija na slici 7. Nezavisno od primenjenih parametara zavarivanja i pozicija ploča u spoju, do loma uvek dolazi u oblasti ZUT-a legure AA5083 na gotovo identičnom rastojanju od 21 mm od centra spoja. Karakteristično mesto i izgled preloma prikazani su slikom 8. Vrednosti zatezne čvrstoće Rm su nešto niže od čvrstoće OM u kome je došlo do loma

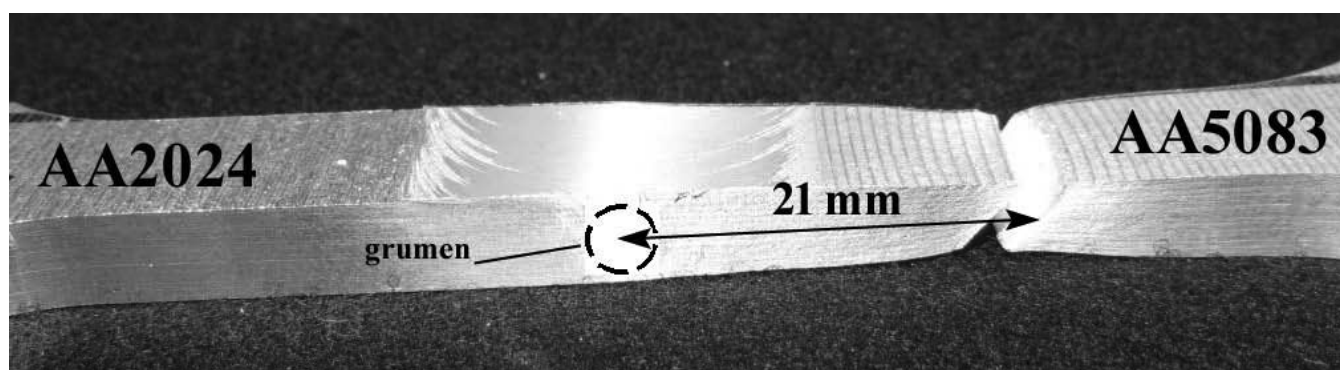
(AA5083). Sa povećanjem količine unete toplote smanjuje se vrednost zatezne čvrstoće. U prilog ovome ide činjenica da je Rm spojeva A1 i A2 nešto niža od spojeva B1 i B2. Količina unete toplote je iskazana preko pseudo toplotnog indeksa koji predstavlja odnos  $V_{rot}^2 / V_{zav}$ . Vrednosti izduženja su veće, što se tumači uticajem koji redefinisana struktura materijala u samom spoju ima na duktilnost.

spoj	parametri zavarivanja		količina unete toplote (vrednost pseudo toplotnog indeksa)	Rm (MPa)	A <sub>5</sub> (%)	mesto loma
	V <sub>rot</sub> (obr/min)	V <sub>zav</sub> (mm/min)				
A1	750	73	7705	254	23	ZUT - AlMg4,5Mn
A2				256	21	
B1	93	6048	263	20		
B2			262	22		

Tabela 5. Mehanička svojstva



Slika 7. Tipičan izgled dijagrama zatezanja.



Slika 8. Karakterističan izgled i mesto preloma.



## ZAKLJUČAK

Za primenjene parametre zavarivanja dobijeni su spojevi bez površinskih i zapreminskih grešaka, dobrih mehaničkih svojstava i prihvatljivog izgleda lica spoja.

Promena pozicija raznorodnih Al legura u spoju, nema vidljivog uticaja na proces formiranja spoja i njegova svojstva.

Malo povećanje brzine zavarivanja pri istoj brzini rotacije, prouzrokuje neznatno povećanje zatezne čvrstoće.

Kritična oblast u kojoj dolazi uvek do loma locirana je ZUT-u na strani legure AA5083 na rastojanju od 21 mm od centra spoja. Njen položaj ne zavisi od primenjenih parametara zavarivanja niti pozicije ploča u spoju.

Primenom FSW postupka međusobno su uspešno zavarene raznorodne legure serija 2xxx i 5xxx.

## ZAHVALNOST

Autori se zahvaljuju Ministarstvu prosvete i nauke Srbije za finansijsku pomoć kroz projekat TR 34018.

## LITERATURA

- [1] Squillace A., de Fenzo A., Giorleo G., Bellucci F., A comparison between FSW and TIG welding techniques: Modifications of microstructure and pitting corrosion resistance in AA 2024-T3 butt joints, *Journal of Materials Processing and Technology*, 152 (2004), pp 97-105.
- [2] Lockwood W. D., Tomaz B., Reynolds A. P., Mechanical response of friction stir welded AA 2024: Experiment and modeling, *Materials Science and Engineering A*, 323 (2002), pp 348-353.
- [3] Gibson B. T., Lammlein D. H., Prater T. J., Longhurst W. R., Cox C. D., Ballun M. C., et al., Friction stir welding: process, automation, and control, *J. Manuf. Process*, 16 (2014), pp 56–73.
- [4] Murr L. E., A review of FSW research on dissimilar metal and alloy systems, *J. Mater. Eng. Perform.*, 19 (2010), pp 1071–1089.
- [5] Ouyang J. H., Kovacevic R., Material flow and microstructure in the friction stir butt welding welds of the same and dissimilar aluminum alloys, *J. Mater. Eng. Perform.*, 11 (2002).
- [6] Guo J. F., Chen H. C., Sun C. N., Bi G., Sun Z., Wei J., Friction stir welding of dissimilar materials between AA6061 and AA7075 Al alloys effects of process parameters, *Mater. Des.*, 56 (2014), pp 185–192.
- [7] Murr L. E., Li Y., Elizabeth R. D. F., Intercalation vortices and related microstructural features in the friction-stir welding of dissimilar metals, *Mater. Res. Innov.*, 2 (1998), pp 150–163.
- [8] Lee W. B., Yeon Y. M., Jung S. B., The joint properties of dissimilar formed Al alloys by friction stir welding according to the fixed location of materials, *Scr. Mater.*, 49 (2003), pp 423–428.
- [9] Cavaliere P., Nobile R., Panella F. W., Squillace A., Mechanical and microstructural behaviour of 2024-7075 aluminium alloy sheets joined by friction stir welding, *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, 46 (2006), pp 588–594.
- [10] Palanivel R., Koshy Mathews P., Murugan N., Dinaharan I., Effect of tool rotational speed and pin profile on microstructure and tensile strength of dissimilar friction stir welded AA5083-H111 and AA6351-T6 aluminum alloys, *Mater. Des.*, 40 (2012), pp 7–16.
- [11] I. Shigematsu, Y. Kwon, K. Suzuki, T. Imai, N. Saito, Joining of 5083 and 6061 aluminum alloys by friction stir welding, *J. Mater. Sci. Lett.*, 22 (2003), pp 353–356.
- [12] Palanivel R., Koshy Mathews P., Dinaharan I., Murugan N., Mechanical and metallurgical properties of dissimilar friction stir welded AA5083-H111 and AA6351-T6 aluminum alloys, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 24 (2014), pp 58–65.



- [13] Amancio-Filho S. T., Sheikhi S., dos Santos J. F., Bolfarini C., Preliminary study on the microstructure and mechanical properties of dissimilar friction stir welds in aircraft aluminium alloys 2024-T351 and 6056-T4, *J. Mater. Process Technol.*, 206 (2008), pp 132-142.
- [14] Da Silva A., Arruti E., Janeiro G., Aldanondo E., Alvarez P., Echeverria A., Material flow and mechanical behavior of dissimilar AA2024-T3 and AA7075-T6 aluminium alloys friction stir welds, *Mater. Des.*, 32 (2011), pp 2021-2027.
- [15] Koilraj M., Sundareswaran V., Vijayan S., Koteswara Rao S. R., Friction stir welding of dissimilar aluminum alloys AA2219 to AA5083 – optimization of process parameters using Taguchi technique, *Mater. Des.*, 42 (2012), pp 1-7.
- [16] Radisavljević I., Radović N., Živković A., 4<sup>th</sup> International Conference Processing and Structure of Materials, Palić, 27-29 Maj, 2010, Proceedings, pp. 117-123.
- [17] Radisavljević I., Radović N., Živković A., Grabulov V., Influence of FSW parameters on formation quality and mechanical properties of Al 2024-T351 butt welded joints, *Transaction of Nonferrous Metals Society China*, 23 (2013), pp 3525-3539.
- [18] Radisavljević I., Radović N., Grabulov V., Nikačević M., Influence of process parameters on tunnel type defect appearance and weld quality in FSW welded Al 2024 plates, 5<sup>th</sup> International Scientific Conference on Defensive Technologies, OTEH 2012, Serbia, Belgrade, 18-19 September 2012, Proceedings on CD, pp 625-630.
- [19] Kumar K., Kailas S., The role of friction stir welding tool on material flow and weld formation, *Materials Science and Engineering A*, 485 (2008), pp 367-374.
- [20] Arbegast W. A flow-partitioned deformation zone model for defect formation during friction stir welding, *Scripta Materialia*, 58 (2008), pp 372-376.
- [21] Rodriguez R. I., Jordon J. B., Allison P. G., Rushing T., Garcia L., Microstructure and mechanical properties of dissimilar friction stir welding of 6061-to-7050 aluminum alloys, *Materials & Design*, 83 (2015), pp 60-65.



Vukić Lazić<sup>1</sup>, Dušan Arsić<sup>2</sup>, Milorad Zrilić<sup>3</sup>, Srbislav Aleksandrović<sup>1</sup>, Milan Đorđević<sup>2</sup>, Nada Ratković<sup>1</sup>

# EXPERIMENTAL MEASURING OF RESIDUAL STRESSES IN HARD FACED LAYERS OF THE HOT WORK TOOL STEEL

## EKSPERIMENTALNO MERENJE ZAOSTALIH NAPONA U NAVARENIM SLOJEVIMA KOD TERMOPOSTOJANOG ČELIKA

Originalni naučni rad / Original scientific paper

Rad primljen / Paper received:

Januar 2017.

Rad je u izvornom obliku objavljen u Zborniku sa savetovanja „ZAVARIVANJE 2016“ održanog na Srebrnom jezeru 14-17. Septembra 2016

**Ključne reči:** navarivanje, termopostojan čelik, zaostali naponi, otpuštanje.

### Rezime

U ovom radu je prikazan postupak eksperimentalnog merenja zaostalih napona u navarenim slojevima kod termopostojanog čelika namenjenog za izradu kovačkih alata. Cilj rada je da se istraži uticaj višeslojnog navarivanja na uzdužne i poprečne zaostale napone tankih i debelih ploča koji u eksploataciji mogu dovesti do pojave prsline. Takođe, praćen je i uticaj otpuštanja na snižavanje nivoa zaostalih napona. Ploče su navarene u 3 sloja a naponi su mereni magnetnom metodom. Dobijeni rezultati su pokazali da su zaostali naponi veći kod debelih ploča kao i da pravilan režim termičke obrade može značajno smanjiti nivo zaostalih napona.

### 1. UVOD

U ovom radu je prikazan postupak eksperimentalnog merenja zaostalih napona na višeslojno navarenim pločama od termopostojanog čelika. Navarene su ploče različitih debljina: tanke 7.4 mm i debele 29 mm na kojima su mereni zaostali naponi su navarene višeslojno (3) a eksperimentom je praćen i uticaj otpuštanja na nivo zaostalih napona. U nekim ranijim publikacijama [1, 2] autori ovog rada su istraživali uticaj navarivanja i otpuštanja na nivo deformacija na uzorcima. U tim radovima je pokazano se deformacije javljaju i rastu po linearnoj zavisnosti od broja prolaza kao i da otpuštanje nema veliki uticaj na nivo deformacija, naročito kod debelih ploča.

Cilj ovog rada je da ukaže na pojavu i prisustvo zaostalih napona u navarenim slojevima ali i da definiše uticaj višeslojnog navarivanja i naknadnog otpuštanja na nivo zaostalih napona.

Adresa autora / Author's address:

<sup>1</sup>) Profesor, Fakultet inženjerskih nauka u Kragujevcu, Sestre Janjić 6, Srbija, vlazic@kg.ac.rs

<sup>2</sup>) Istraživač-saradnik, Fakultet inženjerskih nauka u Kragujevcu, Sestre Janjić 6, Srbija, dusan.arsic@fink.rs

<sup>3</sup>) Profesor, Tehnološko-metalurški fakultet u Beogradu, Karnegijeva 4, Srbija

**Key words:** hard facing, hot work tool steel, residual stresses, tempering.

### Abstract

The procedure for experimental determination of the longitudinal and lateral residual stresses in the multi-layer hard-faced plates, made of the hot work tool steel used for forging dies manufacturing, is presented in this paper. The objective of this research was to establish the influence of the multi-layer hard-facing on residual stresses in the thin and thick plates, which could later, in exploitation, cause the appearance of cracks and fracture. The influence of tempering on decreasing the residual stresses was monitored, as well. The plates were hard-faced in three layers, while the stresses were measured by the magnetic method. The obtained results have shown, among others, that the residual stresses are higher in the thick plates, as well as that the proper regime of the heat treatment can significantly reduce the level of residual stresses.

### 2. IZBOR MODELA (tankih i debelih ploča)

U cilju određivanja nivoa zaostalih napona korišćeni su uzorci u obliku tankih i debelih ploča. Kako bi se eksperimentalna ispitivanja što više približila radnim uslovima, odabrane ploče (dimenzija 394×192×7.4 mm - 4 kom i 394×192×29 mm - 3 kom) su termički poboljšane, a zatim poravnane brušenjem. Osnovni materijal je čelik Č5742 (DIN, EN: 56NiCrMoV7), do sada najčešće upotrebljavan za kovačke alate.

Ploče su navarivane ručnim elektrolučnim postupkom prema tehnologiji datoj u radovima [3, 4], polaganjem tri gusenice navara po sredini ploča u jednom, dva i tri sloja (sl. 1). U tablici 1 dati su parametri navarivanja, pri čemu je za svaki prolaz merena brzina navarivanja. Temperatura predgrevanja, kao i "interpass" temperatura su kontrolisane pomoću digitalnog mernog uređaja



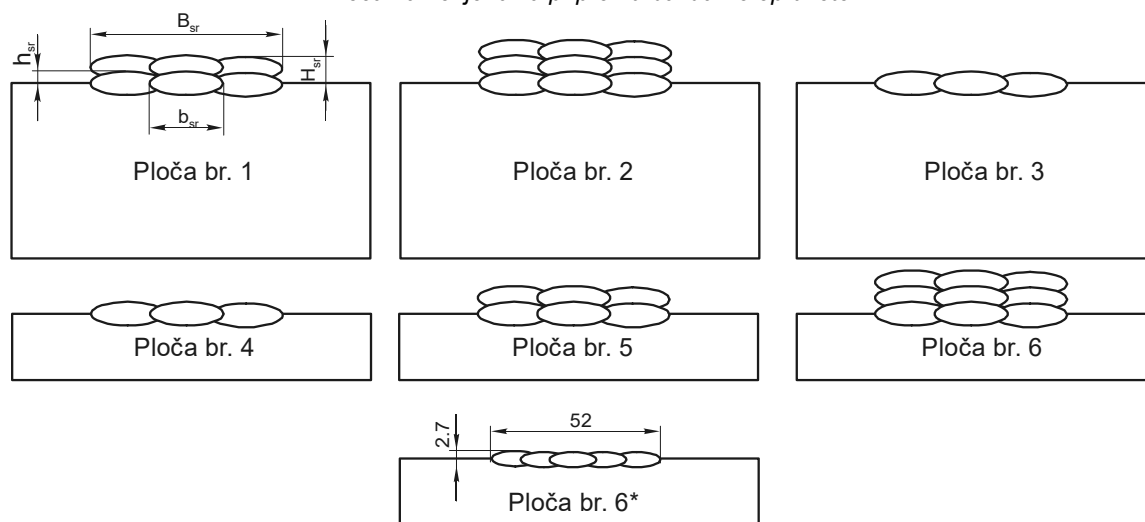
Tasthoterm, odnosno termo-kreda. Tanke ploče su navarivane elektrodom UTOP 38 prečnika  $\varnothing 3.25$  mm i UTOP 38  $\varnothing 2.5$  mm (za izradu baždarne

epruvete), a debele elektrodom UTOP 55 prečnika  $\varnothing 5.0$  mm.

Oznaka ploče	Debljina $s$ , mm	Broj slojeva	Prečnik elektrode $d_e$ , mm	Struja navarivanja $a$ , I, A	Napon, U, V	Brzina navarivanja $a$ , $v_z$ , cm/s	Pogonska energija, $q_l$ , J/cm
1	29	2	5.00	190	29	$\approx 0.23$	19165
2	29	3	5.00	190	29	$\approx 0.23$	19165
3	29	1	5.00	190	29	$\approx 0.24$	18367
4	7.4	1	3.25	115	26	$\approx 0.26$	9200
5	7.4	2	3.25	115	26	$\approx 0.17$	14070
6	7.4	3	3.25	115	26	$\approx 0.25$	9568
6 <sup>1</sup> =6*	7.4	1	2.5	80	23	$\approx 0.23$	6400

**Tablica 1. Parametri navarivanja**

<sup>1</sup>Ploča namenjena za pripremu baždarne epruvete



**Slika 1. Shema navarivanja ploča**

Posle navarivanja i pratećih merenja, ploče su otpuštane na  $520$  °C u trajanju od 2h prvenstveno u cilju smanjenja nivoa zaostalih napona i deformacija. Ovaj način termičke obrade je usvojen kako na osnovu preporuka proizvođača čelika [6], tako i na osnovu sopstvenih iskustava i istraživanja [7].

