



# ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE

---

## WELDING & WELDED STRUCTURES

God. 63 Vol. 63	Br. 3 No. 3	97-144 97-144	Beograd Belgrade	Srbija Serbia	2018. 2018.
--------------------	----------------	------------------	---------------------	------------------	----------------

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 Radomir Jovičić, dipl.ing.

Dr Bore Jegdić, dipl.ing.

Miloš Pavlović, dipl.ing.

### 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)



### 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)

CIP - Каталогизacija u publikaciji  
Narodna biblioteka Srbije, Beograd  
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 2018.

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.

3/2018

## SADRŽAJ

## CONTENTS



### NAUKA•ISTRAŽIVANJE•RAZVOJ

### SCIENCE•RESEARCH•DEVELOPMENT

101

UTICAJ TEMPERATURE IVICE ŽLJEBA I UNETE  
TOPLOTE NA STRUKTURU I TVRDOĆU ZONE  
UTICAJA TOPLOTE ZAVARENOG SPOJA ČELIKA  
P 460 NL1

THE IMPACT OF GROOVE EDGE TEMPERATURE  
AND HEAT INPUT ON THE STRUCTURE AND  
HARDNESS OF THE HEAT AFFECTED ZONE OF  
STEEL 460 NL1 WELDED JOINT

Radomir Jovičić, Simon Sedmak, Nada Ilić, Ljubica Radović, Svetlana Štrbački, Milica Antić, Zijah Burzić



### NAUKA•ISTRAŽIVANJE•RAZVOJ

### SCIENCE•RESEARCH•DEVELOPMENT

119

ZAVARIVANJE DEBELOZIDNOG ČELIKA U USKOM  
ŽLJEBU

WELDING OF THICK-WALLED STEELS IN A  
NARROW GROOVE

Jovičić, R., Pantelić N., Sedmak, S., Pavlović, D., Štrbački, Ž., Popović, O., Prokić Cvetković, R.



### OBRAZOVANJE

### EDUCATION

130

NANOŠENJE OLOVA NA UGLJENIČNI  
KONSTRUKCIONI ČELIK - POOLOVLJAVANJE  
(HOMOGENO)

APPLICATION OF LEAD TO CARBON  
CONSTRUCTION STEEL - LEAD COATING  
(HOMOGENOUS)

Mića Đorđević, Dragan Đorđević, Vladimir Đorđević



### VESTI

### NEWS

100

IN MEMORIAM – MILENKO PEROVIĆ

114

DR-ING VENCISLAV GRABULOV DOBITNIK NAGRADE ZA REGIONALNE AKTIVNOSTI IIW

116

GODIŠNJA SKUPŠTINA IIW

140

SERTIFIKACIJA OSOBLJA ZA ZAVARIVANJE

144

MARKETING

## ***Poštovani čitaoci,***

mного toga nam se uz ovaj časopis dešava po prvi put.

Jedinstveni zavarivački međunarodni događaj u Srbiji, naša konferencija, bolje rečeno, njen za zainteresovane vidljivi deo, počinje.

Upravo zato, u ovom broju počinjemo sa štampanjem radova koji su sastavni deo obe naše manifestacije, tako da će oni biti na raspolaganju i onima koji nisu u mogućnosti da budu direktno uključeni.

Nažalost, naša radost ne može da bude potpuna. Tokom avgusta ostali smo bez jednog od autora, Milenka Perovića, ali nećemo ostati uskraćeni za njegov rad, koji će biti objavljen u narednom broju.

Prvi put smo svedoci da neko iz Srbije bude laureat nagrade IIW-a. Vencislav Grabulov je na godišnjoj skupštini u Indoneziji postao vlasnik nagrade za regionalnu aktivnost IIW.

Preliminarna dozvola sertifikacionom telu –DUZS CertPers-u je dobijena. To znači da ćemo po završetku kongresa i savetovanja početi sa sertifikacijom koordinatora i inspektora zavarivanja.

Više informacija o pomenutim aktivnostima, pored radova, je na stranicama koje slede.

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



## IN MEMORIAM



MILENKO PEROVIĆ

1959 – 2018.

Rođen u Danilovgradu, Mašinski fakultet je završio u Titogradu a magistarski rad je odbranio na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu.

Milenko Perović, naš pre svega prijatelj i divni kolega, veliki poznavalac različitih tehnologija zavarivanja, je napisao doktorsku disertaciju krajem 2017-te godine pod mentorstvom prof. Sebastijana Baloša i prof. Marka Rakina. Disertacija je prošla sva predviđena Veća na Fakultetu tehničkih nauka i na Univerzitetu u Novom Sadu, tako da je bilo predviđeno da ovog septembra, Milenko disertaciju pod nazivom UTICAJ PARAMETARA ZAVARIVANJA TRENJEM MIJEŠANJEM NA OTPORNOST PREMA LOMU SUČEONOG SPOJA LEGURE ALUMINIJUMA VISOKE ČVRSTOĆE brani pred komisijom u kojoj je bilo predviđeno da osim mentora budu prof. Katarina Gerić, prof. Darko Bajić i prof. Tomaž Vuherer.

Kandidat i komisija, iz tri države koje su nekada činile jednu.

Naš Milenko je okupio Jugoslaviju u malom oko svoje disertacije.

A o boravcima u Crnoj Gori, stručnim razgovorima, izletima, druženju, moglo bi se pisati i pisati.

Marko Rakin

Upoznala sam te pre skoro tri decenije kao polaznika kursa za inženjere zavarivanja. Ono posle, bila je zavarivačka bajka.

U hodu si rešavao ogromne probleme održavanja u tvom KAP-u, a reparaturno zavarivanje je postala tvoja strast. Višestruka talentovanost istraživača, sklonost ka pisanoj reči uz izrazite govorničke sposobnosti usmerili su te na naučni rad. Kod nas, jedinstveni primer da savršeni inženjer postane dobar doktor tehničkih nauka.

Od kolege po zavarivanju do jednog od retkih pravih prijatelja, nije bilo potrebno mnogo vremena.

Radovala sam se rađanju tvojih momaka, Mirka i Boška, uživala u blistavoj odbrani tvog temeljno pripremanog magistarskog rada, smejala sam se dok smo zabavljali društvo na sajmovima, slušala tvoje mudre životne i stručne savete, žudela za novim susretima...

Tvoja želja da pomogneš i kada je pomoć nemoguća, bila je dominantna strana tvog karaktera. A takvi se izuzetno retko pojavljuju.

Tvojim bespovratnim odlaskom, otrgnut je najsjaniji biser u ogrlici mog života.

Tvoj večiti dužnik, Milica Antić



Radimir Jovičić<sup>1</sup>, Simon Sedmak<sup>1</sup>, Nada Ilić<sup>2</sup>, Ljubica Radović<sup>2</sup>, Svetlana Štrbački<sup>3</sup>, Milica Antić<sup>4</sup>, Zijah Burzić<sup>2</sup>

## UTICAJ TEMPERATURE IVICE ŽLEBA I UNETE TOPLOTE NA STRUKTURU I TVRDOĆU ZONE UTICAJA TOPLOTE ZAVARENOG SPOJA ČELIKA P 460 NL1

### THE IMPACT OF GROOVE EDGE TEMPERATURE AND HEAT INPUT ON THE STRUCTURE AND HARDNESS OF THE HEAT AFFECTED ZONE OF STEEL 460 NL1 WELDED JOINT

**Originalni naučni rad / Original scientific paper**

Rad je u izvornom obliku objavljen u Zborniku sa 4. IIW Kongresa zavarivanja Jugoistočne Evrope „Safe Welded Construction by High Quality Welding“ održanog u Beogradu 10-13. Oktobra 2018

**Rad primljen / Paper received:**

Jul 2018.