Geometrijske karakteristike gusenice (srednje vrednosti), ( $b_{sr}$  i  $h_{sr}$ ) i ukupna visina ( $H_{sr}$ ), odnosno širina ( $B_{sr}$ ) date su u tablici 2. Pri polaganju gusenica izvedeno je njihovo delimično pretapanje ( $\approx 1/3b_{sr}$ ).

Oznaka Ploče	Debljina $s$ , mm	Broj slojeva	Dimenzije navara, mm			
			$b_{sr}$	$h_{sr}$	$B_{sr}$	$H_{sr}$
1	29	2	$\approx 13$	3.62	28-38.4	5.91
2	29	3	$\approx 13$	3.53	27.2-33.6	8.37
3	29	1	$\approx 13$	3.43	23.7-27.6	3.43
4	7.4	1	$\approx 10$	2.83	19.4-25.4	2.83
5	7.4	2	$\approx 10$	2.91	23.7-28.8	5.36
6	7.4	3	$\approx 10$	3.1	22.1-28.9	8.5
6 <sup>1</sup> =6*	7.4	1	$\approx 8.5$	2.7	52	2.7

**Tablica 2. Geometrijske karakteristike navarenih slojeva**



## ODREĐIVANJE NIVOVA ZAOSTALIH NAPONA POSLE NAVARIVANJA I OTPUŠTANJA

### 3.1 Magnetna metoda merenja zaostalih napona

Magnetna metoda spada u grupu tehnika za merenje zaostalih napona novijeg datuma. Princip rada ove metode zasniva se na zavisnosti magnetne permeabilnosti feromagnetnih materijala od stanja naprezanja, čime se registruje samo trenutno naponsko stanje. Prednosti ove metode se ogledaju u brzom i efikasnom radu, niskoj ceni, mogućnošću merenja na terenu i sl., a mana nešto manja tačnost u poređenju sa drugim eksperimentalnim metodama i mogućnost merenja zaostalih napona samo kod feromagnetnih materijala.

#### 3.1.1 Opis i kalibracija uređaja za merenje zaostalih napona

Pri merenju zaostalih napona u ovom radu korišćen je uređaj SMMT-1, ruske proizvodnje (sl. 2). Uređaj je sa baterijskim izvorom i lako prenosiv u slučajevima terenskog merenja zbog svoje male mase. Princip rada uređaja se zasniva na magnetnoelastičnom efektu. Merni deo je smešten u kućište, a na njemu su:

- digitalni ekran na kome se očitavaju izmerene vrednosti magnetne permeabilnosti,
- odgovarajući prekidači za uključenje uređaja, svetiljke za skalu i izbor opsega merenja i
- priključak za sondu.

Sonda se sastoji od dva solenoida koji su pomereni jedan u odnosu na drugi za  $90^\circ$ . Solenoidi imaju jezgra od magnetnog materijala radi ostvarivanja veće magnetne pobude, odnosno bolje sprege sa materijalom čiji se magnetni permeabilitet meri. Magnetni permeabilitet je proporcionalan deformaciji, a ona je srazmerna naponu do  $0.8 R_{eH}$ , te se merenje napona izvodi u linearnoj oblasti. Uređaj meri magnetni permeabilitet u ravni duž izabranog pravca (jedno jezgro) zbog orijentacije od jednog ka drugom polu. Drugo jezgro meri odziv od  $1 \text{ kHz}$  poprečno na taj pravac. Jasno je, da se pomoću ovog uređaja mogu određivati glavni naponi u linearnoj oblasti, kao i njihov pravac. Sonda meri usrednjenu vrednost napona na dužini od  $\approx 10 \text{ mm}$  i do dubine od  $\approx 0.5 \text{ mm}$ .

Pre početka merenja, neophodno je izvesti podešavanje "nule" na skali uređaja. To se može uraditi na dva načina: da se nula očita na osnovu kalibracije i tada je sonda dovoljno udaljena od materijala (u vazduhu) ili da se sonda prisloni na kalibracionu epruvetu. Položaj sonde i mesto prislanjanja moraju da odgovaraju kalibracionom položaju. Prema nekim istraživanjima [9, 10] mogućnost pojave greške je manja kod prvog načina. Ne zahteva se posebna priprema mernih površina, osim što je neophodno da su ravne. Položaj sonde pri kome je očitani maksimalni napon odgovara maksimalnom glavnom naponu  $\sigma_1$ , a napon  $\sigma_2$  se određuje okretanjem sonde za  $90^\circ$ , pri čemu je moguće približno određivanje ugla glavnih napona [10].

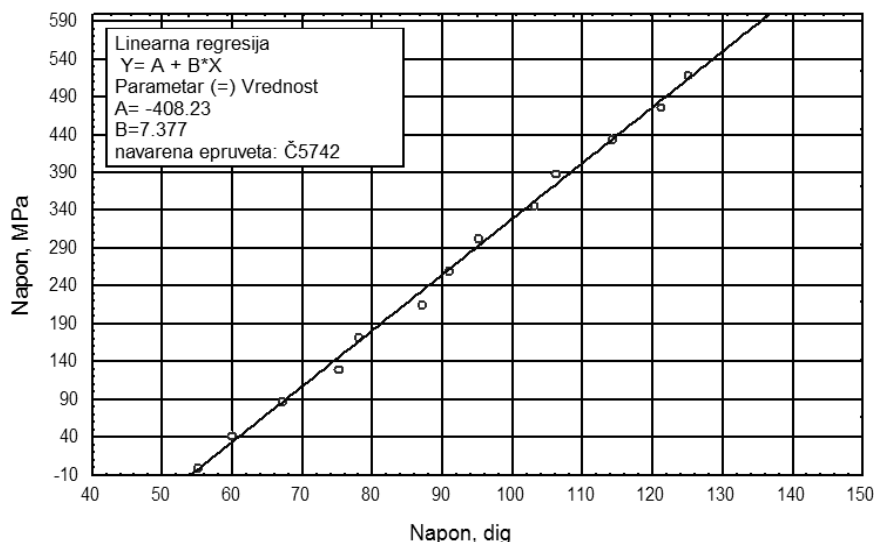


Slika 2. Uređaj za merenje zaostalih napona (SMMT-1)



Do korelacije magnetnih karakteristika i napona dolazi se preko kalibracione krive koju treba uraditi za svaku vrstu materijala. Za određivanje kalibracione krive potrebna je standardna epruveta za zatezanje koja se zateže na kidalici do sile od  $0.8 R_{eH}$ . Ispitivanje se izvodi stepenastim

uvođenjem opterećenja uz registrovanje odgovarajućih vrednosti opterećenja i magnetne karakteristike izražene u brojkama-digitima (*dig*). Na osnovu tako dobijenih vrednosti, opterećenje se preračunava u napon i formira dijagram kalibracije (sl. 3).

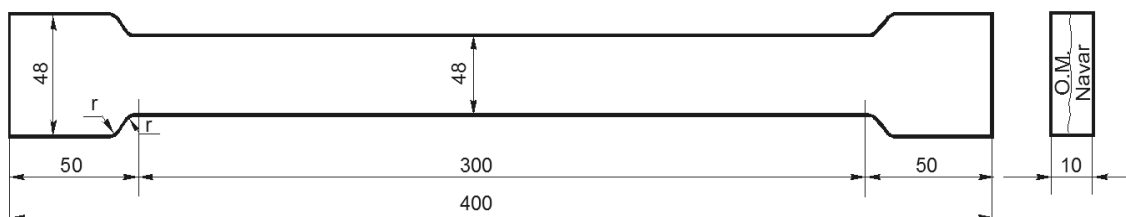


Slika 3. Kalibraciona kriva za čelik 55CrMo 8

Sa dijagrama 3 uočava se da kriva kalibracije ne prolazi kroz koordinatni početak zbog toga što je uređaj podešavan na nulu metodom "nula u vazduhu". Fitovanjem, po zakonu linearne regresije, dobija se kalibraciona jednačina, na osnovu koje se kasnije proračunavaju izmerene vrednosti magnetnih karakteristika.

### 3.1.4 Priprema baždarne epruvete

Pre merenja zaostalih napona magnetnom metodom i pre kalibracije uređaja, jedna od tankih ploča ( $6^1=6^2$ ) jednoslojno je navarena po navedenoj tehnologiji elektrodom UTOP 38 –  $\varnothing 2.5 \text{ mm}$ . Zatim je prema slici 4 iz nje isečena i obrušena epruveta, koja je poslužila za baždarenje.



Slika 4. Izgled baždarne epruvete

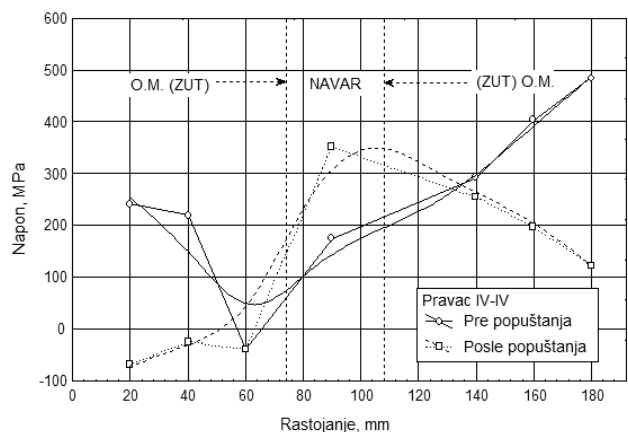
Baždarna epruveta namenjena je za utvrđivanje zavisnosti napona  $\sigma$  (*dig*) -  $\sigma$  (MPa) (sl. 3) na osnovu koje su preračunati naponi pri njihovom merenju magnetnom metodom.

Pre započinjanja merenja napona vrhovi neravnina navara (samo kod debelih ploča 1, 2 i 3) su poravnjani brušenjem, a sve ploče razmagnetisane na specijalnom uređaju. Zatim su mereni naponi u karakterističnim pravcima. Naime, kod navedenih ploča mereni su uzdužni naponi po pravcu III-III i poprečni naponi po pravcima IV-IV, V-V i VI-VI prema shemi datoj u [2, 16]. Kod ploča br. 1, 2 i 3 mereni su i naponi u navaru, dok kod tankih ploča

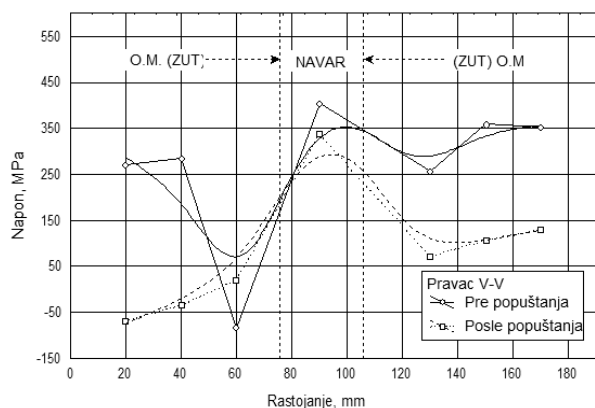
to nije urađeno, kako zbog izraženih deformacija (posebno ugaonih), tako i zbog nešto manje ukupne širine navara.

## 4. REZULTATI MERENJA ZAOSTALIH NAPONA

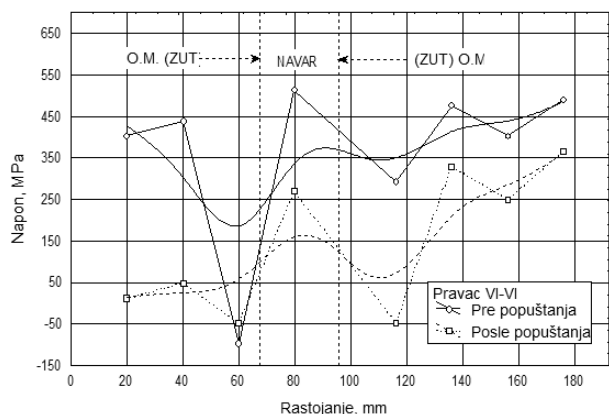
Na slikama 5 do 10 prikazani su rezultati merenja uzdužnih i poprečnih zaostalih napona u navedenim pravcima za svih 6 navarenih ploča pre i posle naknadne termičke obrade (otpuštanja). Uzdužni naponi za ploču broj 2 (sl. 6) nisu mereni zbog zakrivljenosti gusenice.



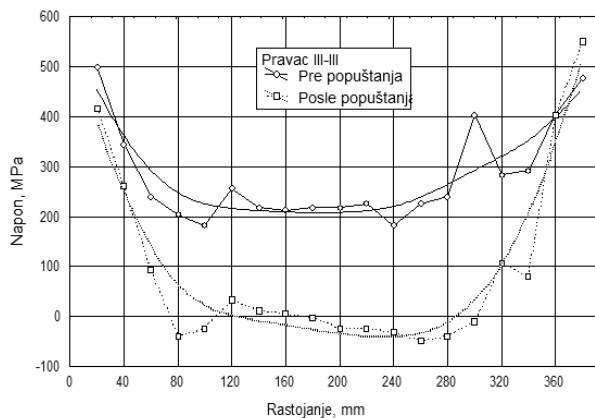
a)



b)

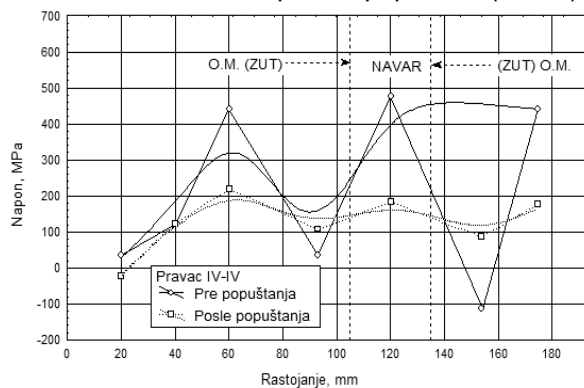


c)

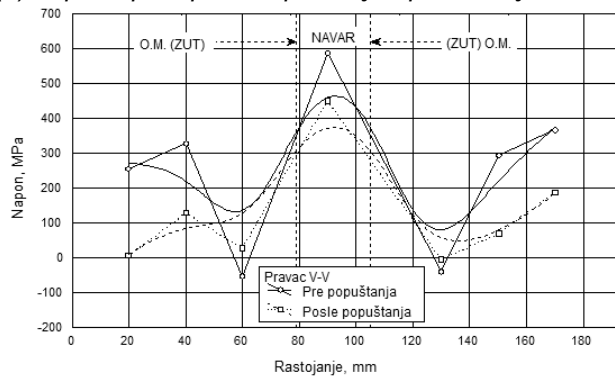


d)

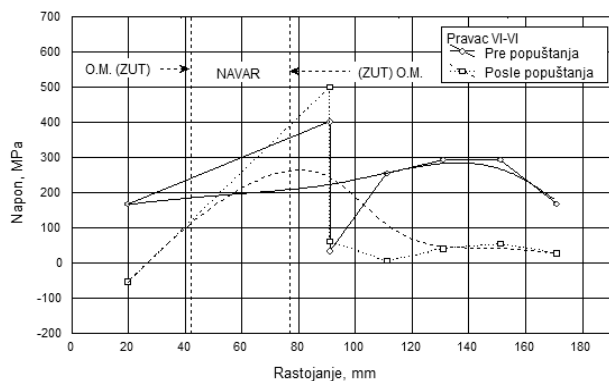
**Slika 5. Raspodela poprečnih (a, b, c) i uzdužnih (d) napona pre i posle otpuštanja - ploča broj 1**



a)

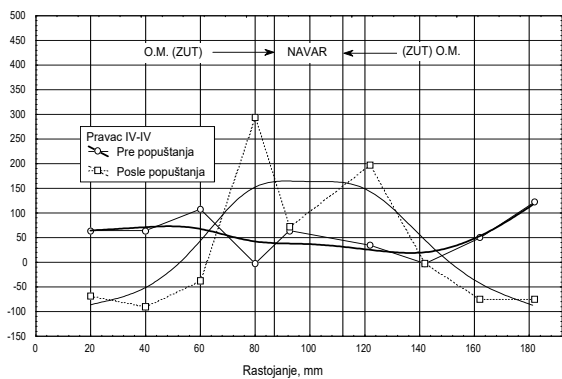


b)

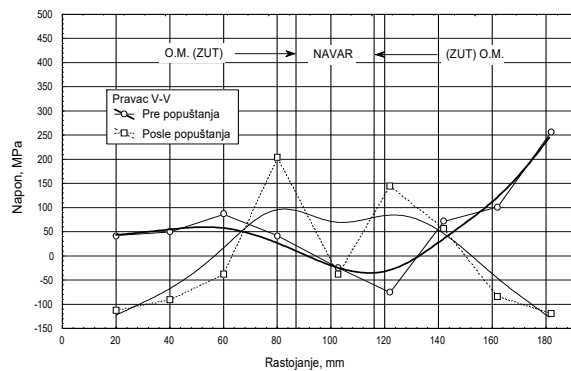


c)

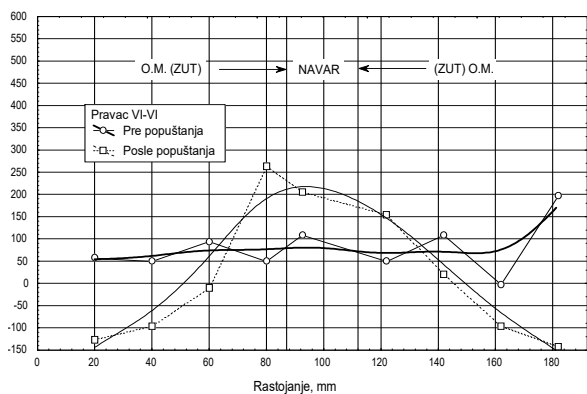
**Slika 6. Raspodela poprečnih napona (a, b, c) pre i posle otpuštanja - ploča broj 2**



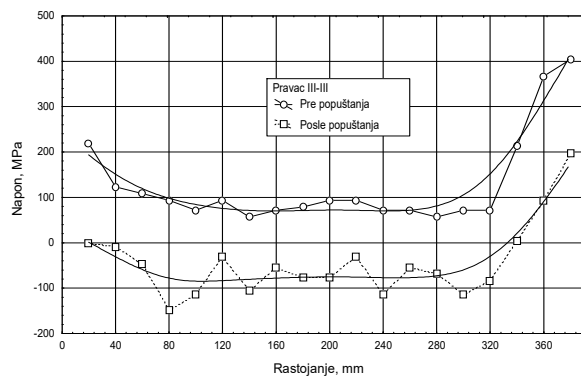
a)



b)

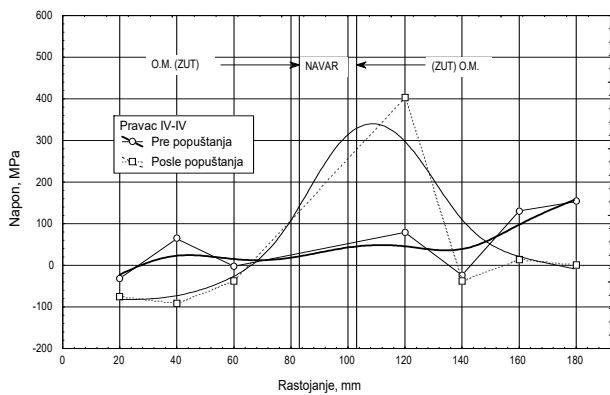


c)

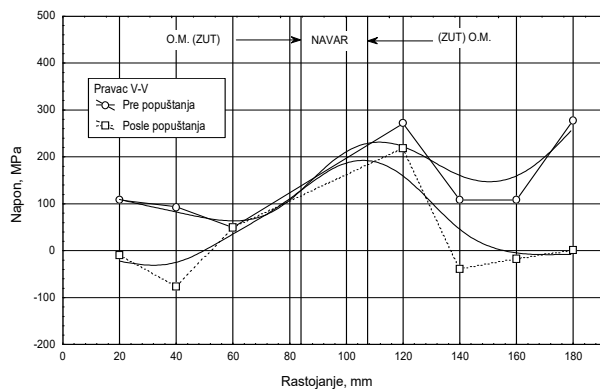


d)

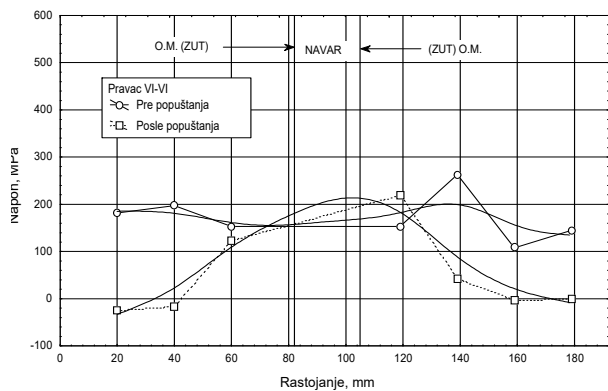
Slika 7. Raspodela poprečnih (a, b, c) i uzdužnih (d) napona pre i posle otpuštanja - ploča br. 3



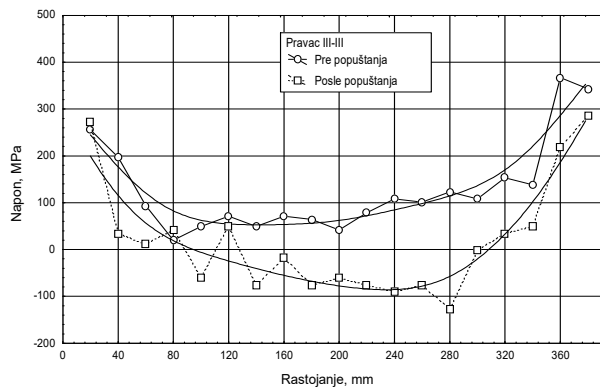
a)



b)

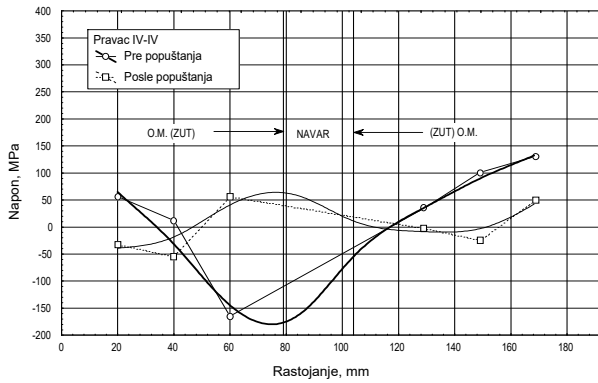


c)

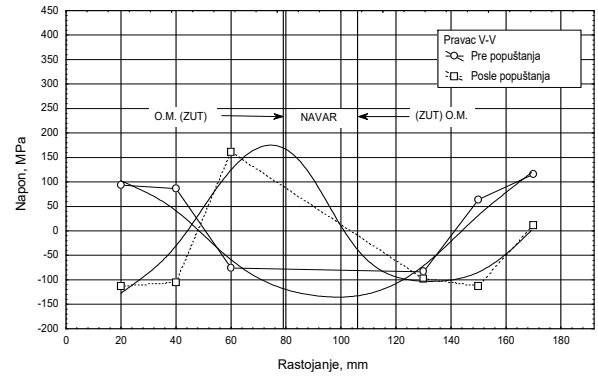


d)

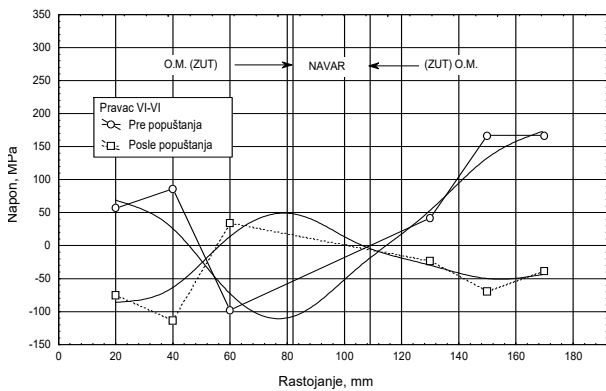
Slika 8. Raspodela poprečnih (a, b, c) i uzdužnih (d) napona pre i posle otpuštanja - ploča br. 4



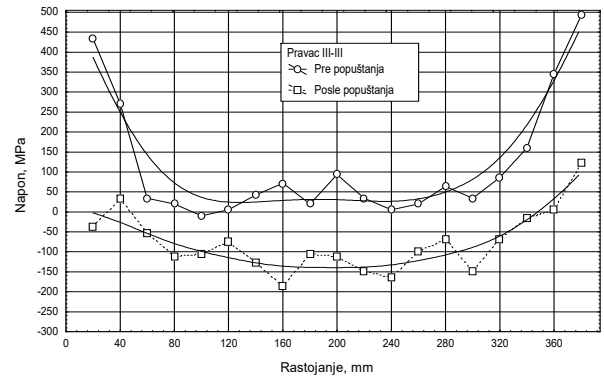
a)



b)

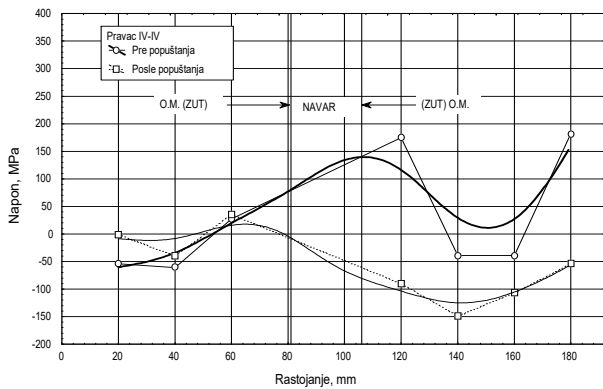


c)

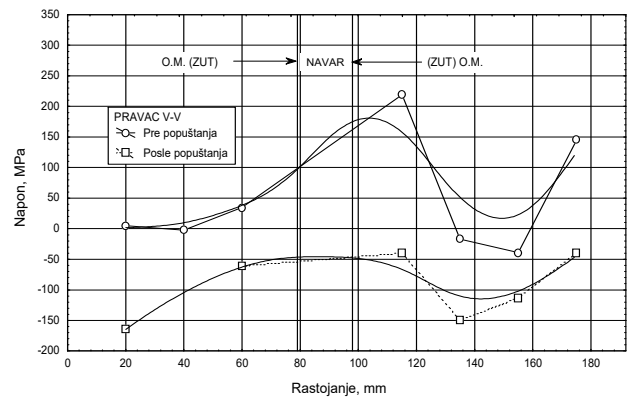


d)

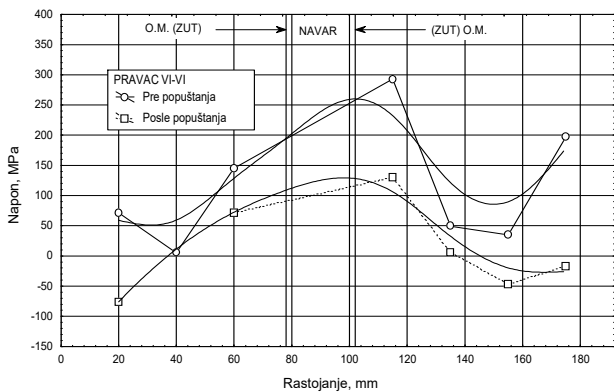
**Slika 9. Raspodela poprečnih (a, b, c) i uzdužnih napona (d) pre i posle otpuštanja - ploča br. 5**



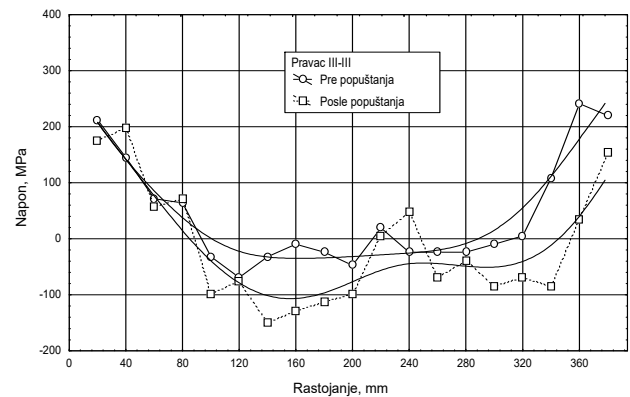
a)



b)



c)



d)

**Slika 10. Raspodela poprečnih (a, b, c) i uzdužnih napona (d) pre i posle otpuštanja - ploča br. 6**

Razmatranjem dobijenih rezultata (sl. 5 do 10) može se zaključiti da je, u principu, dobijena očekivana

raspodela napona saglasna istraživanjima drugih autora [9-15].



## 5. ZAKLJUČCI

Na osnovu detaljnije analize sopstvenih ispitivanja proistekle su veoma značajne činjenice koje mogu korisno poslužiti za definisanje tehnologije navarivanja i naknadne termičke obrade. Ta zapažanja mogu doprineti poboljšanju postupka regeneracije kovačkih alata, kako iz aspekta predloženog režima naknadne termičke obrade, tako i u pogledu izbora tehnologije i postupka navarivanja. Nekim od njih je:

- potvrđena raspodela poprečnih napona sa literaturnim (sl. 6b), dok raspodela uzdužnih napona ima nešto drukčiji oblik (sl. 10d);
- pokazano da izmerene vrednosti zaostalih napona pri navarivanju debelih ploča nadmašuju zaostale napone kod tankih ploča (sl. 6a i 10a);
- pokazano da izvođenjem otpuštanja dolazi do sniženja zaostalih napona u gotovo svim slučajevima (sl. 5c); time se dokazuje neophodnost primene ovog vida termičke

obrade, iako u nekim slučajevima napon menja znak (iz zone zatezanja prelazi u zonu pritiska (sl. 8d) i obrnuto);

- pokazano da se predloženim načinom otpuštanja postiže simetričnija raspodela napona u odnosu na navar (sl. 7b i 10c);
- pokazano da je kod debelih - masivnih ploča (delova) i višeslojnih navara, povoljnije visoko otpuštanje, dok se kod tanjih ploča (delova) i jednoslojnih (dvoslojnih) navara preporučuje srednje ili nisko otpuštanje. To znači da bi predloženi ("optimalni") režim otpuštanja trebalo modifikovati, kako u pogledu  $T_{max}$ , tako i u pogledu vremena zadržavanja (sl. 8d);
- pokazano da su izmereni zaostali naponi znatno niži od napona tečenja osnovnog materijala, a samim tim od napona tečenja navara, što pokazuje opravdanost primenjene tehnologije navarivanja i izabranog postupka.

## LITERATURA

- [1] V. Lazić, D. Arsić, R. Nikolić, S. Aleksandrović, M. Djordjević, B. Hadzima, J. Bujnak, Experimental determination of deformations of the hard faced samples made of steel for operating at elevated temperatures, *Procedia Engineering*, 111(2015), pp. 495-501.
- [2] D. Arsić, V. Lazić, R. Nikolić, S. Aleksandrović, M. Djordjević, B. Hadzima, J. Vičan, Influence of tempering on the deformation level of the multi-layer hard faced samples, *Procedia Engineering*, 111 (2015), pp. 49-56.
- [3] V. Lazić, R. Nikolić, S. Aleksandrović, D. Milosavljević, R. Čukić, D. Arsić, M. Đorđević, Application of hard-facing in reparation of damaged forging dies - Chapter 12 in monograph: Analysis of Technology in Various Industries, Published by: Association of Managers of Quality and Production, Oficyna Wydawnicza (SMJiP), Editors: S. Borkowski, R. Ulewicz, 2014, Częstochowa, Poland, pp. 127-143.
- [4] D. Arsić, V. Lazić, A. Sedmak, R. Nikolić, S. Aleksandrović, M. Djordjević, R. Bakić, Selection of the optimal hard facing (HF) technology of damaged forging dies based on cooling time  $t_{8/5}$ , *Metalurgija - Metallurgy*, 55/1(2016), pp. 103-106.
- [5] V. Lazić, Optimizacija procesa navarivanja sa aspekta triboloških karakteristika navara i zaostalih napona, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, 2001.
- [6] Katalog firme Železarna Ravne: Alatni čelici za rad u vrućem stanju, Ravne na Koroškem, Slovenija.
- [7] M. Mutavdžić, V. Lazić, D. Milosavljević, S. Aleksandrović, R. R. Nikolić, R. Čukić, G. Bogdanović, Determination of the optimal tempering temperature in hard facing of the forging dies, 19/3 (2012), pp. 95-103.
- [8] M. Stefanović, R. Stanković, Značaj triboloških istraživanja u oblasti toplog kovanja, YUTRIB '95, Četvrta Jugoslovenska konferencija o tribologiji, Herceg Novi, 1995, str. 181-182.
- [9] G. Tatarkin, V. Ilić, N. Filipović, M. Zrilić, Otkrivanje i karakterizacija prslina na zavarenim spojevima u toku eksploatacije, Zavarivanje i zavarene konstrukcije, 46/1 (1997), str. 13-29.
- [10] M. Zrilić, M. Rakin, Lj. Milović-Matić, S. Putić, Određivanje zaostalih napona na rotacionoj peći za izradu klinkera, Zavarivanje i zavarene konstrukcije, 46/3, 1997., str. 219-223.
- [11] M. Jesensky, Measurment of residual stresses in welded joints, *Zvaračske spravy*, 39/4 (1989), pp. 85-92.
- [12] M. Kirić, A. Sedmak, T. Adžijev, Određivanje temperaturskih polja i zaostalih napona u procesu zavarivanja metodom konačnih elemenata, Zbornik radova – Međunarodno savetovanje Zavarivanje '94, Novi Sad, str. 230-236.
- [13] N. Komarica, Nestacionarno temperaturno polje i naponi u elasto-plastičnom području kod trenutnog delovanja izvora toplote, Zbornik radova – Međunarodno savetovanje Zavarivanje '94, Novi Sad, 1994, str. 211-214.
- [14] A. Sedmak, Numerička simulacija procesa zavarivanja – I deo: Temperaturna polja, Zavarivanje i zavarene konstrukcije, 41/1 (1996), str. 5-12.
- [15] A. Sedmak, Numerička simulacija procesa zavarivanja – II deo: Zaostali naponi, Zavarivanje i zavarene konstrukcije, 41/2 (1996), str. 131-138.
- [16] M. Burzić, R. Prokić-Cvetković, M. Manjgo, Lj. Milović, M. Arsić, O. Popović, Effect of vibration on variation of residual stresses and impact energy in butt welded joints, *Integritet i Vek Konstrukcija*, 12/3 (2012), str. 215-220.

A. Hälsig, S. Pehle, M. Kusch, P. Mayr

## Potential of error for arc welding processes - where can I make mistakes and how they affect the component?

## Potencijal greške kod elektrolučnih postupaka zavarivanja - gde se mogu napraviti greške i kako one utiču na komponentu?

**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:**

Januar 2017.

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

**Key words:** error, arc welding processes, cooling time  $t_{8/5}$ , efficiency, part geometry, welding power

### Abstract

For example in vehicle or crane production and in the steel construction area - in many areas the weight reduction has a decisive influence on the development of new products. So modern, temperature-sensitive high-performance materials replace more and more unalloyed structural steels. The processing window by welding these materials is much smaller, so that the exact determination and compliance of the  $t_{8/5}$ -value (cooling rate) is important. This is why the welding parameters and the exact determination of specific parameters have a great impact on the calculation and determination of the  $t_{8/5}$ -value as well on the resulting mechanical and technological characteristics.