**Ključne reči:** temperatura ivica žleba, vreme hlađenja  $t_{8/5}$ , strukture, tvrdoće

#### Abstrakt

Polazne strukture i vreme hlađenja u temperaturnom intervalu 800 - 500°C ( $t_{8/5}$ ) imaju presudan uticaj na strukture i osobine zone uticaja toplote zavarenih spojeva čelika. Na vreme hlađenja  $t_{8/5}$  između ostalog, utiče i temperatura ivice žleba. Zbog zagrevanja toplotom luka temperatura ivice žleba duž spoja raste, zbog čega se vreme hlađenja zone uticaja toplote produžava. Samim tim, duž spoja se produžava i vreme hlađenja  $t_{8/5}$ . U radu su prikazani rezultati merenja temperatura ivica žleba pri zavarivanju višeproloznog sučeonog spoja mikrolegiranog čelika P 460 NL1. Određen je uticaj ovih temperatura na vremena hlađenja  $t_{8/5}$  i na makro i mikrostrukture i tvrdoće u zoni uticaja toplote ovog zavarenog spoja.

#### 1. Uvod

Odlučujući uticaj na dobijene strukture u zoni uticaja toplote (ZUT) čelika imaju njegov hemijski sastav, polazna struktura i vreme hlađenja u temperaturnom intervalu najmanje stabilnosti austenita tj. u temperaturnom intervalu 800 – 500°C. Na vreme hlađenja ZUT imaju uticaj fizičke osobine čelika, toplotna provodljivost i specifična toplota, debljina osnovnog materijala (OM), tip spoja i parametri zavarivanja, tj. temperatura OM i količina unete toplote. Sniženje temperature OM uz ivicu žleba ubrzava hlađenje ZUT i skraćuje vreme  $t_{8/5}$ . Zbog toga se, u ZUT, povećava sklonost ka obrazovanju struktura koje su sklone zakaljivanju, otežava se oslobađanje gasova iz MŠ, čime se povećava verovatnoća pojave poroznosti i povećava količina rastvorenih gasova u MŠ i ZUT,

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

<sup>1</sup>Inovacioni centar Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu, Srbija

<sup>2</sup>Vojno – tehnički institut, Beograd, Srbija

<sup>3</sup>KonMat doo, Beograd, Srbija

<sup>4</sup>Društvo za unapređenje zavarivanja u Srbiji, Beograd, Srbija

**Key words:** groove edge temperature, cooling time  $t_{8/5}$ , structure, hardness

#### Abstract

The starting structures and cooling times in the temperature range 800 - 500°C ( $t_{8/5}$ ) have a decisive influence on the structures and properties of the heat affected zone of steel welded joints. At the cooling time  $t_{8/5}$ , inter alia, the groove edge temperature has an effect. Due to heating by the electrical arc, the groove edge temperature along the joint, increases, resulting in extending of the cooling time of the heat affected zone. Therefore, the cooling time  $t_{8/5}$  is extended along the joint. The paper presents the measurement results of the groove edges temperature during the welding of the multilayer joint of the microalloyed steel P 460 NL1. The influence of these temperatures on the cooling time  $t_{8/5}$  and on the macro and microstructure and hardness in the heat affected zone of this welded joint was determined.

#### 1. Introduction

The decisive influence on the obtained structures in the heat-affected zone (HAZ) of steel has its chemical composition, the starting structure and the cooling time in the temperature interval of at least the austenite stability, i.e. in a temperature range of 800-500 °C. At the HAZ cooling time, influences physical properties of the steel, the thermal conductivity and the specific heat, the thickness of the base material (BM), the type of joints and the welding parameters, i.e. BM temperature and amount of heat input. Lowering the BM temperature along the groove edge accelerates the cooling of the HAZ and shortens the time  $t_{8/5}$ . Therefore, in the HAZ, the possibility to form structures that are prone to quenching increases, the release of gases from the WM is complicated, which što je



naročito važno kada je u pitanju vodonik. Takođe, zbog povećanja temperaturnog gradijenta, povećavaju se zaostali naponi. Sve ovo utiče na povećanje sklonosti zavarenih spojeva ka pojavi hladnih prslina [1, 2]. Povećanje temperature OM uz ivicu žleba dovodi do povećanja udela OM u sastavu MŠ, zatim do širenja ZUT, do širenja krupnozno delu ZUT i do rasta zrna u ZUT, što ima za posledicu pad mehaničkih osobina u ovom delu spoja [3].

Željene strukture i osobine ZUT, kod zavarivanog čelika, se mogu dobiti samo pri odgovarajućem vremenu hlađenja  $t_{8/5}$ . Vežu između struktura ZUT i vremena  $t_{8/5}$  daju TTT dijagrami izrađeni za uslove zavarivanja. Zadato vreme  $t_{8/5}$ , za određeni čelik, se postiže unosom odgovarajuće količine toplote ( $Q$ ) pri određenoj temperaturi ivice žleba. Usled zagrevanja OM toplotom luka temperatura ivice žleba i njegove okoline duž spoja raste, zbog čega se vreme  $t_{8/5}$ , duž spoja produžava. Prema tome, da bi se u realnim uslovima, u ZUT dobile željene strukture potrebno je odrediti dijapazon vremena hlađenja  $t_{8/5}$ , koji ima donju i gornju graničnu vrednost [4]. Ovo je naročito važno kada se zavaruju čelici koji se proizvode u uslovima precizno vođenih režima termomehaničke obrade.

## 2. Vreme hlađenja $t_{8/5}$ i temperatura ivice žleba

Postupak za određivanje vremena hlađenja  $t_{8/5}$  je opisan u literaturi [5]. Prvi korak u proračunu je određivanje potrebne temperature predgrevanja ( $T_p$ ) i međuprolazne temperature ( $T_{mp}$ ) u uslovima u kojima se zavaruje određeni spoj. U eksperimentalnom delu ovog rada predviđeno je da ispitni spoj bude sučeoni spoj zavaren na čeliku P 460 NL1, debljine 14mm. Hemijski sastav korišćene šarže čelika je dat u tabeli 1. Za zavarivanje su odabrani MAG postupak, zaštitni gas mešavina 82% Ar – 18% CO<sub>2</sub> i dodatni materijal (DM) G46 4M/C G4Si1 (EN ISO 14341-A) prečnika 1,2 mm.

which is especially important when it connected to hydrogen. Also, due to an increase in the temperature gradient, the residual stresses increase. All that affects the increase in the tendency of welded joints to the appearance of cold cracks [1,2]. Increasing the BM temperature along the groove edge, leads to an increase in the proportion of BM in the composition of WM, then to the spread of HAZ, to the spread of the coarse-grain part of HAZ and to the grain growth in HAZ, resulting in a drop in mechanical properties in this part of the joint [3]. Preferred structures and properties of HAZ, for welded steel, can be obtained only at the appropriate cooling time  $t_{8/5}$ . The connection between the HAZ structures and the time  $t_{8/5}$  permits TTT diagrams designed for welding conditions. The given time  $t_{8/5}$  for certain steel is achieved by the appropriate heat input ( $Q$ ) at a certain temperature of the groove edge. Due to the heating of the BM by the heat of electrical arc, the temperature of the groove edge and its surroundings along joint is increased, which causes that time  $t_{8/5}$  along joint be extended. Therefore, in order to obtain the desired structures in the HAZ, in real terms, it is necessary to determine the slope of cooling time  $t_{8/5}$ , which has a lower and upper limit value [4]. This is especially important during welding of steels which are produced under the conditions of precisely controlled thermo-mechanical treatment.