Depending on the welding process, a variety of welding parameters, welding seam geometry, the welding position and the layer structure changes the heat input into the component. On the one hand, the efficiency is changed and on the other hand they affect the cooling behavior by more than 60%.

Various welding processes and parameters are analyzed as well different error potentials discussed and following their impact will be illustrated.

The summation of the possible errors shows that the compliance with the mechanical and technological characteristics, as well as the theoretical determination of these values, and the calculation and simulation of the resulting sizes like arrears, microstructure or internal stresses is practically insufficiently possible. Knowing the sources of error and the use of this knowledge gained at the TU Chemnitz has a large contribution to improve the quality of welded joints.

At the end recommendations of necessary adaptations of actual standards are visualised.

**Adresa autora / Author's adresse :**

*Technische Universität Chemnitz, Professur Schweißtechnik*

**Ključne reči:** greška, elektrolučni postupci zavarivanja, vreme hlađenja  $t_{8/5}$ , efikasnost, geometrija delova, snaga zavarivanja

### Rezime

Na primer, u proizvodnji vozila ili dizalica i području čeličnih konstrukcija - u mnogim područjima smanjenje težine ima odlučujući uticaj na razvoj novih proizvoda. Tako moderni, temperaturno-osetljivi materijali visokih performansi zamenjuju sve više i više nelegirane konstrukcione čelike. Okvir obrade zavarivanjem ovih materijala je mnogo manji, tako da je tačno određivanje i usklađenost vrednosti  $t_{8/5}$  (brzina hlađenja) vrlo važno. To je razlog zašto parametri zavarivanja i tačno određivanje specifičnih parametara imaju veliki uticaj na proračun i određivanje vrednosti  $t_{8/5}$ , kao i na rezultat mehaničkih i tehnoloških karakteristika.

Zavisno od postupka zavarivanja, različitosti parametara zavarivanja, geometrije šava, položaja zavarivanja i strukture sloja menja se unos toplote u komponentu. S jedne strane efikasnost se menja, a sa druge strane, oni utiču na vreme hlađenje za više od 60%.

Analizirani su različiti postupci zavarivanja i parametri i diskutovane različite mogućnosti greške a njihov prateći uticaj će biti ilustrovan.

Sabiranje mogućih grešaka pokazuje da je u skladu sa mehaničkim i tehnološkim karakteristikama kao i teorijskim određivanjem tih vrednosti a izračunavanje i simulacija rezultujućih veličina kao zaostataka mikrostrukture ili unutrašnjih napona je praktično nedovoljno moguće. Znajući izvore grešaka i korišćenje tog znanja stečenog na „TU Chemnitz“ ima veliki doprinos za poboljšanje kvaliteta zavarenih spojeva.

Na kraju preporuke potrebne adaptacije stvarnih standarda postaju vidljive.

## 1. Introduction and state of the art

Modern high-performance materials have an enormous potential for lightweight construction. During production there specific material properties can be adjusted by special temperature-time regimes. But it is hard to simulate that during welding. A welding process thus always represents a degradation of the material properties. As a consequence, these materials can be welded only in a very narrow parameter window. In practice this is realized by a defined  $t_{8/5}$ -value [1; 2]. A distinction is made depending on the welded sheet thickness in 2 dimensional (Equation 1) and 3 dimensional (Equation 2) heat dissipation [3].

$$t_{8/5} = (4300 - 4,3T_0) * 10^5 * \frac{(E * \eta)^2}{d^2} * \left[ \left( \frac{1}{500 - T_0} \right)^2 - \left( \frac{1}{800 - T_0} \right)^2 \right] * F_2 \quad (1)$$

$$t_{8/5} = (6700 - 5T_0) * E * \eta * \left[ \frac{1}{(500 - T_0)^2} - \frac{1}{(800 - T_0)^2} \right] * F_3 \quad (2)$$

To calculate the  $t_{8/5}$ -value the efficiency of the process, the form factors with respect to the weld geometry ( $F_2$ ,  $F_3$ ), plate thickness, preheat temperature  $T_0$  and welding performance and welding energy  $E$  is required. In particular, the efficiency, form factor and welding power have a high potential for error in their use, which are analyzed in more detail below.

### a) Influence of the efficiency

Efficiency specifications for welding procedures are used among other things as an input variable in the calculation of the introduced energy per unit length. For this purpose values published in standards [1, 2, 5] as well as in literature are used. But there are a fixed and by welding parameter unchangeable efficiencies for each welding process defined. A classification into different power ranges or subgroups of the respective welding process does not take place. Recent research [4] has shown that the heat input into the component as a function of the welding parameter settings and conditions vary greatly [4]. Thus, for example, TIG welding has a span in the absolute values of about 15% between different setting values. The in the standard described efficiency of  $\eta = 0,60$  is with an average value of  $\eta = 0,75$  constantly exceeded.

### b) Influence of the part geometry

The part geometry in the form of sheet thickness, welding seam geometry and partially buildup sequence are considered by correction factors according to DIN EN 1011-2 [5]. Just like

## 1.Uvod i pregled stanja

Moderni materijali visokih performansi imaju ogroman potencijal za lake konstrukcije. Tokom proizvodnje, ova specifična svojstva materijala mogu se prilagoditi posebnim režimima temperature i vremena. Ali, to je teško simulirati tokom zavarivanja. Tako proces zavarivanja uvek predstavlja degradaciju svojstava materijala. Kao posledica toga, ovi materijali mogu biti zavareni samo u vrlo uskom okviru parametara. U praksi, to se ostvaruje definisanom vrednošću  $t_{8/5}$  [1; 2]. Napravljena je razlika u zavisnosti od debljine zavarenih limova za 2-dimenziono (jednačina 1) i 3-dimenziono (jednačina 2) odvođenje toplote [3].

Da bi izračunali vrednost  $t_{8/5}$  potrebno je znati efikasnost postupka, faktor oblika u odnosu na geometriju šava ( $F_2$ ,  $F_3$ ), debljinu ploče, temperaturu predgrevanja  $T_0$ , performanse i energiju zavarivanja  $E$ . Konkretno, efikasnost, faktor oblika i snaga zavarivanja imaju visok potencijal za pogrešno korišćenje, što se detaljnije analizira u nastavku.

### a) Uticaj efikasnosti

U specifikacijama zavarivanja, efikasnost se koristi među ostalim stvarima kao ulazna promenljiva u izračunavanju uvedene energije po jedinici dužine. U tu svrhu, koriste se vrednosti objavljene u standardima [1, 2, 5] kao i u literaturi. Ali postoje definisane fiksne i od parametara zavarivanja nepromjenjivi parametric za svaki proces zavarivanja. Klasifikacija u različite opsege snage ili podgrupe odgovarajućih procesa zavarivanja se ne dešava. Nedavna istraživanja [4] su pokazala da unos toplote u komponentu kao funkcija podešavanja parametara zavarivanja i uslova variraju [4]. Tako, na primer, TIG zavarivanje ima raspon u apsolutnim vrednostima od oko 15% između različitih vrednosti podešavanja. U standardu opisana efikasnost od  $\eta = 0,60$  je s prosečnom vrednošću od  $\eta = 0,75$  je konstantno premašena.

### b) Uticaj geometrije dela

Geometrija dela u obliku debljine lima, geometrija šava i delimično nagomilavanje razmatra korekcija faktora u skladu sa DIN EN 1011-2 [5]. Baš kao i izračunavanje vrednosti vremena  $t_{8/5}$  čak i sa

calculating the  $t_{8/5}$ -values even with the correction factors F2 and F3 are separated by the welded sheet thickness in 2- or 3-dimensional heat dissipation (table 1).



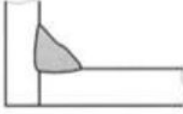
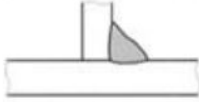
The correction factors for all types of seam geometries are indicated relatively for bead on plate welds, for which a value of 1,0 is set.

Especially by joining of fillet welds, the details are very vague. A differentiation after opening angle, gap width or other geometric parameters are not done. Also not considered is a possible influence of the welding position on the heat input into the component.

korekcionim faktorima F2 i F3 su odvojeni za debljine zavarenih limova kod 2- ili 3-dimenzionalnog odvođenja toplote (tabela 1).

Faktori korekcije za sve tipove geometrije šava su označeni relativno u odnosu na navar na limu, za koji se postavi vrednost od 1,0.

Posebno kod ugaonih zavarenih spojeva, detalji su vrlo nejasni. Razlikovanja u zavisnosti od otvora žljeba, širine zazora ili drugih geometrijskih parametara nisu urađena. Takođe se ne razmatra mogući uticaj položaja zavarivanja na unos toplote u komponentu.

Geometrija šava		F2	F3
navar na limu		1,0	1,0
međusloj		0,9	0,9
ugoni šav-ivični		0,67...0,9	0,67
ugaoni šav-T spoj		0,45...0,67	0,67

**Table 1.** Correction factors in relation to the seam geometry [5]

**Tabela 1.** Korekcionni faktori vezani za geometriju šava [5]

Own studies [4, 6] to measure levels of emissions, heat conduction and convection energy of the arc have shown that up to 15% of the welding power are transferred by the welding arc to the environment. If the arc is capsuled through the weld geometry or by the welding position parts of this energy is absorbed by the component. The proportion and the influencing factors for the additional heat input into the component is unknown until now.

### c) Influence of the welding power

For the determination and calculation of welding power are several methods to choose from. Thereby various values for the welding power can be determined for the same welding process, which has a high potential for error or high imprecision result. The physically correct method of calculation is shown in the formula 3.

$$P_S = \frac{1}{t_s} * \int_0^{t_s} U(t) * I(t) dt \quad (3)$$

Vlastite studije [4, 6] za merenje nivoa emisija, provođenje toplote i konvekciona energija luka su pokazale da se do 15% snage zavarivanja prenose u okolinu. Ako je luk kapsuliran unutar geometrije šava ili položaja zavarivanja delova, ova energije se apsorbuje u komponentu. Udeo i faktori za dodatni unos toplote u komponentu su nepoznati do sada.

### c) Uticaj snage zavarivanja

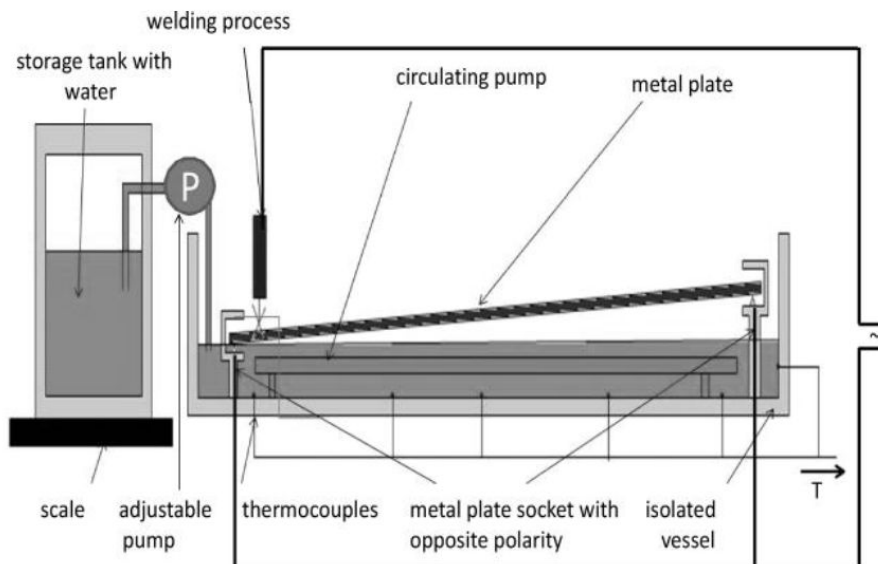
Za utvrđivanje i obračun snage zavarivanje postoji nekoliko metoda koje se mogu izabrati. Na taj način, različite vrednosti za snagu zavarivanja mogu se odrediti za isti postupak zavarivanja, koji ima veliki potencijal za greške ili visok rezultat nepreciznosti. Fizički ispravan način izračunavanja je prikazan jednačinom 3.

In summary it can be stated that the calculation of the  $t_{8/5}$ -values with the equations 1 and 2 is affected by three significant uncertainties. On the one hand, the efficiency is fixed depending on the welding process, without taking into account the different process states. Secondly, there are undefined variations in the selection of a correction factor for the weld shape to the user. Parallel the fact of the welding position is completely disregarded. Additionally the measurement and calculation of welding power has a high potential for error, whereby deviations of up to 70% were determined. These sources of error counteract the exact predetermination of welding-related heat input into the component. Consequently in industrial practice the heat input is usually determined experimentally by thermocouple-based measurements of the real  $t_{8/5}$  values.

## 2. Measurement Technology

### a) Determination of the heat input- calorimetry

The aim was to develop a calorimeter, to realise comparative studies on various welding processes and process conditions in defined welding positions and different joint geometries. For this purpose a difference-temperature calorimeter with water as calorimeter medium is used, see figure 1.



**Figure 1.** Calorimeter method at TU Chemnitz

**Slika 1.** Kalorimetarska metoda u TU Chemnitz

In an upwardly open, thermally insulated vessel, the welding sample is clamped at an angle. The welding torch is moved mechanized parallel to the sample surface and the water level raises simultaneous with the welding torch position. Afterwards the resulting temperature difference  $\Delta T$  before and after welding is analysed. Since all parts in the calorimeter vessel (1 ... n) absorb heat, their

Ukratko se može reći da izračunavanja vrednosti  $t_{8/5}$  prema jednačinama 1 i 2 ugrožavaju tri značajne neizvesnosti. S jedne strane, efikasnost je fiksna zavisno od postupka zavarivanja, ne uzimajući u obzir različita stanja postupka. Drugo, postoje nedefinisane varijacije u izboru faktora korekcije za oblik šava prema korisniku. Paralelno sa tim, položaj zavarivanja je potpuno zanemaren. Pored toga, merenje i izračunavanje snage zavarivanja ima veliki potencijal za greške, pri čemu su utvrđena odstupanja do 70%. Ovi izvori grešaka se suprotstavljaju tačnom predodređivanju ulazne toplote zavarivanja u komponentu. Zbog toga se u industrijskoj praksi ulazna toplota obično određuje eksperimentalno merenjem realne vrednosti  $t_{8/5}$  zasnovane na merenjima termoparom.

## 2. Tehnologije merenja

### a) Određivanje unete toplote- kalorimetrija

Cilj je bio da se razvije kalorimetar, da bi se uradile komparativne studije o raznim postupcima zavarivanja i uslovima postupka u određenim položajima zavarivanja i različite geometrije šava. U tu svrhu se koristi kalorimetar na bazi razlike temperatura sa vodom kao medijumom kalorimetra, vidi sliku 1.

U na gore otvorenoj, toplotno izolovanoj posudi, uzorak za zavarivanje je stegnut pod uglom. Pištolj za zavarivanje se pomera mehanizovano, paralelno sa površinom uzorka i nivo vode se simultano podiže sa položajem pištolja za zavarivanje. Nakon toga se analizira rezultujuća temperaturna razlika  $\Delta t$  pre i posle zavarivanja. Budući da svi delovi u kalorimetarskoj posudi (1 ... n) apsorbuju toplotu,

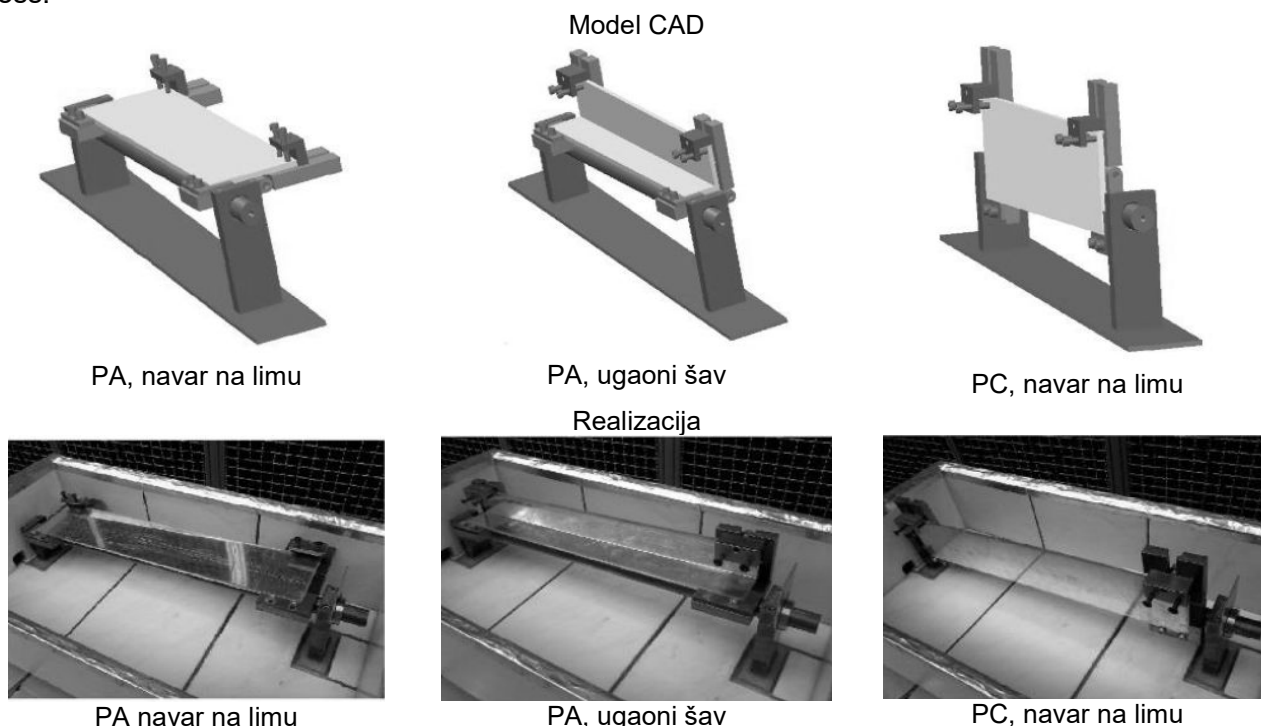
warming must be taken into account (equation 4). From the ratio of introduced amount of heat and it expended electrical work, the efficiency of the welding process is finally calculated (equation 5).

$$Q_{Cal} = \sum_1^n (m * c * \Delta T) \quad (4)$$

$$\eta_{eff} = \frac{Q_{BM} + Q_{Cal}}{P_W * t_W} = \frac{Q_{BM} + Q_{Cal}}{t_W * \frac{1}{t_E} * \int_0^{t_E} U_W * I_W * dt} \quad (5)$$

To examine various welding positions, the device is rotatable mounted (Figure 2). The rotation from position PA to PC takes place along the longitudinal axis of the weld. Basically a rotation of 360° is possible, which is reproducibly by an integrated scaling to 2° accuracy. Due to the measuring principle with a continuously rising water level the welding positions PD and PE are not feasible because the water would impede the welding process.

Radi ispitivanja različitih položaja zavarivanja, uređaj je postavljen tako da može da rotira (slika 2). Rotacija sa položaja PA na PC odvija se duž uzdužne ose šava. U osnovi je moguća rotacija 360°, što je ponovljivo integrisanom skalom do 2° preciznosti. Zbog princip merenja sa stalnim rastom nivoa vode, položaji zavarivanja PD i PE nisu mogući jer bi voda ometala proces zavarivanja



**Figure 2.** Principle of the turning and titling function  
**Slika 2.** Princip funkcije okretanja i označavanja

### b) Measurement of the cooling rate - $t_{8/5}$ -value

The measurement of the real cooling rate was carried out by thermocouples. For the welding tests K-type thermocouples ( $T = -200 \dots 1250 \text{ } ^\circ\text{C}$ , wire diameter  $2 \times 0,6 \text{ mm}$ ) were used.

Measuring the cooling rate was performed by immersing the thermocouple in the still liquid melt

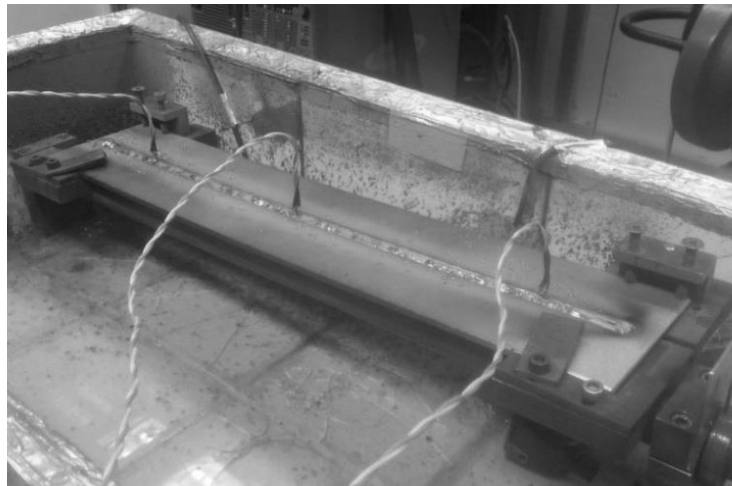
### b) Merenje brzine hlađenja- vrednosti $t_{8/5}$

Merenje realne brzine hlađenja je sprovedeno termoelementima. Kod testova za zavarivanje korišćen je K-tip termopar ( $T = -200 \dots 1250 \text{ } ^\circ\text{C}$ , prečnik žice  $2 \times 0,6 \text{ mm}$ ).

Merenje brzine hlađenja je izvedeno potapanjem termoelementa u još tečnu zavarivačku kupku,

immediately after the welding process. Since the measurement position in relation to the weld varied by the manual immersion of the thermocouples, multiple thermocouple measurements were performed per weld, as shown in Figure 3.

odmah nakon procesa zavarivanja. S obzirom da položaj merenja u odnosu na šav varira zbog ručnog uranjanje termoparova, korišćeno je više termoelemenata po šavu, kao što je prikazano na slici 3.



**Figure 3.** Positioning of the thermocouples in the weld seam  
**Slika 3.** Pozicioniranje termoparova u šav

### 3. Discussion of potentials for errors

#### a) Deviations because of the efficiency

The efficiency of welding processes is dependent on a number of process parameter and it can't be defined as a static value. For this reason adaptations of the standards are necessary.

The comparison between the actual performed work, and already published results [4] to the efficiency of for example the GTAW process gave identical statements. The average arc efficiency of the GTAW process varies around  $\eta_{\text{eff}} = 0,75$ . The arc efficiency decreases with increasing welding current, increasing electrode distance and increasing positive polarity of the electrode. By increasing the amount of inert gas or the helium content in the shielding gas, the arc efficiency of the GTAW welding process increases. Also a dependence on the base material was detected. A dependence of the absolute heat input into the component by the component thickness was not determined.

Also, the effective efficiency of the GMAW process is not a global average of  $\eta_{\text{th}} = 0,80$ , as specified in DIN EN 1011-1 [1]. Rather, a classification according to the type of arc is advisable:

- Short arc  $\eta_{\text{eff}} = 0,85$
- Pulsed arc  $\eta_{\text{eff}} = 0,77$
- Spray arc  $\eta_{\text{eff}} = 0,70$

Factors that reduce the effective efficiency are:

- Increasing the welding current
- Increasing the welding voltage

### 3. Diskusija o potencijalima za greške

#### a) Odstupanja zbog efikasnosti

Efikasnost procesa zavarivanja zavisi od broja parametara procesa i ne može se definisati kao statička vrednost. Iz tog razloga su neophodne adaptacije standarda.

Poređenje između stvarno izvedenih radova i već objavljenih rezultata [4] o efikasnosti za na primer proces TIG, dalo je identičan rezultat. Prosečna efikasnost luka kod postupka TIG je oko  $\eta_{\text{eff}} = 0,75$ . Efikasnost luka smanjuje se sa povećanjem struje zavarivanja, povećanjem rastojanja elektrode i povećanjem pozitivnog polariteta elektrode. Povećanjem količine inertnog gasa ili sadržaja helijuma u zaštitnom gasu, efikasnost luka TIG postupka zavarivanja se povećava. Takođe je otkrivena i zavisnost od osnovnog materijala. Zavisnost apsolutne količine unete toplote u komponentu za debljinu komponenta nije utvrđena.

Takođe, efektivna efikasnost postupka MIG/MAG nije globalni prosek od  $\eta_{\text{th}} = 0,80$ , kao što je navedeno u DIN EN 1011-1 [1]. Umesto toga, klasifikacija prema vrsti luka je u prednosti:

- kratak luk  $\eta_{\text{eff}} = 0,85$
- impulsni luk  $\eta_{\text{eff}} = 0,77$
- raspršeni luk  $\eta_{\text{eff}} = 0,70$

Faktori koji smanjuju efektivnu efikasnosti su:

- Povećanje struje zavarivanja
- Povećanje napona zavarivanja

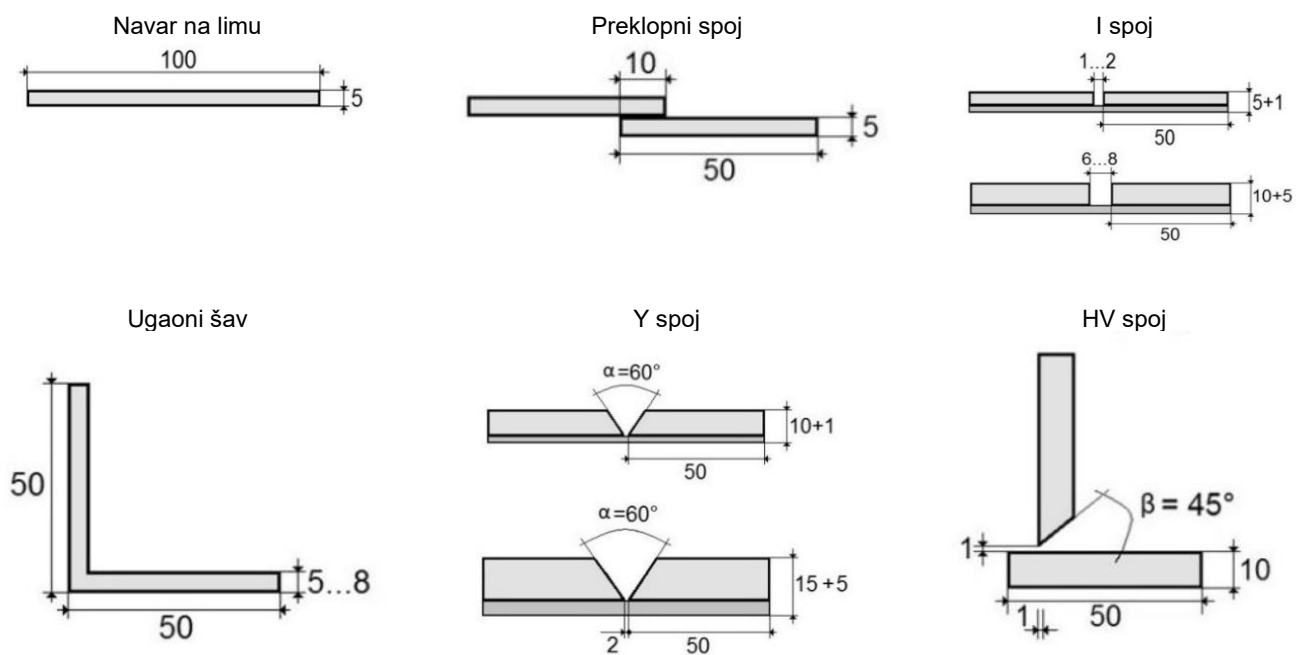
Factors that increase the effective efficiency are:

- Increasing the amount of shielding gas
- Increase in the helium or CO<sub>2</sub> content in the shielding gas
- Increase in the contact tube spacing

It was further noted that the modern heat reduced GMAW short arc processes have a slightly higher effective efficiency than classic GMAW process. However, the more decisive parameter is the required welding power, which is considerably lower in heat reduced GMAW processes. Thus the absolute heat input into the component decreases.

## b) Influence of the welding seam geometry

Within the investigations the influence of different welding seam geometries (Figure 4) the heat input of GTAW and GMAW process was analysed.



**Figure 4.** Analysed welding seam geometries

**Slika 4.** Analizirane geometrije šava

In contrast to the GTAW process is the energy transport of the GMAW process on the one hand by the welding arc as well partly direct by the short circuit and on the other hand by the molten filler material. This is why the influence of the welding seam geometry has a greater influence on the GMAW process. Figure 5 shows that the real heat input into the component can be increased up to 25% when the welding seam geometry is adjusted.

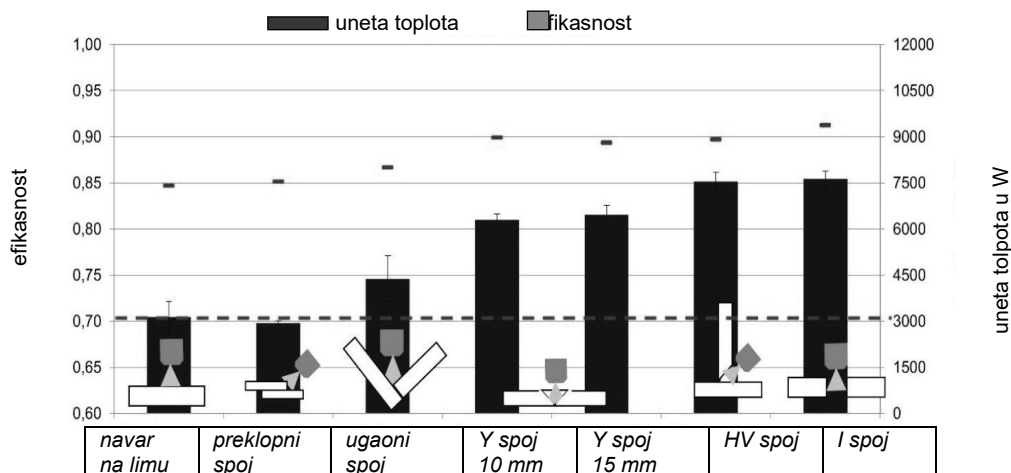
Faktori koji povećavaju efektivnu efikasnost su:

- Povećanje udela zaštitnog gasa
- Povećanje sadržaja helijuma ili CO<sub>2</sub> u zaštitnom gasu
- Povećanje razmaka kontaktne cevi

Dalje je navedeno da moderni toplotno smanjeni postupci MAG kratkim lukom imaju nešto veću efektivnu efikasnost od klasičnog MAG postupka. Međutim, parametar koji više utiče je potrebna snaga za zavarivanje, koja je znatno niža kod toplotno smanjenih MAG postupaka. Tako se smanjuje apsolutni unos toplote u komponentu.

## b) Uticaj geometrije šava

U okviru istraživanja, analiziran je uticaj različitih geometrija šava (Slika 4) na unos toplote kod TIG i MAG postupaka.



**Figure 5.** Influence of the welding seam geometry on the efficiency of GMAW

(Parameter: GMAW,  $v_{wfs} = 10$  m/min-standard arc; 15 l/min 82 %Ar 18 % CO<sub>2</sub>, distance of torch  $s = 18$  mm; G3Si1  $d = 1,2$  mm;  $vW = 70$  cm/min; BM: S235  $t = 5...15$  mm, PA-position)

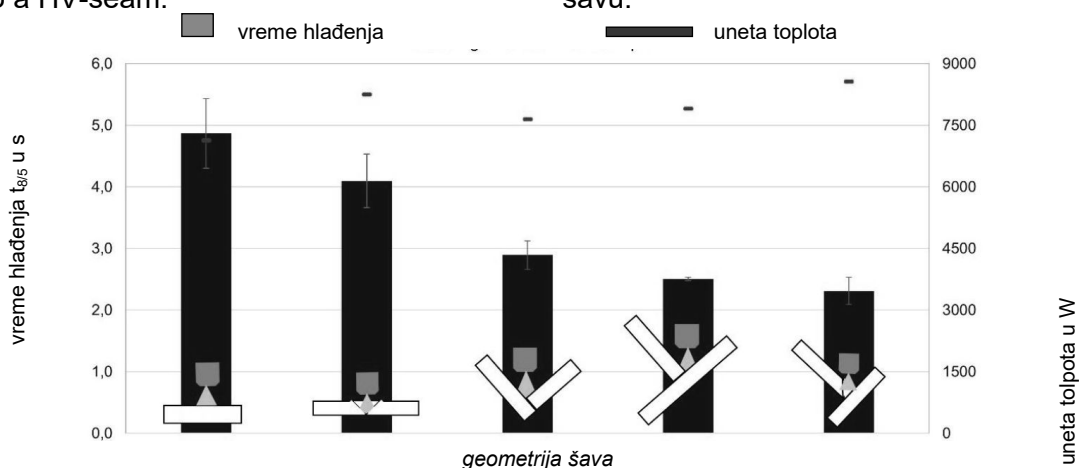
**Slika 5.** Uticaj geometrije šava na efikasnost MAG

(Parametar: MAG,  $v_{wfs} = 10$  m/min-standardni luk; 15 l/min 82 %Ar 18 % CO<sub>2</sub>, razmak pištolja  $s = 18$  mm; G3Si1  $d = 1,2$  mm;  $vW = 70$  cm/min; OM: S235  $t = 5...15$  mm, PA-položaj)

Since the welding power remains extensive unchanged, this increase must be justified by the increase in efficiency. In comparison between a bead on plate weld and a V-seam weld the efficiency in GMAW increases about 15%. This shows that increasingly more energy of the welding arc is absorbed by the weld edges in the form of thermal conduction and thermal radiation. This increase is much higher than in GTAW (about 5%). When considering (figure 6) the cooling time of different welding seam geometries the period in which the cooling from  $T = 800$  °C to  $T = 500$  °C is carried out ( $t_{8/5}$  value), reduced to less than half when the seam geometry changes from a bead on plate weld to a HV-seam.

Budući da snaga zavarivanja ostaje nepromenjeno velika, to povećanje mora biti opravdano povećanjem efikasnosti. U poređenju između navara na limu i V-šava, efikasnost kod MAG postupka se povećava za oko 15%. To pokazuje da se sve više energije od zavarivačkog luka apsorbiraju na ivicama šava u obliku toplotne provodljivosti i radijacije. Ovo povećanje je mnogo veće nego kod TIG (oko 5%).

Kada se razmatra (slika 6) vreme hlađenja različitih geometrija šava, period u kojem je završeno hlađenje od  $T = 800$  °C do  $T = 500$  °C ( $t_{8/5}$  vrednosti), smanjen je na manje od pola kada se geometrija šava menja od navara na limu ka HV-šavu.



**Figure 6.** Influence of the welding seam geometry on the cooling rate  $t_{8/5}$  of GMAW

(Parameter: GMAW,  $v_{wfs} = 10$  m/min-standard arc; 15 l/min 82 %Ar 18 % CO<sub>2</sub>, distance of torch  $s = 18$  mm; G3Si1  $d = 1,2$  mm;  $vW = 70$  cm/min; BM: S235  $t = 10$  mm, PA-position)

**Slika 6.** Uticaj geometrije šava na efikasnost MAG



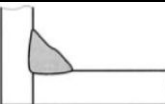
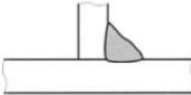
(Parametar: MAG,  $v_{wfs} = 10$  m/min-standardni luk; 15 l/min 82 %Ar 18 % CO<sub>2</sub>, razmak pištolja  $s = 18$  mm; G3Si1  $d = 1,2$  mm;  $vW = 70$  cm/min; OM: S235  $t = 5...15$  mm, PA-položaj)

Since the plate thickness and the sheet metal volume were kept constant, the different heat dissipation in the volume cannot be the cause for the faster cooling. As the results of the increased efficiency show, the change of the thermal affected surface by the different welding seam geometry is a main influence coefficient. On one hand the heat dissipation in the component can take place into several directions, on the other hand linking of the welding process toward component inside is better. This causes a reduction of the  $t_{8/5}$ -value. So for example with the Y-seam the energy can distribute better into the component inside in the comparison to the bead on plate weld, why the  $t_{8/5}$ -value is smaller.