## 2. Cooling time $t_{8/5}$ and groove edge temperature

The procedure for determining the cooling time  $t_{8/5}$  is described in the literature [5]. The first step in calculation is to determine the required preheating temperature ( $T_p$ ) and the interpass temperature ( $T_i$ ) in the conditions in which a particular joint is welded. In the experimental part of this paper, it is anticipated that the test joint is a welded joint of steel P 460 NL1, thickness of 14 mm. The chemical composition of used steel batch is given in Table 1. For welding process, GMAW process, the protective gas mixture 82% Ar-18% CO<sub>2</sub> and filler material (FM) G46 4M / C G4Si1 (EN ISO 14341-A) with diameter of 1,2 mm are selected.

increases the likelihood of porosity and increases the amount of dissolved gases in the MW and HAZ,

Element	C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Ni
%	0,160	0,390	1,420	0,007	0,003	0,031	0,04	0,670
Element	Mo	Cu	V	Nb	Ti	B	N	-
%	0,008	0,093	0,098	0,038	0,03	0,0003	0,0055	

**Table 1.** Chemical composition of the base material

**Tabela 1.** Hemijski sastav osnovnog materijala



Jednačine i podaci potrebni za proračun  $T_p$  i  $T_{mp}$ , kao i njihove izračunate vrednosti za navedeni spoj, su dati u tabeli 2. Parametar CET je izračunat na osnovu jednačine 2 iz tabele 2. i podataka iz tabele 1. Parametar  $T_{pQ}$  je izračunat na osnovu očekivanih količina unete toplote za koreni zavar i zavare popune, tabela 3. Količine unete toplote su izračunate iz jednačine 5, tabela 2. i parametara za zavarivanje, tabela 3. Iz tabele 2. se vidi da se parametar  $T_{pQ}$  razlikuje za koreni i zavare popune, zbog čega se razlikuju  $T_p$  i  $T_{mp}$ , ali ne značajno.

The equations and data required for  $T_p$  and  $T_i$  calculation, as well as their calculated values for given joint, are presented in table 2. CET parameter is calculated on the basis of the equation 2 in table 2 and the data in table 1.  $T_{pQ}$  parameter is calculated on the basis of the expected heat input for root and other weld runs, table 3. Quantities of heat inputs are calculated from equation 5, table 2 and welding parameters, table 3. From table 2 it can be seen that  $T_{pQ}$  parameter is different for the root and other weld runs, and because of that,  $T_p$  and  $T_i$  differentiate, but not significantly.

		Jednačine	Parametri	Temp. °C
1	$T_{pCET}$	$T_{pCET} = 750 \cdot CET - 150$		+ 95,3
2	CET	$CET = C + (Mn + Mo)/10 + (Cr + Cu)/20 + Ni/40$ (%)	CET = 0,327	
3	$T_{pd}$	$T_{pd} = 160 \cdot \tanh(d/35) - 110$	d = 14 mm	- 49,2
4	$T_{pHD}$	$T_{pHD} = 62 \cdot HD^{0,35} - 100$	HD = 5 ml/100 gr	+ 8,9
5	Q	$Q = \eta \cdot I \cdot U / (v_z \cdot 1000)$ [KJ/mm]	$\eta = 0,8$ ; I [A]; U [V]; $v_z$ [mm/sec]	
6	$T_{pQ}$ – koren	$T_{pQ} = (53 \cdot CET - 32) Q - 53 \cdot CET + 32$	Q = 1,25 KJ/mm	- 3,6
7	<b><math>T_p</math> - koren</b>	$T_p = T_{pCET} + T_{pd} + T_{pHD} + T_{pQ}$	-	<b>51,4</b>
8	$T_{pQ}$ - popuna	$T_{pQ} = (53 \cdot CET - 32) Q - 53 \cdot CET + 32$	Q = 1,32 KJ/mm	- 4,7
9	<b><math>T_p</math> - popuna</b>	$T_p = T_{pCET} + T_{pd} + T_{pHD} + T_{pQ}$	-	<b>50,3</b>

**Table 2.** Calculation of preheating temperature  $T_p$  and interpass temperature  $T_i$   
**Tabela 2.** Propračun temperature predgrevanja  $T_p$  i međuprolazne temperature  $T_{mp}$

		$T_p$ °C	I A	U V	$v_z$ cm/min	$v_z$ mm/sec	Q KJ/mm	$t_{8/5}$ sec
1	Root run	51	130	16,0	8,0	1,33	1,25	9,3
2	Filling runs	50	230	30,0	25,0	4,17	1,32	10,3

**Table 3.** Welding parameters, heat input and cooling time  $t_{8/5}$   
**Tabela 3.** Parametri zavarivanja, količine unete toplote i vremena hlađenja  $t_{8/5}$

Sledeći korak u određivanju vremena hlađenja  $t_{8/5}$  je određivanje prelazne debljine OM. To je debljina OM pri kojoj se odvođenje toplote menja iz dvodimenzionalnog u trodimenzionalno. Za uslove zavarivanja korenog zavara i zavara popune, u razmatranom primeru, prelazna debljina iznosi 18 mm, [5]. S obzirom da je debljina OM manja od prelazne debljine, u konkretnom slučaju se radi o dvodimenzionalnom odvođenju toplote.

Jednačina za određivanje vremena  $t_{8/5}$  za niskouglenične i mikrolegirane čelike, pri dvodimenzionalnom odvođenju toplote, [5] glasi:

$$t_{8/5} = (4300 - 4,3 T_p) \cdot 10^5 \cdot Q^2/d^2 \cdot [1/(500 - T_p)^2 - 1/(800 - T_p)^2] \cdot F_2 \text{ sec} \quad (1)$$

gde su:  $T_p$  – temperatura predgrevanja °C; Q – količina toplote unete KJ/mm; d – debljina OM mm;  $F_2$  – faktor oblika spoja.

The next step in cooling time  $t_{8/5}$  determining is the determination of BM transient thickness. This is BM thickness at which the heat transfer changes from two-dimensional to three-dimensional. For the conditions of root run and filling runs, in the considered case, transient thickness is 18 mm [5]. Since BM thickness is less than the transient thickness, in concrete case it is a two-dimensional heat transfer.

The equation for determining time  $t_{8/5}$  for low-carbon and micro-alloyed steels, in the case of two-dimensional heat transfer, [5] is:

$$t_{8/5} = (4300 - 4,3 T_p) \cdot 10^5 \cdot Q^2/d^2 \cdot [1/(500 - T_p)^2 - 1/(800 - T_p)^2] \cdot F_2 \text{ sec} \quad (1)$$

Where:  $T_p$  is the preheating temperature °C; Q - heat input KJ/mm; d - BM thickness;  $F_2$  - factor of joint shape.

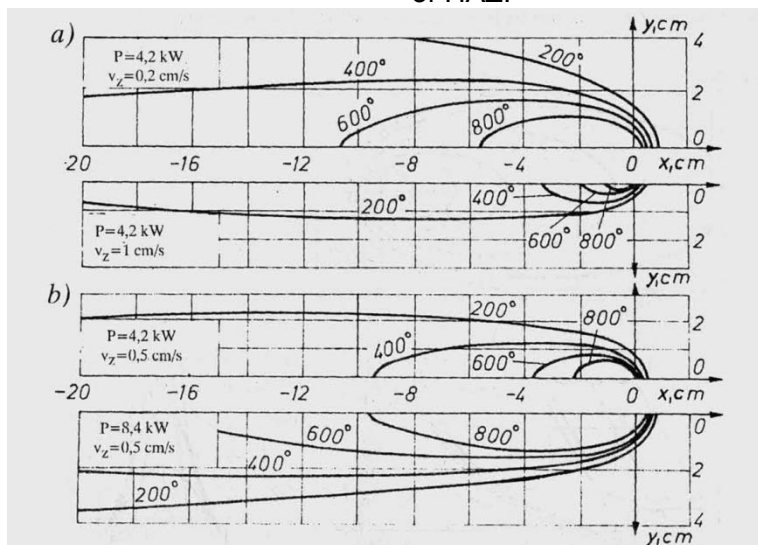


Preporučena vremena hlađenja  $t_{8/5}$ , za niskougljenične i mikrolegirane čelike u koje spada i čelik P 460 NL1, se kreću u intervalima 10 - 25 sec. [5], 15 sec [6] i 5 - 20 sec. [7]. Razlike u preporučenim vremenima hlađenja su posledica razlika u hemijskim sastavima i mikrostrukturama ispitivanih OM. Za potrebe ovog rada, kao optimalan, usvojen je raspon vremena hlađenja  $t_{8/5}$  od 10 do 20 sec. Izračunata vremena  $t_{8/5}$ , tabela 3. su na donjoj granici optimalnih vrednosti.