The actual information in the standards [5] indicate for example a potential bandwidth of the form factor F2 of  $F2 = 0,67 \dots 0,90$ . As a result nobody is able to calculate the exact  $t_{8/5}$ -value. For this reason, table 2 describes a proposal for a necessary adaption of valid regulations [5] in order to achieve a simplification and systematization.

Budući da su debljine ploča i limova konstantne, različito rasipanje toplote u zapremini, ne može biti razlog za brže hlađenje. Kako rezultat povećanja efikasnosti pokazuje, promena termički pogođene površine zbog različitih geometrija šava je glavni uticajni koeficijent. S jedne strane, odvođenje toplote u komponenti može se odvijati u nekoliko pravaca, s druge strane, povezivanje procesa zavarivanja sa unutrašnjošću komponente je bolje. To uzrokuje smanjenje vrednosti  $t_{8/5}$ . Tako na primer sa Y-šavom, energija se može distribuirati bolje u unutrašnjost komponente u odnosu na navar, zbog čega je vrednost  $t_{8/5}$  manja.

Postojeće informacije u standardima [5] ukazuju na primer potencijalne propusnosti faktora oblika F2 od  $F2 = 0,67 \dots 0,90$ . Kao rezultat toga je da niko nije u stanju da izračuna tačne vrednosti  $t_{8/5}$ . Iz tog razloga, u tabeli 2 je dat predlog za potrebno prilagođavanje važećim propisima [5] kako bi se postiglo pojednostavljenje i sistematizacija.

<b>Geometrija šava</b>		<b>Faktor oblika F2 i F3</b>
<i>navar na limu</i>		1,00
<i>međusloj</i>		0,85
<i>ugaoni šav-ivica</i>		0,60
<i>ugaoni šav- T-spoj</i>		0,50

**Table 2.** Proposal for the adaption of form factors in the standard [5]

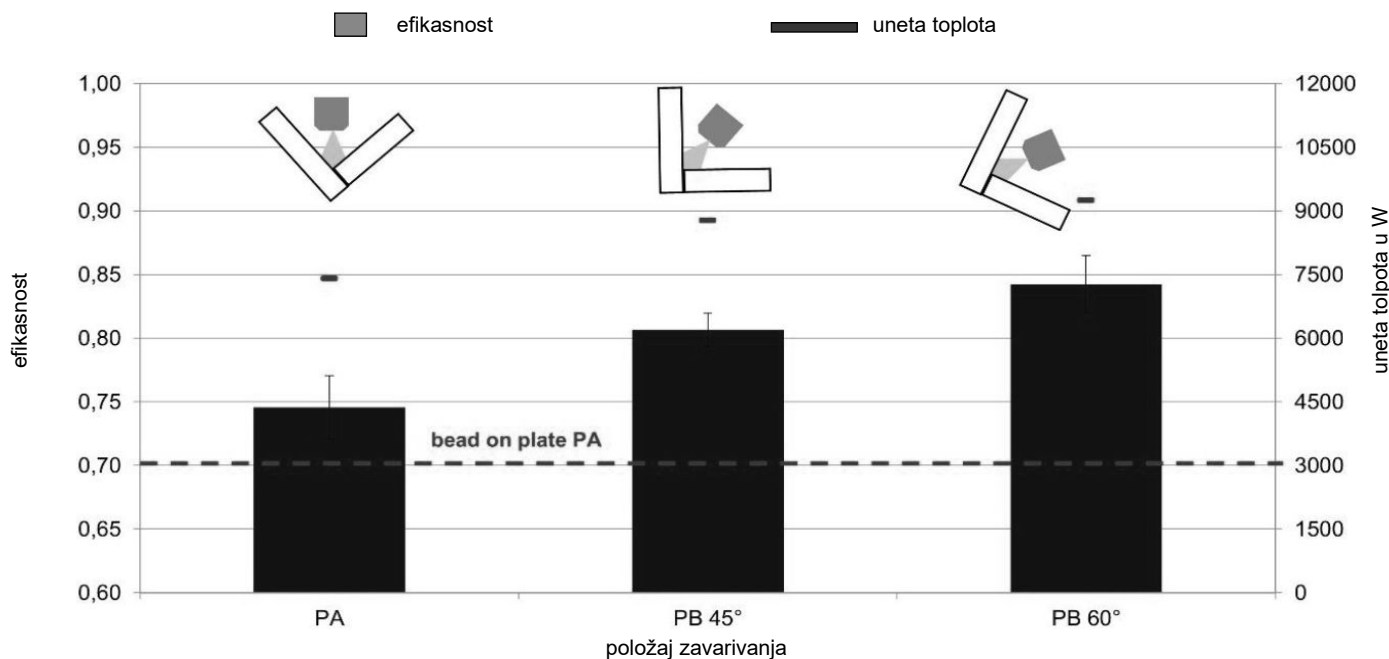
**Tabela 2.** Predlog za adaptaciju faktora oblika u standardu [5]

### c) Influence of the welding position

By changing the welding position the efficiency respectively the percentage of welding power, which is converted into real heat in the component, increases by changing the welding position from PA- to PC-position. In this specific case, the relative difference of the efficiency between the PA and PB (60°) position is more than 12%, as shown in figure 7. In GTAW this difference is about 5%.

### c) Uticaj položaja zavarivanja

Promenom položaja zavarivanja, efikasnost odnosno procenat snage zavarivanja koja se pretvara u stvarnu toplotu u komponenti, povećava se sa promenom položaja zavarivanja od PA- na PC. U ovom konkretnom slučaju, relativna razlika u efikasnosti između PA i PB (60°) položaja je više od 12%, kao što je prikazano na slici 7. Kod TIG, ova razlika je oko 5%.



**Figure 7.** Influence of the welding position on the efficiency of GMAW

(Parameter: GMAW,  $v_{wfs} = 10$  m/min-standard arc; 15 l/min 82 %Ar 18 % CO<sub>2</sub>, distance of torch  $s = 18$  mm; G3Si1  $d = 1,2$  mm;  $vW = 70$  cm/min; BM: S235  $t = 10$  mm, fillet weld- edge)

**Slika 7.** Uticaj položaja zavarivanja na efikasnost MAG

(Parametar: MAG,  $v_{wfs} = 10$  m/min-standardni luk; 15 l/min 82 %Ar 18 % CO<sub>2</sub>, razmak pištolja  $s = 18$  mm; G3Si1  $d = 1,2$  mm;  $vW = 70$  cm/min; OM: S235  $t = 5...15$  mm, ugaoni spoj-ivica)

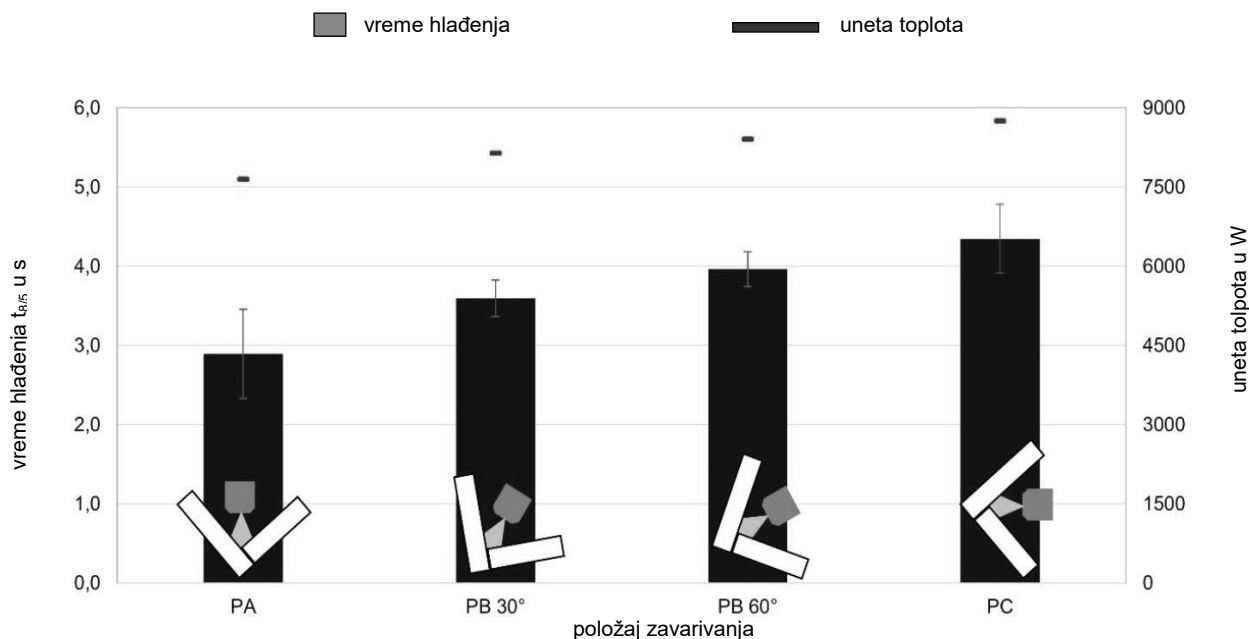
The investigations show that the ascending heat is increasingly absorbed by the component and weld flanks. In this case, the heat input in the component increases by 25%. A justification of this fact can provide the analysis of heat flow behavior on the part in various welding positions. Naturally a warm medium is moving upwards. Due to the additional gas flow of the welding process, the arc energy is transported not only in the form of radiant energy, but also bounded by the material respectively gas. Compared to the PA position the contact area between the component and heated gas increases, so more energy can be absorbed by the entire component.

Despite the unchanged component geometry and constant welding parameter, the heat input increases. Parallel the cooling time increases from  $t_{8/5} = 2,9$  s to  $t_{8/5} = 4,4$  s when the welding position changes from PA to PC-position (see figure 8). Since the heat input in the component increases by 15% parallel the cooling time increases more than 50%, it seems that the warming was locally improved. The effect is a better warming or "reheating" of the joining zone by the encapsulation of the welding process by the changed welding position.

Istraživanja pokazuju da rastuću toplotu sve više apsorbuju komponente i stranice šava. U ovom slučaju, unos toplote u komponenti povećava se za 25%. A opravdanje ove činjenice može pružiti analiza ponašanja protoka toplote kroz deo u različitim položajima zavarivanja. Naravno topli medijum se kreće uzlaznom putanjom. Zbog dodatnog protoka gasa tokom procesa zavarivanja, energija luka se prenosi ne samo u obliku zračenja, već je vezan i materijal, odnosno gas.

U poređenju sa položajem PA kontaktna površina između komponente i zagrejanog gasa se povećava, tako da više energije može se apsorbirati u celu komponentu.

Uprkos nepromijenjenoj geometriji komponente i stalnim parametrima zavarivanja, unos toplote se povećava. Paralelno se vreme hlađenja povećava od  $t_{8/5} = 2,9$  s do  $t_{8/5} = 4,4$  s, kada se položaj zavarivanja promeni od PA na PC-položaj (vidi sliku 8). S obzirom da se unos toplote u komponenti povećava za 15% paralelno se vreme hlađenja povećava više od 50%, što ukazuje da se lokalno zagrevanje poboljšalo. Efekat je bolje zagrevanje ili "dogrevanje" od zone spajanja zbog inkapsulacije zavarivanja, promenjenim položajem zavarivanja.



**Figure 8.** Influence of the welding position on the cooling rate  $t_{8/5}$  of GMAW

(Parameter: GMAW,  $v_{wfs} = 10$  m/min-standard arc; 15 l/min 82 %Ar 18 % CO<sub>2</sub>, distance of torch  $s = 18$  mm; G3Si1  $d = 1,2$  mm;  $vW = 70$  cm/min; BM: S235  $t = 10$  mm, fillet weld-edge)

**Slika 8.** Uticaj položaja zavarivanja na brzinu hlađenja  $t_{8/5}$  kod MAG

(Parametar: MAG,  $v_{wfs} = 10$  m/min-standardni luk; 15 l/min 82 %Ar 18 % CO<sub>2</sub>, razmak pištolja  $s = 18$  mm; G3Si1  $d = 1,2$  mm;  $vW = 70$  cm/min; OM: S235  $t = 5...15$  mm, ugaoni spoj- ivice)

Both in the literature and in the actual standards [5] no correction factors exist with respect to the welding position. However figure 8 illustrates that the welding position has a significant influence on the cooling time of the component. For this reason it is recommended to introduce and correction factors with respect to the welding position in addition to the correction factors with respect to the welding seam geometry. A first proposal for the necessary adaption or integration of a position factor can be seen in table 3.

I u literaturi i u važećim standardima [5] ne postoje faktori korekcije u odnosu na položaj zavarivanja. Međutim, slika 8 pokazuje da položaj zavarivanja ima značajan uticaj na vreme hlađenja komponente. Iz tog razloga se preporučuje da se uvede i korekcionni faktor u odnosu na položaj zavarivanja pored faktora korekcije u odnosu na geometriju šava. Prvi predlog za potrebnu adaptaciju ili integraciju faktora položaja se može videti u tabeli 3.

<b>Položaj zavarivanja</b>	<b>Faktor položaja</b>
PA	1,0
PB	1,3
PC	1,5

**Table 3.** Proposal for the adaption of the position factor in the standard [5]

**Tabela 3.** Predlog za adaptaciju faktora položaja u standardu [5]

#### d) Influence of Interlayers

The investigations in relation to the layer structure were carried out exclusively with the GMAW process, since hereby continuously filler material is introduced into the weld.

Figure 9 clearly shows that with increasing layer structure, in the predetermined V welding seam geometry, the efficiency and thus the proportion of welding power, which is converted into heat in the

#### d) Uticaj međuslojeva

Istraživanja u odnosu na strukturu sloja obavljena su isključivo sa postupkom MAG, jer je ovde primenjeno kontinuirano dodavanje dodatnog materijala u šav.

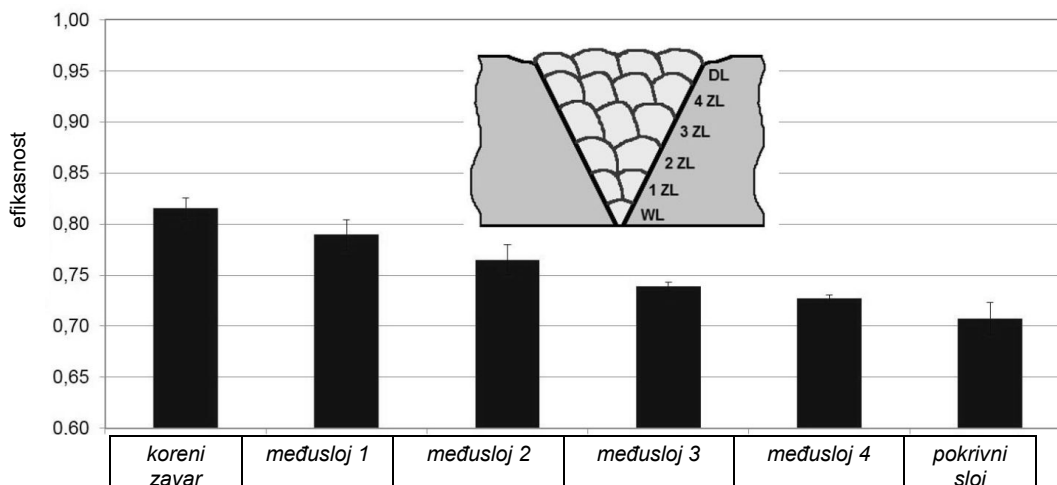
Slika 9 jasno pokazuje da se sa povećanjem slojeva, u prethodno određen V šav, smanjuje efikasnost, a time i udeo snage zavarivanja koji se pretvara u toplotu u komponenti. U poređenju

component decreases. Compared between root and top layer, the efficiency of  $\eta = 0,82$  (root pass) drops to  $\eta = 0,70$  (top layer).

This confirms the results of previous work that the thermal conduction and thermal radiation from the arc can be better absorbed by the weld edges, if this is "encapsulated" by the component or welding seam geometry. In direct comparison to the results shown in Figure 4 the root layer has the same level like the Y-shape joint ( $t = 15$  mm and  $\alpha = 60^\circ$ ), and the top layer provides identical results as the bead on plate weld.

između korena i završnog sloja, efikasnost  $\eta = 0,82$  (koreni prolaz) padne na  $\eta = 0,70$  (završni sloj).

To potvrđuje rezultate dosadašnjeg rada na tome da termička provodljivost i radijacija iz luka mogu bolje da se apsorbiraju kroz stranice šava, ako je "inkapsulirana" od strane komponente ili geometrije šava. U direktnom poređenju rezultata prikazanih na slici 4, koreni sloj ima isti nivo kao i Y-oblik spoja ( $t = 15$  mm i  $\alpha = 60^\circ$ ), a završni sloj daje identične rezultate kao navar.