Rasprostiranje toplote u OM, pri elektrolučnom zavarivanju, je prikazano na slici 1. [8]. Sa slike se vidi da se raspored temperatura i oblici temperaturnih polja menjaju pri različitim snagama i brzinama kretanja luka. Sa slike se vidi i da se temperatura OM levo i desno i ispred tačke u kojoj se luk trenutno nalazi povećava i to utoliko više ukoliko je snaga luka veća, a brzina njegovog kretanja manja. Slika 1. se odnosi na uslove stacionarnog prenosa toplote. U tim uslovima je razlika u temperaturama ivice žleba i OM, duž šava konstantna, zbog čega je brzina hlađenja ZUT konstantna.

The recommended cooling times  $t_{8/5}$ , for low-carbon and micro-alloyed steel, which includes steel P 460 NL1, range from 10 to 25 sec. [5], 15 sec [6] and 5 - 20 sec. [7]. Differences in recommended cooling times are the result of differences in chemical composition and microstructure of investigated BM. For the purposes of this paper, as optimal, the cooling time range  $t_{8/5}$  of 10 to 20 sec was adopted. Calculated times  $t_{8/5}$ , table 3, and are at the lower limit of optimal values.

The spread of heat in BM, in arc welding, is shown in figure 1 [8]. The picture shows that the layout of temperatures and shapes of temperature fields change at different forces and speeds of arc moving. It can be seen from the picture that BM temperature on left and right and in front of the point, where arc is currently located, increases, and this is all the more if arc power is larger and movement speed is lower. Figure 1 refers to the conditions of stationary heat transfer. In these conditions, the temperature difference between groove edge and BM is constant; along joint is constant, which is reason for constant cooling rate of HAZ.



**Slika 1.** Raspored temperatura u OM usled zagrevanja toplotom električnog luka, pri različitim parametrima zavarivanja

**Figure 1.** Temperature distribution in the BM due to heating by an electric arc, for different welding parameters

Na počecima zavara vladaju nestacionarni uslovi prenosa toplote. Osnovni materijal je hladniji nego na delu spoja gde vladaju stacionarni uslovi. Zbog toga je na počecima zavara brzina hlađenja ZUT veća nego na delovima zavara gde vladaju stacionarni uslovi. Sa povećanjem dužine spoja, toplota luka sve više zagreva OM, zbog čega raste njegova temperatura [3]. Ona, nakon određene dužine spoja, dostiže veličinu koju ima na delu spoja gde vladaju stacionarni uslovi.

At beginning of runs, unsteady conditions of heat transfer are governed. Base material is colder than part of the joint where the stationary conditions prevail. Therefore, at the beginning of runs, HAZ cooling rate is higher than on runs where the stationary conditions prevail. With increasing of joint length, electrical arc is increasingly heats BM, which increases its temperature [3]. It, after a certain joint length, reaches the size equal to the part of joint where the stationary conditions prevail.



Za određivanje uticaja temperature ivice žleba na vreme hlađenja  $t_{8/5}$  može se koristiti jednačina (1), pod uslovom da se temperatura predgrevanja  $T_p$  zameni temperaturom ivice žleba. Zamena ovih temperatura je moguća s obzirom da  $T_p$ , takođe, predstavlja temperaturu ivica žleba.

Slika 1. pokazuje da su temperature ivice žleba u tački u kojoj se luk trenutno nalazi različite i da zavise od snage luka i brzine zavarivanja. Osim toga ove temperature zavise i od oblika i dimenzija žleba, toplotnih karakteristika OM, odabranog postupka zavarivanja i temperature predgrevanja. Pošto je povećanje temperature ivice žleba, usled zagrevanja toplotom luka teško precizno odrediti, da bi se utvrdilo da li je određeni spoj zavaren pri optimalnim vremenima hlađenja  $t_{8/5}$  potrebna su naknadna ispitivanja ZUT, npr. makrostrukturna i mikrostrukturna ispitivanja, merenja tvrdoća, ispitivanje žilavosti loma.

### 3. EKSPERIMENT I REZULTATI ISPITIVANJA

Za zavarivanje eksperimentalnog spoja korišćene su ploče dimenzija 500 x 200 x 14 mm od čelika P 460 NL1, tabela 1. Spoj je zavaren MAG postupkom. Korišćen je DM VAC 65 prečnika 1,2 mm, proizvođača "Elektrode Jesenice" i zaštni gas 82% Ar – 18% CO<sub>2</sub> pri protoku od 12 l/min. Karakteristike DM su date u tabelama 4. i 5. Za zavarivanje je korišćen uređaj Kemppi FastMig Pulse 350. Zavarivanje je izvedeno u V žlebu sa uglom otvora 60°, visinom zatupljenja 1 do 2 mm i razmakom u korenu 3 do 4 mm. Uslovi zavarivanja ukrućenih spojeva na konstrukcijama su simulirani zavarivanjem vertikalnih rebra na ploče, čime su u spoju, povećani zaostali naponi, slika 2.

Equation (1) can be used to determine the influence of groove edge temperature on cooling time  $t_{8/5}$ , provided that the preheating temperature  $T_p$  is replaced by groove edge temperature. Replacement of these temperatures is possible since  $T_p$  also represents the groove edges temperature. Figure 1 show that groove edges temperatures at a point of currently electrical arc is different and depend on electrical arc strength and welding speed. In addition, these temperatures also depend on shape and dimensions of groove edge, thermal characteristics of BM, selected welding process and preheating temperature. Since, the increase in the temperature of groove edge is difficult to determine precisely, caused by electrical arc heat, in order to determine whether a particular weld is welded at optimum cooling times  $t_{8/5}$ , subsequent HAZ tests are required, e.g. macro structural and microstructure tests, hardness measurements, fracture toughness testing.

### 3. EXPERIMENT AND EXAMINATION RESULTS

Plates of dimension 500 x 200 x 14 mm made of steel P 460 NL1, table 1. were used for welding the experimental joint. The joint was welded with GMAW process. Filler material DM VAC 65 with diameter of 1.2 mm, produced by "Electrodes Jesenice" and protection gas 82% Ar - 18% CO<sub>2</sub> at flow rate of 12 l/min, were used. FM characteristics are given in tables 4 and 5. For the welding, the Kemppi FastMig Pulse 350 was used. The welding was carried out on V groove with angle of 60°, and root height of 1 to 2 mm and a root gap 3 to 4 mm. The welding conditions of the stiffened joints on the structures were simulated by welding the vertical ribs onto the plates, which resulted in the increased residual stresses, figure 2.