**Figure 9.** Influence of the interlayer on the efficiency of GMAW

(Parameter: GMAW,  $v_{wfs} = 10$  m/min-standard arc; 15 l/min 82 %Ar 18 % CO<sub>2</sub>, distance of torch  $s = 18$  mm; G3Si1  $d = 1,2$  mm;  $v_W = 70$  cm/min; BM: S235  $t = 15$  mm, Y-shape joint  $\alpha = 60^\circ$ , PA-position)

**Slika 9.** Uticaj međusloja na efikasnost kod MAG

(Parametar: MAG,  $v_{wfs} = 10$  m/min-standardni luk; 15 l/min 82 %Ar 18 % CO<sub>2</sub>, razmak pištolja  $s = 18$  mm; G3Si1  $d = 1,2$  mm;  $v_W = 70$  cm/min; OM: S235  $t = 5...15$  mm, Y-spoj  $\alpha = 60^\circ$ , PA-položaj)

#### 4. Summary

The results show that the energy input into the component depends on a number of parameter and can be calculated only inadequately with the details of the actual standards.

Within this project practically used determination and calculation methods of welding performance were analyzed and their potential for errors determined. Deviations of up to 70% were determined. Depending on the set parameter of the welding process, deviations in efficiency of up to 20% can occur. In addition, the welding processes with non-consumable electrode have an average of 25% higher efficiency than described in the actual standards [1, 2]. Welding processes with consumable electrodes should be divided depending on the type of arc. The static value of  $\eta = 0,80$  [1, 2] should therefore be adjusted.

The welding seam geometry has a serious influence on the energy input into the component. For example when GMAW in comparison of the

#### 4. Sažeti prikaz

Rezultati pokazuju da unos energije u komponentu zavisi od većeg broja parametara i može se izračunati samo neadekvatno prema detaljima važećeg standarda.

U okviru ovog projekta praktično su korišćene metode za utvrđivanje i izračunavanje a performanse zavarivanja su analizirane i utvrđen njihov potencijal za greške. Ustanovljeno je da su odstupanja do 70%. Zavisno od seta parametara postupka zavarivanja, može doći do odstupanja u efikasnosti i do 20%. Osim toga, postupci zavarivanja sa netopivim elektrodama imaju u proseku 25% veću efikasnost nego što je opisano u važećem standardu [1, 2]. Postupci zavarivanja sa topivim elektrodama treba da budu podeljeni u zavisnosti od vrste luka. Statička vrednost  $\eta = 0,80$  [1, 2] stoga treba da bude prilagođena.

Geometrija šava ima ozbiljan uticaj na unos energije u komponentu. Na primer, kod MAG postupka u poređenju efikasnosti između navara

efficiency between a bead on plate weld  $\eta_{\text{eff}} = 0,70$  and an HV-seam  $\eta_{\text{eff}} = 0,85$ , the relative proportion of the heat input into the component increases by more than 20%. However the period in which the cooling from  $T = 800 \dots 500 \text{ }^\circ\text{C}$  is performed ( $t_{8/5}$ -value) decreases to less than half.

Regarding to the absolute heat input respectively efficiency the sheet thickness has no influence. But the sheet thickness has a significant influence on the cooling rate ( $\Delta t_{8/5} = 50\%$ ) in the considered range from  $t = 5 \dots 15 \text{ mm}$ . Then there is the factor of the welding position. By GMAW the efficiency increases about 12% when changing the welding position from PA to PC-position. In this case, the heat input in the component increases by 25%. At the same time the cooling time ( $t_{8/5}$ -value) increases by more than 50%. For this reason it is recommended to introduce and correction factors in the valid regulations [5] with respect to the welding position in addition to the correction factors with respect to the welding seam geometry.

The analysis of the layer structure in the predetermined V-shape geometry showed that the efficiency and thus the proportion of welding power, which is converted into the component, decreases.

### Acknowledgement

This work was part of research project IGF Nr. 15.749B/ DVS-Nr. 03.108 of the research coalition „Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V.“ (DVS) and was promoted by the program for industrial alliance research (IGF). The financial support by „German Federal Ministry of Research and Technology“ via the consortium „AiF“ is gratefully acknowledged.

### Literatura

- [1] DIN EN 1011-1: „Schweißen – Empfehlungen zum Schweißen metallischer Werkstoffe – Teil 1: Allgemeine Anleitungen für das Lichtbogenschweißen“
- [2] SEW 088, Beiblatt 1:1993-10: „Schweißgeeignete Feinkornbaustähle; Richtlinien für die Verarbeitung, besonders für das Schmelzschweißen“
- [3] Jaeschke, B.: DVS-Merkblatt 0973 „Übersicht der Prozessregelvarianten des MSG-Schweißens“. In: Schweißen und Schneiden 66, Heft 9 (2014), DVS Me-dia, Düsseldorf 2014.
- [4] Hälsig, A.: „Energetische Bilanzierung von Lichtbogenschweißverfahren“. In: Universitätsverlag Chemnitz, 2014, ISBN 978-3-944640-10-5

na limu  $\eta_{\text{eff}} = 0,70$  i HV-šava  $\eta_{\text{eff}} = 0,85$ , relativni udeo unete toplote u komponentu se povećava za više od 20%. Međutim, period hlađenja od  $T = 800 \dots 500 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $t_{8/5}$ -vrednosti) smanjuje se na manje od pola.

Što se tiče apsolutnog unosa toplote, debljina lima nema uticaja na efikasnost. Ali debljina lima ima značajan uticaj na brzinu hlađenja (vrednost  $\Delta t_{8/5} = 50\%$ ) u razmatranom rasponu od  $t = 5 \dots 15 \text{ mm}$ .

Zatim, tu je i faktor položaja zavarivanja. Kod MAG, efikasnost raste za oko 12% kada se menja položaj zavarivanja od PA ka PC. U ovom slučaju, unos toplote u komponenti se povećava za 25%. U isto vreme, vremena hlađenja ( $t_{8/5}$ -vrednosti) se povećavaju za više od 50%. Iz tog razloga se preporučuje da se uvede i korektivni faktor u važećim propisima [5] vezano za položaj zavarivanja pored faktora korekcije vezanih za geometriju šava.

Analiza strukture sloja u prethodno određenoj geometriji V-oblika pokazala je da se efikasnost, a time i udeo energije za zavarivanje, koji se uvodi u komponente, smanjuje.

### Zahvalnost

Ovaj rad je bio deo istraživačkog projekta IGF br. 15.749B / DVS-Nr. 03,108 istraživanja koalicije "Deutscher Verband für Schweißen und Verwandte Idite e.V." (DVS) i unapređen je programom saveza za industrijsko istraživanje (IGF). Za finansijsku podršku "Nemačkog saveznog Ministarstva za istraživanje i tehnologiju" preko konzorcijuma "AIF" izražavamo zahvalnost.

- [5] DIN EN 1011-2: „Schweißen – Empfehlungen zum Schweißen metallischer Werkstoffe – Teil 2: Lichtbogenschweißen von ferritischen Stählen“

- [6] Hälsig, A.; Kusch, M.; Mayr, P.: „Kalorimetrische Betrachtung des Energieein-trages ins Bauteil“. In: DVS Congress, Essen, DVS-Verlag, 2013, S. 353...361, DVS-Berichte Band 296, ISBN 978-3-87155-614-2



## PRIJAVA ZA UČEŠĆE NA SEMINARU

### Termička obrada čelika i zavarenih spojeva

u Institutu za standardizaciju Srbije, ul. Stevana Brakusa 2, Beograd  
05.04.2017. godine

Naziv preduzeća/institucije/firme.....

Adresa preduzeća/institucije/firme i **PIB** .....

Telefon, fax, e-mail .....

Red. br.	Ime i prezime i status učesnika (član DUZS-a; član ISS-a; član komisije za standarde i srodne dokumente Instituta; ostalo)

U .....

Dana .....

M.P. ....  
Potpis ovlašćenog lica

Molimo da popunjenu prijavu učešća pošaljete na adresu kancelarije DUZS:  
DUZS – Društvo za unapređivanje zavarivanja u Srbiji, GVOZDIĆEVA 15/4, 11000 Beograd  
e-mail: [duzs011@gmail.com](mailto:duzs011@gmail.com); [duzs@eunet.rs](mailto:duzs@eunet.rs) ili faks: 011/ 2420 652

najkasnije do 20. marta 2017. godine



## NOVI STANDARDI U OBLASTI ZAVARIVANJA U SRBIJI

Standard code	Title	Title En
pnaSRPS EN ISO 636:2016	Potrošni materijali za zavarivanje - Šipke, žice i depoziti za TIG zavarivanje nelegiranih i fino-zrnih čelika - Klasifikacija	Welding consumables - Rods, wires and deposits for tungsten inert gas welding of non-alloy and fine-grain steels - Classification
prSRPS EN ISO 1071:2016	Potrošni materijali za zavarivanje - Obložene elektrode, žice, šipke i punjene žice za zavarivanje topljenjem sivog liva - Klasifikacija	Welding consumables - Covered electrodes, wires, rods and tubular cored electrodes for fusion welding of cast iron - Classification
pnaSRPS EN ISO 2503:2012/A1:2016	Oprema za gasno zavarivanje - Regulatori pritiska i regulatori pritiska sa uređajem za merenje protoka za boce za gas koje se koriste kod zavarivanja, rezanja i srodnih postupaka do 300 bar (30 MPa)	Gas welding equipment - Pressure regulators and pressure regulators with flow-metering devices for gas cylinders used in welding, cutting and allied processes up to 300 bar (30 MPa)
prSRPS EN ISO 3834-5:2016	Zahtevi kvaliteta kod zavarivanja topljenjem metalnih materijala - Deo 5: Dokumenti sa kojima je neophodno usaglasiti tvrdnju o usaglašenosti sa zahtevima kvaliteta ISO 3834-2, ISO 3834-3 ili ISO 3834-4	Quality requirements for fusion welding of metallic materials - Part 5: Documents with which it is necessary to conform to claim conformity to the quality requirements of ISO 3834-2, ISO 3834-3 or ISO 3834-4
prSRPS EN ISO 5172:2012/A2:2016	Oprema za gasno zavarivanje - Gorionici za gasno zavarivanje, grejanje i rezanje - Specifikacije i ispitivanja	Gas welding equipment - Blowpipes for gas welding, heating and cutting - Specifications and tests
pnaSRPS EN ISO 7291:2011/A1:2016	Oprema za gasno zavarivanje - Regulatori pritiska kod centralnog razvoda gasova za zavarivanje, rezanje i srodne postupke do 30 MPa (300 bara)	Gas welding equipment - Pressure regulators for manifold systems used in welding, cutting and allied processes up to 30 MPa (300 bar)
pnaSRPS EN ISO 14172:2016	Potrošni materijali za zavarivanje — Obložene elektrode za ručno elektrolučno zavarivanje nikla i njegovih legura — Klasifikacija	Welding consumables - Covered electrodes for manual metal arc welding of nickel and nickel alloys - Classification
pnaSRPS EN ISO 17632:2016	Potrošni materijali za zavarivanje — Punjene elektrodne žice za zavarivanje sa zaštitom gasa i bez zaštite gasa nelegiranih i fino-zrnih čelika — Klasifikacija	Welding consumables - Tubular cored electrodes for gas shielded and non-gas shielded metal arc welding of non-alloy and fine grain steels - Classification
pnaSRPS EN ISO 17634:2016	Potrošni materijali za zavarivanje - Punjene žice za elektrolučno zavarivanje u zaštiti gasa vatropostojanih čelika - Klasifikacija	Welding consumables - Tubular cored electrodes for gas shielded metal arc welding of creep-resisting steels - Classification
pnaSRPS EN ISO 17658:2016	Zavarivanje - Nepravilnosti pri rezanju kiseonikom, laserskim snopom i plazmom - Terminologija	Welding - Imperfections in oxyfuel flame cuts, laser beam cuts and plasma cuts - Terminology
pnaSRPS EN ISO 18273:2016	Potrošni materijali za zavarivanje - Žičane elektrode, žice i šipke za zavarivanje aluminijuma i legura aluminijuma - Klasifikacija	Welding consumables - Wire electrodes, wires and rods for welding of aluminium and aluminium alloys - Classification



SRPS EN ISO 18278-1:2016	Elektrotopno zavarivanje – Zavarljivost - Deo 1: Ocena zavarljivosti za elektrotopno tačkasto, šavno i bradavičasto zavarivanje metalnih materijala	Resistance welding - Weldability - Part 1: General requirements for the evaluation of weldability for resistance spot, seam and projection welding of metallic materials
EN ISO 17641-2:2015	Ispitivanje sa razaranjem zavarenih spojeva na metalnim materijalima – Ispitivanje zavarenih spojeva na tople prsline – Elektrolučno zavarivanje – Deo 2: Ispitivanje samopričvršćivanjem	Destructive tests on welds in metallic materials - Hot cracking tests for weldments - Arc welding processes - Part 2: Self-restraint tests
EN ISO 17777:2016	Potrošni materijali za zavarivanje - Obložene elektrode za ručno elektrolučno zavarivanje bakra i legura bakra - Klasifikacija	Welding consumables - Covered electrodes for manual metal arc welding of copper and copper alloys - Classification
EN ISO 6848:2015	Elektrolučno zavarivanje i rezanje - Netopive volframove elektrode - Klasifikacija	Arc welding and cutting - Nonconsumable tungsten electrodes - Classification
EN ISO 14270:2016	Mere epruvete i procedura za mehanizovano ispitivanje ljuštenjem elektrotopno tačkastih, šavno i ispupčeno bradavičastih zavarenih spojeva	Resistance welding - Destructive testing of welds - Specimen dimensions and procedure for mechanized peel testing resistance spot, seam and embossed projection welds
EN ISO 14171:2016	Potrošni materijali za zavarivanje — Pune žičane elektrode, puna elektrodna žica i kombinacije elektroda/prašak za elektrolučno zavarivanje pod praškom nelegiranih i sitnozrnih čelika — Klasifikacija	Welding consumables - Solid wire electrodes, tubular cored electrodes and electrode/flux combinations for submerged arc welding of non alloy and fine grain steels - Classification
EN ISO 8430-2:2016	Elektrotopno tačkasto zavarivanje — Držači elektroda — Deo 2: Fiksiranje Morzeovog konusa	Resistance spot welding - Electrode holders - Part 2: Morse taper fixing
EN ISO 9454-1:2016	Topitelji za meko lemljenje - Klasifikacija i zahtevi - Deo 1: Klasifikacija, obeležavanje i pakovanje	Soft soldering fluxes - Classification and requirements - Part 1: Classification, labelling and packaging
EN ISO 19288:2016	Potrošni materijali za zavarivanje - Pune žičane elektrode, pune žice i šipke za zavarivanje topljenjem magnezijuma i legura magnezijuma - Klasifikacija	Welding consumables - Solid wire electrodes, solid wires and rods for fusion welding of magnesium and magnesium alloys - Classification
EN ISO 14272:2016	Mere epruvete i procedura za ispitivanje poprečnim zatezanjem elektrotopno tačkastih i ispupčeno bradavičastih zavarenih spojeva	Resistance welding - Destructive testing of welds - Specimen dimensions and procedure for cross tension testing of resistance spot and embossed projection welds
EN ISO 15012-4:2016	Zdravlje i bezbednost u zavarivanju i srodnim postupcima — Oprema za uzimanje i odvajanje dima prilikom zavarivanja - Deo 4: Opšti zahtevi	Health and safety in welding and allied processes - Equipment for capture and separation of welding fume - Part 4: General requirements



EN ISO 8430-3:2016	Elektrootporno tačkasto zavarivanje — Držači elektroda — Deo 3: Fiksiranje paralelnih držača i kraja pod pritiskom	Resistance spot welding - Electrode holders - Part 3: Parallel shank fixing for end thrust
EN ISO 9018:2015	Ispitivanje razaranjem - Ispitivanje zatezanjem krstastih i preklonih spojeva	Destructive tests on welds in metallic materials - Tensile test on cruciform and lapped joints
EN ISO 17683:2015	Brodsko i pomorska tehnologija - Keramička podloška za metalnu kupku (korena letva) za upotrebu u pomorstvu	Ships and marine technology - Ceramic weld backing for marine use
CEN ISO/TS 18166:2016	Numeričke simulacije zavarivanja - Izvođenje i dokumentovanost	Numerical welding simulation - Execution and documentation
EN ISO 9692-3:2016	Zavarivanje i srodni postupci - Tipovi spoja - Deo 3: Elektrolučno zavarivanje u zaštiti inertnih gasova i elektrolučno zavarivanje sa volframovom (tungstenovom) elektrodom u zaštiti inertnog gasa aluminijuma i njegovih legura	Welding and allied processes - Types of joint preparation - Part 3: Metal inert gas welding and tungsten inert gas welding of aluminium and its alloys
EN ISO 669:2016	Elektrootporno zavarivanje - Oprema za elektrootporno zavarivanje - Mehanički i električni zahtevi	Resistance welding - Resistance welding equipment - Mechanical and electrical requirements
EN ISO 8430-1:2016	Elektrootporno tačkasto zavarivanje — Držači elektroda — Deo 1: Fiksiranje konusa 1:10	Resistance spot welding - Electrode holders - Part 1: Taper fixing 1:10
EN ISO 9015-2:2016	Ispitivanje sa razaranjem zavarenih spojeva metalnih materijala — Ispitivanje tvrdoće — Deo 2: Ispitivanje mikrotvrdoće zavarenih spojeva	Destructive tests on welds in metallic materials - Hardness testing - Part 2: Microhardness testing of welded joints
EN ISO 18278-2:2016	Elektrootporno zavarivanje — Zavarljivost - Deo 2: Alternativna procedura za ocenu čeličnih traka za elektrootporno tačkasto zavarivanje	Resistance welding - Weldability - Part 2: Evaluation procedures for weldability in spot welding
EN ISO 3581:2016	Potrošni materijali za zavarivanje - Obložene elektrode za ručno elektrolučno zavarivanje nerđajućih i vatrootpornih čelika - Klasifikacija	Welding consumables - Covered electrodes for manual metal arc welding of stainless and heat-resisting steels - Classification
EN ISO 14273:2016	Mere epruvete i procedura za ispitivanje smicanjem elektrootporno tačkastih, šavno i ispupčeno bradavičastih zavarenih spojeva	Resistance welding - Destructive testing of welds - Specimen dimensions and procedure for tensile shear testing resistance spot and embossed projection welds
EN ISO 17916:2016	Bezbednost mašina za toplotno rezanje	Safety of thermal cutting machines
EN ISO 17662:2016	Zavarivanje - Kalibracija, verifikacija i validacija opreme koja se koristi pri zavarivanju, uključujući pomoćne aktivnosti	Welding - Calibration, verification and validation of equipment used for welding, including ancillary activities
EN ISO 15614-8:2016	Specifikacija i kvalifikacija tehnologije zavarivanja metalnih materijala - Kvalifikacija tehnologije zavarivanja - Deo 8: Zavarivanje cevi za cevnu ploču	Specification and qualification of welding procedures for metallic materials - Welding procedure test - Part 8: Welding of tubes to tube-plate joints



## KRIOGENA TERMIČKA OBRADA ČELIKA

Reč "cryogenics" je izvedena iz grčke reči Kryos (što znači hladno), i Geni (znači rođen). Cryogenics Society of America definiše kriogene temperature kao one ispod 120K (-244F, -153° C). Uopšteno govoreći, kriogeni tretman je proces izlaganja materijala temperaturama ispod nule (ispod 0° C), kako bi se poboljšao životni vek kroz morfološke promene koje se javljaju u toku tretmana.

Kriogene obrade, originalno razvijene za primenu u vazduhoplovnoj industriji, koriste se više od 30 godina radi poboljšanja svojstava metala.

Prema zakonima termodinamike, postoji ograničenje najniže temperature koja se može postići, poznat kao apsolutna nula. Molekuli su u najnižem, ali konačnom energetskom stanju na apsolutnoj nuli. Apsolutna nula je nula apsolutno ili termodinamičkog nivoa temperature. To je jednako -273,15° C. Po Kelvinoj skali kriogene regije se smatraju one ispod otprilike 120K (-153° C). Za stabilne gasove, promena tečnog gasa pri atmosferskom pritisku na temperaturi je prikazana u tabeli 1, nazvana je normalno ključanje (NBP). Takve tečnosti su poznate kao kriogene tečnosti ili kriogeni

Kriogen	(K)	(°C)	(°R)	(°F)
metan	111,7	-161,5	201,1	-258,6
kiseonik	90,2	-183,0	162,4	-297,3
azot	77,4	-195,8	139,3	-320,4
vodonik	20,3	-252,9	36,5	-423,2
helijum	4,2	-269,0	7,6	-452,1
apsolutna nula	0	-273,15	0	-459,67

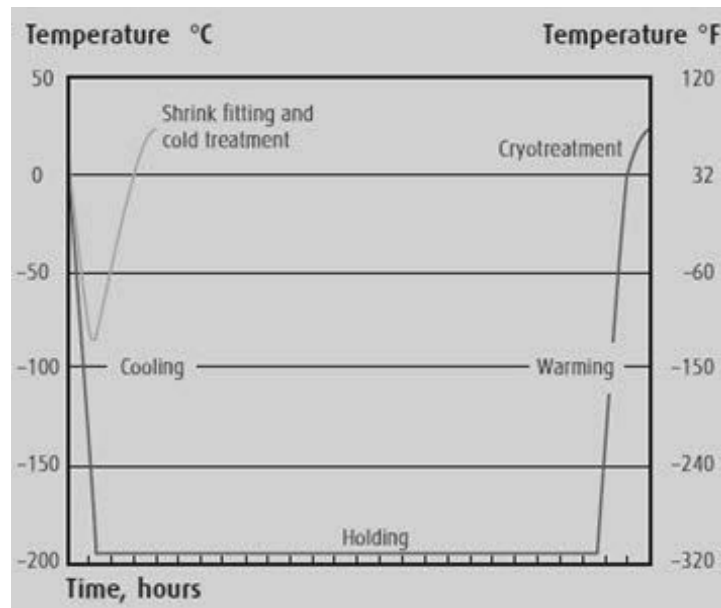
**Tabela 1:** Normalne tačke ključanja najčešćih kriogenih fluida

Hlađenje metala za poboljšanje performansi je podeljeno u dve kategorije: hladna obrada i kriogena obrada. Uobičajena praksa identifikuje -120K kao optimalnu temperaturu za hladne obrade na kojima se tretiraju delovi (potopljeni) za 1 sat po inču debljine, zatim naknadno zagrevaju na vazduhu. Tipična kriogena obrada se sastoji od sporog hlađenja od -5° C u minuti (-3° C u minuti) od ambijenta do -320K (-196° C), a držanje je 24 do 72 sata, i zagrevaju do sobne temperature. Kriogeno obrađeni delovi su potom podvrgnuti tretmanu (300-1000K ili 149° C do 538° C)

najmanje jedan sat. Brojni faktori utiču na to kako obrade ispod nule utiču na leguru. Faktori procesa poput vremena, profila temperatura, broj ponavljanja i praktičnog kaljenja, u kombinaciji s parametrima materijala pre termičke obrade i sastav legure će se izmeniti. Tabela 2 daje podatke o tri obrade na temperaturama ispod nule. Obrada ispod nule obuhvata široke kategorije podešavanja pri ugradnji, hladnu obradu i krio-obradu. Slika 1 prikazuje razlike u osnovnim procesima vezano za ciklus procesa, vremena i temperatura

Proces	Opis	Parametri	Cilj
Podešavanje na hladno	Sveukupno skupljanje metala pri hlađenju što dozvoljava podešavanje delova	-70 do -120° C dok se metal ne ohladi u potpunosti	Privremena promena veličina
Hladna obrada čelika	Kompletna martenzitna fazna transformacija	-70 do -120° C kod 1 sat po 3 cm poprečno preseka	- Transformacija zaostalog austenita u martenzit - Povećanje tvrdoće - Dimenziona stabilnost
Kriotretman čelika	Temperature kriotretmana mogu da stvore mesta za nukleaciju finih karbida koji poboljšavaju otpornost na habanje u alatnim čelicima	-135° C i niže 34 sata ili duže	Povećanje otpornosti na habanje preko taloženja karbida

**Tabela 2:** Pregled procesa obrade na temperaturama ispod nule za metale



**Slika 1:** Profil ciklusa procesa obrade ispod nule

Tabela 3 prikazuje srednju vrednost veka trajanja posebnog komada alata sa i bez koristi od obrade ispod nule. Parametar koji se zove odnos habanja, definiše se kao odnos veka trajanja posle obrade ispod nule / prosečni vek trajanja alata bez obrade ispod nule, daje meru količine poboljšanja ovim procesom.

Razlike u habanju, koje su prikazane u tabeli 3, između delova hladno tretiranih na oko  $-80^{\circ}\text{C}$  ( $-110^{\circ}\text{F}$ ), i delova kriogeno tretiranih na  $-190^{\circ}\text{C}$  ( $-310^{\circ}\text{F}$ ) pomoću tečnog azota, postavio je pitanja o uzrocima poboljšanja otpornosti na habanje.

Alat	Vek trajanja pre tretmana	Vek trajanja posle tretmana	Odnos habanja*
5 cm krajeva mlinova koji se koriste za rezanje čelika C1065	64 dela	200 delova	3,07
testere korišćene za rezanje ispupčenja na omotaču M107	4 h	6 h	1,5
zona udaraca korišćena na čaurama	64 čaure	5. 820 čaura	82,5
probojci	225 omotača	487 omotača	2,12
vrhovi za zavarivanje od otpornog bakra	2 nedelje	6 nedelja	3,0
progresivni probojci za metalne radove	40,00 udaraca	250,00 udaraca	6,25
zatvarači od termički obrađenog 4140 čelika i 1095	1.000 komada	2.000 komada	2,0
svrdlo na čeličnoj obrtnoj cevi od C1020	1.810 komada	8.602 komada	4,75
bušenje svrdlom na kovanim šipkama za povezivanje	1.500 komada	8.600 komada	5,73
T matice dobijene glodanjem od čelika C1018 sa M2 rezačima	3 bara	14 bara	4,67
AMT -38 rezne testere	60 h	928 sati	15,4

\* odnos habanja = vek trajanja posle tretmana / vek trajanja pre tretmana u tabeli 4 je pokazao upoređenje otpornosti na habanje različitih materijala posle hladne obrade i kriotretmana.

**Tabela 3:** Primeri poboljšanja veka trajanja alata korišćenjem krio-obrade



AISI	DIN	Opis materijala	Otpornost na habanje	
		Materijali koji pokazuju poboljšanje	na -79 <sup>0</sup> C [%]	na -190 <sup>0</sup> C [%]
D2		visokougličnični-hromni čelik	316	817
S7		silicijumski alatni čelik	241	503
52100		čelik za ležaje	195	420
O1		čelik za rad na hladno kaljiv u ulju	221	418
A10		grafitni alatni čelik	230	264
M1		molibdenski brzorezni čelik	145	225
H13		alatni čelik za rad na toplo	164	209
M2		volfram/molibdenski brzorezni čelik	117	203
T1		volframov brzorezni čelik	141	176
CPM 10V		legirani čelik	94	131
P20		čelik za kalupe	123	130
440		martenzitni nerđajući čelik	128	121
		Materijali bez poboljšanja		
430		feritni nerđajući čelik	116	119
303	1.4305	austenitni nerđajući čelik	105	110
8620	1.6523	naknadno otvrdnjavajući čelik	112	104
C1020	1.0402	0,20% ugljenični čelik	97	98
AQS		sivo liveno gvožđe	96	97
T2		volframov brzorezni čelik	72	92

**Tabela 4:** Procenat rasta otpornosti na habanje posle hladne obrade i krio-tretmana

Kriogeni tretman je proces naknadne termičke obrade, gde se masa proizvoda koji se tretiraju polako hladi na vrlo niskim temperaturama, obično temperaturama tečnog azota, potom se drže na toj temperaturi određeni vremenski period i zagrevaju nazad na sobnu temperaturu, određenom brzinom. Mehanizam za poboljšanje pripisuje se transformaciji zaostalog austenita, formiranju finih karbida i zavisi od dužine držanja. Transformacija zaostalog austenita u martenzit nije jedini razlog za produženje veka trajanja alata ali taloženje malih

fino raspršenih karbida u martenzitu je jedan u nizu važnih razloga.

Kriogeni tretman poboljšava mehanička svojstva kao što su tvrdoća, otpornost na habanje, žilavost i otpornost na zamorne prsline.

Tabela 5 sumira rezultate merenja tvrdoće materijala Vanadis 6 nakon gašenja, obradom ispod nule i otpuštanja. Tu je jasno pokazano da nakon perioda držanja ispod nule, tvrdoća stvarno raste. Nakon otpuštanja, s druge strane, tvrdoća je niža za materijal podvrgnut obradi ispod nule u nekom periodu.

Austenizing	Sub-zero processing	Tempering	Hardness		
			As-quenched	As-subzero processed	As-tempered
1000	No	2x550° C/2h	65,5	-	59,5
1000	No	2x530° C/2h		-	61
1000	-90° C/4h	2x550° C/2h		66,5	56,5
1000	-90° C/4h	2x530° C/2h		66,5	58,5
1025	No	2x550° C/2h	66	-	61
1025	No	2x530° C/2h		-	61,5
1025	-90° C/4h	2x550° C/2h		67,5	57,5
1025	-90° C/4h	2x530° C/2h		67,5	59,5
1050	No	2x550° C/2h	65,6	-	61,5
1050	No	2x530° C/2h		-	63
1050	-90° C/4h	2x550° C/2h		68	58
1050	-90° C/4h	2x530° C/2h		68	60,5
1075	No	2x550° C/2h	66	-	62
1075	No	2x530° C/2h		-	64
1075	-90° C/4h	2x550° C/2h		68	58
1075	-90° C/4h	2x530° C/2h		68	61,5

(austenitizing-austenitizacija: sub-zero processing-obrada na temperaturama ispod nule; tempering-otpuštanje; hardness-tvrdoća; as-quenched-u gašenom stanju; as- subzero processed- obrađeno na temperaturama ispod nule; as-tempered- u otpuštenom stanju)

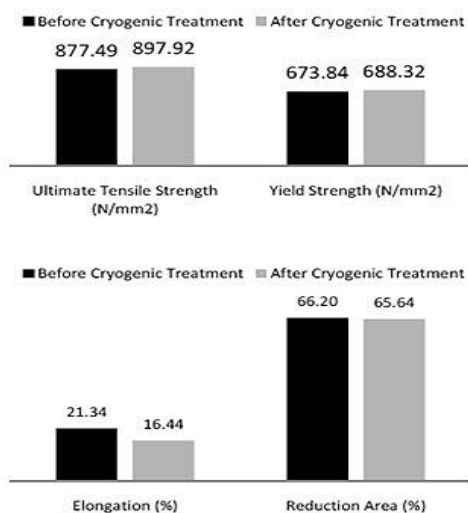
**Tabela 5:** Rezultati merenja tvrdoće čelika Vanadis 6, posle različitih stadijuma termičke obrade



U svom radu T. Nauman i dr. prikazali su istraživanje osobina nerđajućeg čelika klase 316L nakon što je bio podvrgnut dubokom kriogenom tretmanu. Epruvete i iz kriogeneo tretiranog i netretiranog materijala podvrgnute su ispitivanju zatezanjem, ispitivanju udarne žilavosti po Šarpiju, ispitivanju tvrdoće po Rokvelu, ispitivanju

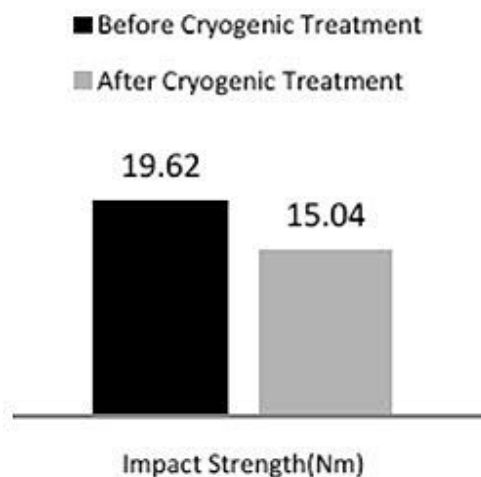
mikrostrukture i analizi procentnog udela površine smicanja i rezultati su ovde diskutovani. Oni su pokazali da kriogeni tretman povećava i zateznu čvrstoću i napon tečenja (videti slike 2 i 4).

Udarna žilavost opada što je vidljivo na slici 3 što takođe dovodi do indikacije da vrednosti tvrdoće mogu da porastu (vidi sliku 4).



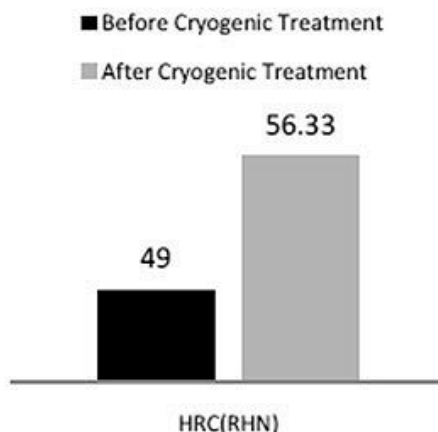
(before cryogenic treatment- pre kriogene obrade; after cryogenic treatment- posle kriogene obrade; ultimate tensile strength-zatezna čvrstoća; yield strength-napon tečenja)

**Slika 2: Rezultati ispitivanja zatezanjem**



(before cryogenic treatment- pre kriogene obrade; after cryogenic treatment- posle kriogene obrade; impact strength-udarna žilavost)

**Slika 3: Rezultati ispitivanja udarne žilavosti**

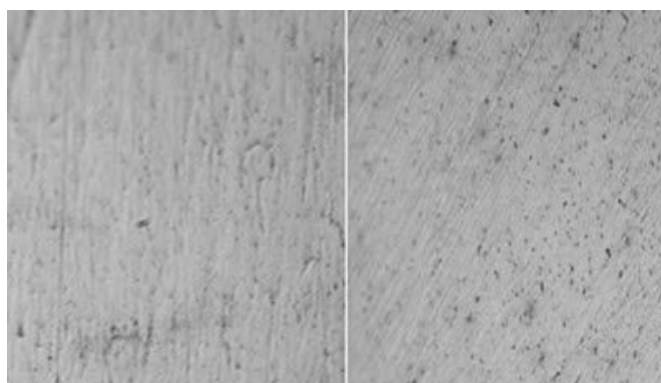


(before cryogenic treatment- pre kriogene obrade; after cryogenic treatment- posle kriogene obrade; HRC –tvrdoća po Rokvelu C)

**Slika 4: Rezultati ispitivanja tvrdoće –pregled**

Mikrostruktura pokazuje taloženje karbida duž granica zrna što se vidi na slici 5.

Ovaj efekat može da doprinese povećanju tvrdoće.



**Slika 5: Mikrostruktura pri uvećanju 100X (a) pre obrade i (b) posle obrade**

**ČASOPIS ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE****Cenovnik oglasnog prostora u četiri uzastopna broja 2017**

	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](http://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 2017**

	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**

YASKAWA SLOVENIJA

HONEX

ELIMP

MESSER TEHNOGAS

KEMPER GmbH

NEMINIK

- |  |               |
|--|---------------|
| 1. ČLANARINA DUZS za 2017. godinu .....  | 3.500 dinara  |
| Članovima DUZS <b>GRATIS</b> godišnje izdanje časopisa "ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE"                         |               |
| 2. ČASOPIS "ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE" - 2017. godina<br>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 2015. godinu .....  | 500 dinara    |
| ▪ cena pojedinačnog broja za prethodne godine.....   | 250 dinara    |
| b) beneficirane cene za članove DUZS:  |               |
| ▪ cena pojedinačnog broja za 2016. 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  |