C	Si	Mn	P	S
0,08	1,00	1,70	< 0,025	< 0,025

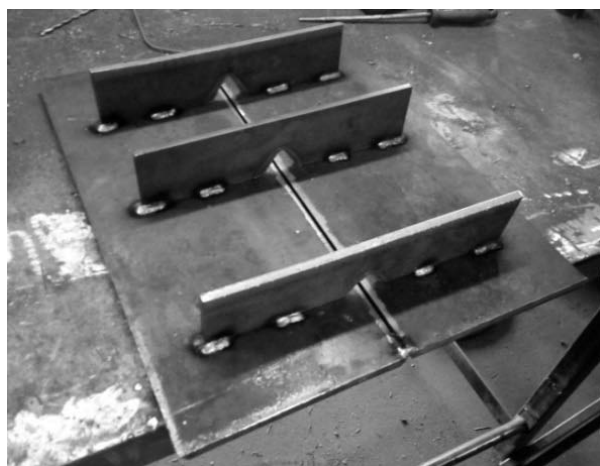
**Table 4.** Chemical composition of filler material VAC 65 (%)

**Tabela 4.** Hemijski sastav dodatnog materijala VAC 65 (%)

Yield strength $R_p$ MPa	Tensile strength $R_m$ MPa	Elongation $A_5$ %	Toughness on - 40°C $A_v$ J
> 460	560 – 690	> 22	> 47

**Table 5.** Mechanical properties of weld metal of filler material VAC 65

**Tabela 5.** Mehaničke osobine čistog metala šava dodatnog materijala VAC 65



**Figure 2.** Plate prepared for welding  
**Slika 2.** Ploča pripremljena za zavarivanje



**Figure 3.** Root run with deliberately made imperfections  
**Slika 3.** Koreni zavar sa namerno napravljenim greškama

Parametri zavarivanja eksperimentalnog spoja su dati u tabeli 6. U korenom zavaru su namerno napravljene greške, neprovareni koren na početku i na kraju spoja, slika 3. Tokom zavarivanja kontinualno su mereni jačina struje i napon pomoću uređaja Kemppi ARC Q, što je omogućilo da se precizno odredi količina unete toplote u svakom pojedinačnom zavaru. Slika 4. prikazuje raspored pojedinačnih zavara.

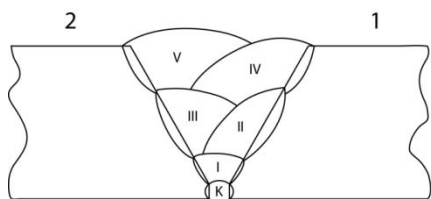
Welding parameters of the experimental joint are given in table 6. At the root run, imperfections were made intentionally, the unfused root at the beginning and at the end of the joint, figure 3. During the welding, the current and voltage were measured continuously with the Kemppi ARC Q, which enabled the precisely determining of heat input in each individual run. Figure 4 shows the schedule of individual runs.

Run	$T_p/T_{mp}$ (°C)	I (A)	U (V)	$v_z$ (mm/sec)	Q (KJ/mm)
Run	50	114	17,8	2,36	0,69
I-Fill	48	171	20,2	3,45	0,80
II-Fill	55	233	27,0	6,02	0,84
III-Fill	59	238	26,7	4,90	1,03
IV-Fill	60	237	26,2	4,24	1,17
V-Fill	50	238	25,8	4,53	1,08

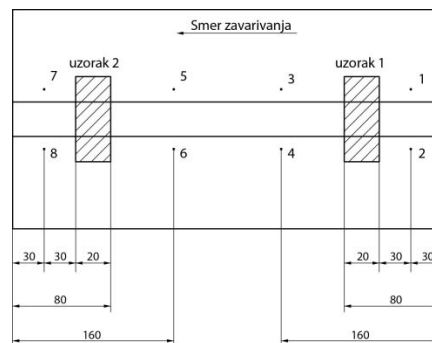
**Table 6.** Welding parameters and the heat input of the experimental joint  
**Tabela 6.** Parametri zavarivanja i količine unete toplote eksperimentalnog spoja

Tokom zavarivanja svakog zavara merene su temperature OM pored ivica žleba u tačkama 1 do 8, slika 3. Temperature su merene IC termometrom, koji je prethodno baždaren pomoću kontaktnog termometra. Iz spoja su, za ispitivanja, uzeta dva uzorka, uzorak 1. u blizini početka spoja i uzorak 2. u blizini kraja spoja, slika 5. Temperature ivica žleba na površinama ispitnih uzoraka su određene aproksimacijom pomoću temperatura izmerenih u tačkama između kojih se uzorak nalazi.

During the welding of each run, the BM temperatures were measured along the groove edges in points 1 to 8, fig. 3. The temperatures were measured with an IC thermometer, which was previously calibrated using a contact thermometer. From the joint, for testing, were taken two samples, sample, near the beginning of the joint and sample 2, near the end of the joint, figure 5. The groove edges temperatures on the test sample surfaces was determined by approximation using the temperature measured at the points between which the sample is located.



**Figure 4. Welding schedule**  
**Slika 4. Raspored zavora**



**Figure 5. Samples location 1 and 2**  
**Slika 5. Mesta uzimanja uzoraka 1. i 2.**

U tabeli 7. su, za oba uzorka, date temperature ivica žleba za pojedinačne zavare, količine unete toplote i na osnovu njih izračunata vremena  $t_{8/5}$  u ZUT svakog pojedinačnog zavora.

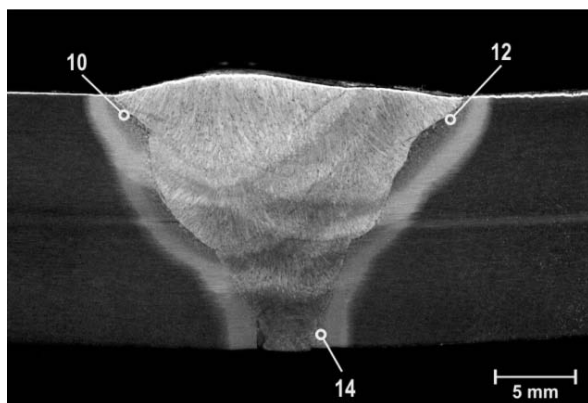
In table 7, for each sample, the groove edges temperatures for the individual runs, heat input and the basis of them calculated the time  $t_{8/5}$  in the HAZ of each individual run is given.

Run	Sample 1.			Sample 2.		
	T (°C)	Q (KJ/mm)	$t_{8/5}$ (sec.)	T (°C)	Q (KJ/mm)	$t_{8/5}$ (sec.)
Root	94	0,69	3,4	188	0,69	5,8
Fill I	105	0,80	4,9	178	0,80	7,4
Fill II	113	0,84	5,6	234	0,84	11,8
Fill III	112	1,03	8,4	269	1,03	23,3
Fill IV	110	1,17	10,8	230	1,17	22,2
Fill V	110	1,08	9,2	230	1,08	19,0

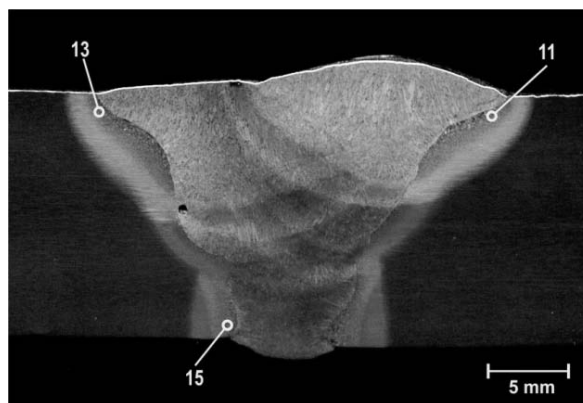
**Table 7. Groove edges temperatures and the cooling times  $t_{8/5}$  near start and end of joint**  
**Tabela 7. Temperature ivica žleba i vremena hlađenja  $t_{8/5}$  u blizini početka i kraja spoja**

Slike 6. i 7. prikazuju makrostrukture uzoraka 1. i 2. Uzorci za ispitivanje makrostrukture su pripremljeni brušenjem, a zatim su nagriženi u 3% rastvoru Nitala. Na obe slike se uočavaju greške i to, na slici 6. neprovareni koren, a na slici 7. pora u MŠ uz liniju stapanja.

Figures 6 and 7 show the macrostructure of samples 1 and 2. The samples for macrostructure testing were prepared by grinding and then etched by 3% Nital solution. In both pictures, imperfections are noticed, and in figure 6, the unfused root, and in figure 7, the pore in the WM near the fusion line.



**Figure 6. Macrostructure of sample 1.**  
**Slika 6. Makrostruktura uzorka 1.**



**Figure 7. Macrostructure of sample 2.**  
**Slika 7. Makrostruktura uzorka 2.**

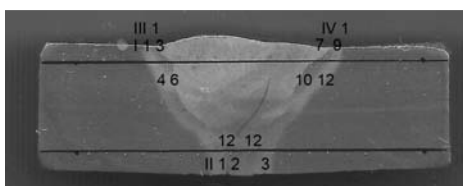


Sa slika se vidi i da je širina MŠ uzorka 2. veća od širine MŠ uzorka 1. Ovo je naročito izraženo u zoni korena spoja, gde se razlike u širinama MŠ kreću od 1,2 do 2,2 mm (30 do 50%) i lica spoja, gde se te razlike kreću od 1,8 do 3,8 mm (10 do 20%). Razlike u širinama MŠ na sredini spoja su manje i kreću se do 0,5 mm.

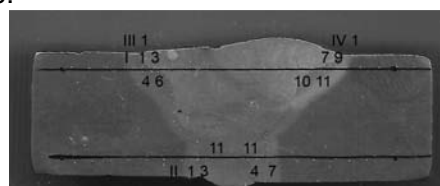
Slike pokazuju i da je širina ZUT uzorka 2. veća od širine ZUT uzorka 1. U korenog delu spoja razlika u širinama ZUT se kreće od 1,6 do 3,0 mm (60 do 100%), a u zoni lica spoja ta razlika se kreće od 1,8 do 2,4 mm (30 do 45%). Razlike u širinama ZUT oba uzorka su minimalne u sredini spoja. Sa slika se vidi i da je ZUT završnih zavara, na oba uzorka uži na površini OM nego ispod njegove površine. Širina ZUT završnih zavara je najveća na dubini 2 do 4 mm ispod površine OM. Slike pokazuju da se grubozrni ZUT, u uzorku 1., pojavljuje u ZUT završnih zavara, a u uzorku 2. i u ZUT korenog zavara. Grubozrne zone u uzorku 1. su uže, zahvataju manju površinu i prostiru se na dubini 1 do 2,5 mm. U uzorku 2. grubozrne zone uz lice spoja su šire, zahvataju veću površinu i prostiru se na dubini od 1 do 4 mm. U ZUT korena uzorka 2. grubozrni ZUT se prostire do dubine od 1 mm.

Tvrdoće su izmerene metodom Vickers, silom utiskivanja od 49N (HV5), na uređaju "Wolpert Dijatestor 2RC" [9]. Tvrdoće OM, u oba uzorka, se kreću između 190 i 210 HV 5. Tvrdoće u MŠ uzorka 1. u zoni lica spoja iznose 232 HV5, a u zoni korena spoja 210 HV5. Tvrdoće MŠ uzorka 2. se kreću između 232 i 257 HV5 u zoni lica spoja i oko 232 HV5 u zoni korena spoja. Tvrdoće u ZUT su date u tabelama 8. i 9. Zatamnjene cifre predstavljaju tvrdoće izmerene na linijama stapanja ili u njihovoj neposrednoj blizini u ZUT. Na slikama 8. i 9. prikazan je raspored mesta merenja tvrdoća u ZUT oba uzorka.

The picture shows that the width of the WM of the sample 2 is larger than the width of the WM of sample 1. This is especially expressed in the root zone of the joint, where the differences in the widths of the WM range from 1.2 to 2.2 mm (30 to 50%) and joint faces, where these differences range from 1.8 to 3.8 mm (10 to 20%). The differences in the widths of the WM in the middle of the joint are smaller and range up to 0.5 mm. The pictures also show that the width of the HAZ of the sample 2 is greater than the sample 1. At the root of the joint, the difference in the widths of the HAZ ranges from 1.6 to 3.0 mm (60 to 100%), and in the face joint, the difference is ranges from 1.8 to 2.4 mm (30 to 45%). The differences in the widths of the HAZ are both minimal in the middle of the joint. From the pictures it can be seen that the HAZ of the final runs, on both samples, is narrower on the surface of the BM, than below its surface. The width of the final runs HAZ is the largest at a depth of 2 to 4 mm below the BM surface. The images show that coarse-grained HAZ, in sample 1, appears in HAZ of final runs, and in sample 2 it appears in final runs HAZ and in root runs HAZ, also. The coarse zones in the sample 1 are narrow; they engage in a smaller surface and extend at a depth of 1 to 2.5 mm. In the sample of the coarse-grained zone 2, the joints are wider; they cover a larger surface and extend at a depth of 1 to 4 mm. In the roots HAZ of the sample 2 coarse HAZ extends to a depth of 1 mm. The hardness was measured by the Vickers method, by injection force of 49N (HV5) on the "Wolpert Dijatestor 2RC" [9]. The hardness of the BM in both samples ranges between 190 and 210 HV 5. The hardness in the WM of sample 1. In the face zone of joint is 232 HV5, and in the root zone of the joint is 210 HV5. The WM hardness of the sample 2. ranges between 232 and 257 HV5 in the face zone and about 232 HV5 in the root zone of the joint. Hardness in HAZ is given in tables 8 and 9. Dimming digits represent the hardness measured on the fusion lines or in their immediate vicinity in the HAZ. Figures 8 and 9 shows the layout of the hardness measurement point in the HAZ of both samples.



**Figure 8.** Schedule of hardness measuring point 1  
**Slika 8.** Raspored mesta merenja tvrdoća 1.



**Figure 9.** Schedule of hardness measuring point 2  
**Slika 9.** Raspored mesta merenja tvrdoća 2.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I	257	313	<b>353</b>	257	328	<b>286</b>	<b>336</b>	353	262	<b>371</b>	345	321
II	257	<b>257</b>	<b>321</b>									
III	<b>353</b>	<b>362</b>	<b>321</b>	<b>286</b>	<b>321</b>	<b>286</b>	<b>321</b>	<b>286</b>	<b>321</b>	<b>257</b>	<b>286</b>	<b>257</b>
IV	<b>321</b>	<b>362</b>	<b>362</b>	<b>362</b>	<b>321</b>	<b>286</b>	<b>362</b>	<b>286</b>	<b>286</b>	<b>257</b>	<b>286</b>	<b>321</b>

**Table 8.** HAZ sample 1. Hardness measurement results (HV 5)

**Tabela 8.** Rezultati merenja tvrdoća u ZUT uzorka 1. (HV 5)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
I	274	313	<b>293</b>	290	321	<b>358</b>	<b>299</b>	366	345	<b>362</b>	386
II	257	286	<b>286</b>	<b>257</b>	286	286	232				
III	<b>293</b>	<b>358</b>	<b>321</b>	<b>321</b>	<b>286</b>	<b>257</b>	<b>286</b>	<b>286</b>	<b>257</b>	<b>257</b>	<b>286</b>
IV	<b>336</b>	<b>362</b>	<b>362</b>	<b>321</b>	<b>286</b>	<b>286</b>	<b>286</b>	<b>210</b>	<b>286</b>	<b>257</b>	<b>257</b>

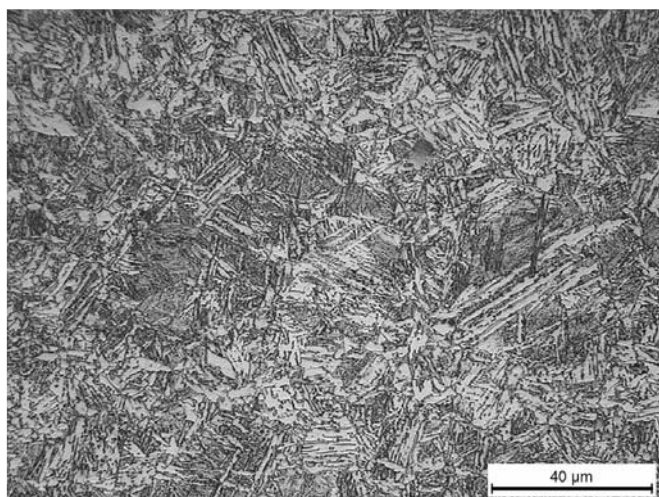
**Table 9.** HAZ sample 2. Hardness measurement results (HV 5)

**Tabela 9.** Rezultati merenja tvrdoća u ZUT uzorka 2. (HV 5)

Sa slika i iz tabela se vidi da su, na oba uzorka, maksimalne vrednosti tvrdoća izmerene u ZUT završnih zavara (362 HV 5) i da tvrdoće ZUT opadaju od lica ka korenu spoja (362 do 260 – 280 HV 5). Ove vrednosti su praktično iste u oba uzorka.

Slike 10. do 15. prikazuju mikrostrukture u ZUT oba uzorka, koje su reprezentativne za temu ovog rada. Mikrostrukture su pregledane na metalografskom mikroskopu "Letiz" i ovde su prikazana karakteristična mesta [10]. Pozicija svakog karakterističnog mesta je označena na odgovarajućoj makrofotografiji, slike 6. i 7. Mikrostrukture su otkrivene nagrizanjem u 5% rastvoru Nitala.

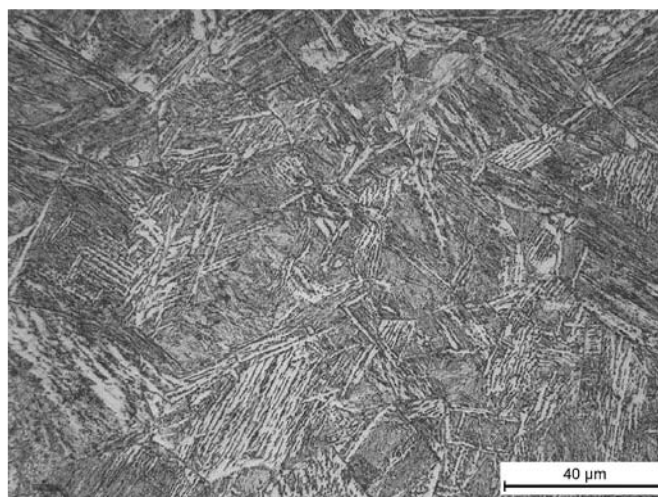
With the figures and from the table it can be seen that the maximum hardness values were measured in the HAZ of the final runs (362 HV 5) on both samples and that the HAZ hardness dropped from the face to the root of the joint (362 to 260 - 280 HV 5). These values are practically the same in both samples. Figures 10 through 15 show the microstructures in the HAZ of both samples, which are representative of the subject of this paper. The microstructures were examined on the metallographic microscope "Letiz", and characteristic sites are shown [10]. The position of each characteristic spot is indicated on the appropriate macrophotography, figures 6 and 7. Microstructures were detected by etching in a 5% Nital solution.



500 X

**Figure 10.** Sample 1, face of joint, HAZ of last run, upper bainite

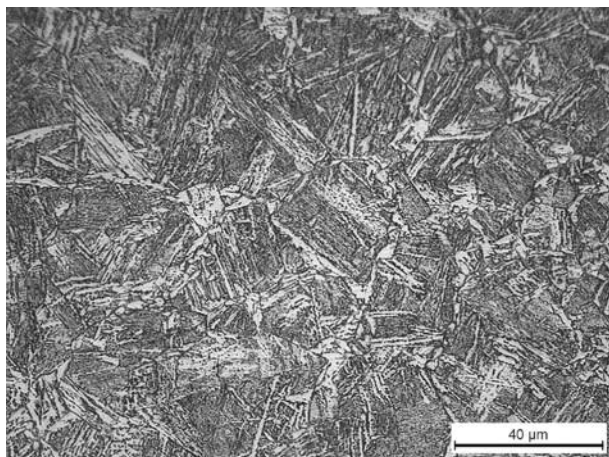
**Slika 10.** Uzorak 1., lice spoja, ZUT poslednjeg zavara, gornji beinit



500 X

**Figure 11.** Sample 2, face of joint, HAZ of last run, upper bainite

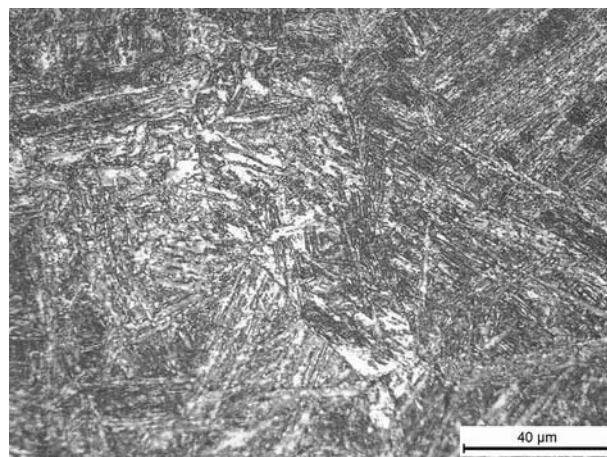
**Slika 11.** Uzorak 2., lice spoja, ZUT poslednjeg zavara, gornji beinit



500 X

**Figure 12.** Sample 1. face of joint, HAZ of before last run, upper bainite

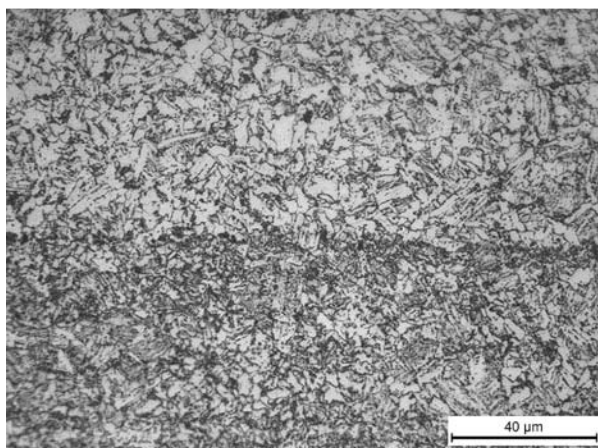
**Slika 12.** Uzorak 1. lice spoja, ZUT pretposlednjeg zavara, gornji beinit



500 X

**Figure 13.** Sample 2. face of joint, HAZ of before last run, upper bainite

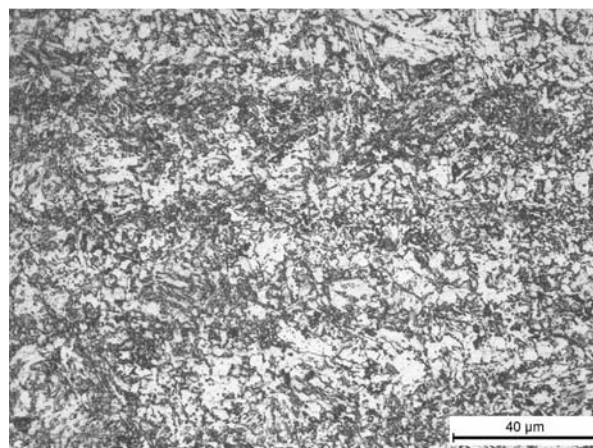
**Slika 13.** Uzorak 2. lice spoja, ZUT pretposlednjeg zavara, gornji beinit



500 X

**Figure 14.** Sample 1., HAZ of root run, grain bainite

**Slika 14.** Uzorak 1., ZUT korenog zavara, zrnasti beinit



500 X

**Figure 15.** Sample 2., HAZ of root run, grain bainite

**Slika 15.** Uzorak 2., ZUT korenog zavara, zrnasti beinit

Slike 10. do 13. prikazuju mikrostrukture grubozrnih delova ZUT završnih zavara tj. zavara lica spoja. Kod oba uzorka mikrostrukture su beinitne (gornji beinit). Mikrostruktura uzorka 2. je gruboznija i u njoj je uočeno prisustvo Widmannstattenovog ferita. Slike 14. i 15. prikazuju mikrostrukture u korenog delu ZUT. Kod oba uzorka mikrostrukture su beinitne (zrnasti beinit).

#### 4. ANALIZA REZULTATA

Svi zavari su zavareni pri praktično istoj polaznoj temperaturi, tabela 6. Vrednosti iz tabele 7. pokazuju da temperature ivica žleba duž spoja rastu. Temperature ivica žleba, pri zavarivanju pojedinih zavara kod uzorka 1., su ujednačene i kreću se oko 110°C. Kod uzorka 2. temperature ivica žleba su znatno više i neujednačenije. Tabele pokazuju da je na prvih 80 mm spoja temperatura

Figs. 10 through 13 depict the microstructures of the coarse-grained portions of the final runs HAZ, i.e. the face runs of the joint. In both samples, microstructures are bainite (upper bainite). The microstructure of the sample 2 is cruder and shows the presence of the Widmannstatten ferrite. Figures 14 and 15 show the microstructures at the root of the HAZ. In both samples, the microstructure is bainite (grain bainite).

#### 4. ANALYSIS OF RESULTS

All welds are welded at practically the same starting temperature, table 6. The values in table 7. show that the temperatures of the groove edges along the joint increase. The groove edges temperatures, when welding the individual runs in the sample 1, are uniform and range around 110°C. For the sample 2, the temperature groove edges are considerably higher and more uneven. Tables show that on the first 80 mm of the joint, the groove edge



ivice žleba rasla prosečno za 50 do 60°C. Na daljih 340 mm spoja temperatura ivice žleba, pri zavarivanju pojedinih zavara, je rasla od 2 do 2,5 puta. U odnosu na početke pojedinih zavara temperature ivice žleba uzorka 2. su veće od 3,8 do 4,5 puta.

Vrednosti iz tabele 7. pokazuju da su vremena hlađenja  $t_{8/5}$  u uzorku 1. uglavnom manja u odnosu na donju usvojenu vrednost za vreme  $t_{8/5}$  za čelik P 460 NL1. Samo u završnim zavarima vremena  $t_{8/5}$  su bliska donjoj usvojenoj vrednosti. U uzorku 2. vremena hlađenja  $t_{8/5}$  su u prvim prolazima manja od donje usvojene vrednosti, a u završnim zavarima su veća od gornje usvojene vrednosti za ovaj čelik. Da bi se vreme  $t_{8/5}$  održalo u usvojenim granicama potrebne su korekcije temperature predgrevanja i količina unete toplote za koreni zavar i prvi zavar popune i ograničenje maksimalne temperature ivice žleba.

Slike 6. i 7. pokazuju da su širine MŠ i ZUT u uzorku 2. veće nego u uzorku 1. Ovo je posledica viših temperatura ivica žleba i sporijeg hlađenja u ovom delu spoja. Pri konstantnoj količini unete toplote usporavanje hlađenja ima za posledicu povećanje dubine topljenja OM i time i povećanje dimenzija MŠ i ZUT. Ovo ima za posledicu i povećanje stepena mešanja OM i DM zbog čega se povećava udeo OM u sastavu MŠ [3]. Povećanje širine MŠ i ZUT je najveće u korenim delu spoja. I pored najmanjeg unosa toplote i najnižih temperatura ivica žleba dubina uvarivanja, u ovom delu spoja, je najveća zbog najmanje mase OM koja se zagreva toplotom luka pri zavarivanju korenog i prvog zavara popune, što je uslovljeno V oblikom žleba. Povećanja širina MŠ i ZUT su nešto manja u zoni lica spoja, a najmanja su u sredini spoja. Veće širine MŠ i ZUT u zoni lica spoja, u odnosu na sredinu spoja, su posledica većih unosa toplote i većih jačina struje pri zavarivanju poslednjih zavara.

Zone sa grubozrnom strukturom u ZUT su uočene na oba uzorka. U uzorku 1. ove zone se javljaju u ZUT završnih zavara, a u uzorku 2. i u ZUT završnih zavara i u ZUT korenih zavara. Grubozrne zone u uzorku 1. su uže, zahvataju manju površinu i prostiru se na manjoj dubini nego grubozrne zone u završnim zavarima uzorka 2. Pojava grubozrnih zona u ZUT korenog zavara uzorka 2., i veće dimenzije i krupnije zrno u grubozrnim zonama uz lice spoja ovog uzorka su posledica njegovog sporijeg hlađenja, odnosno viših temperatura ivica žleba.

Imajući u vidu heterogenost struktura ZUT [11], verovatnoća otkrivanja delova ZUT malih zapremina sa drugačijom strukturom u odnosu na

temperature increased by an average of 50 to 60 ° C. On a further 340 mm of joint, the groove edge temperature, when welding individual runs, increased from 2 to 2.5 times. In relation to the beginnings of individual runs, the groove edge temperature of the sample 2 is greater than 3.8 to 4.5 times. The values in Table 7 show that cooling times  $t_{8/5}$  in sample 1, are generally lower in relation to the lower value of adopted cooling time  $t_{8/5}$  for steel P 460 NL1. Only in the end runs, cooling times  $t_{8/5}$  are close to the lower accepted value. In the sample 2, cooling times  $t_{8/5}$  in the first passes is lower than the adopted lower value, and in the final runs, they are higher than the upper values adopted for this steel. In order to keep the cooling time  $t_{8/5}$  within the adopted limits, corrections of the preheating temperature and the heat input for the root run and the first filling run and limiting the maximum groove edge temperature is required. Figures 6 and 7 show that the widths of WM and HAZ in sample 2 are higher than in sample 1. This is due to higher groove edges temperatures and slower cooling in this part of the joint. With a constant heat input, the slowing down of cooling, results in an increase in the fusion depth of the BM and consequently an increase in the dimensions of the WM and HAZ. This also results in an increase in the degree of mixing of BM and FM, which increases the proportion of BM in the composition of the WM [3]. Increasing the width of the WM and HAZ is the largest in the root part of the joint. Despite the smallest heat input and the lowest groove edges temperatures, the depth of penetration in this part of the joint, is the greatest, because of the lowest mass of the BM which is heated by the arc during the welding of the root and the first filling run, which is conditioned in the shape of the groove. Increases in the width of the WM and HAZ are somewhat smaller in the face zone, and the smallest in the middle of the joint. The larger width of the WM and the HAZ in the face zone, in relation to the center of the joint, are due to higher heat inputs and higher current intensities in the welding of the last runs. Coarse-grained HAZ zones were observed on both samples. In sample 1, these zones appear in HAZ of final runs, and in sample 2, in HAZ of final runs and in HAZ root runs. The coarse-grained zones in the sample 1. are narrow, engage in a smaller surface and extend at a lower depth than the coarse-grained zone in the final runs of the sample 2. The appearance of coarse-grained zones in the HAZ root runs of sample 2, and larger dimensions and bigger grains in coarse-grain zones along the face of the joint of this sample, are due to



okolinu se povećava sa smanjenjem dimenzija otiska tj. sa smanjenjem opterećenja. Zbog toga su u ovom slučaju tvrdoće merene metodom Vikers malom silom utiskivanja. Ovo omogućava i povećanje učestalosti merenja što dalje povećava verovatnoću otkrivanja malih delova ZUT sa drugačijom strukturom. U oba uzorka tvrdoće su merene po linijama stapanja i u njihovoj blizini. Najveće tvrdoće (362 HV5) su izmerene u ZUT završnih zavara, u njihovim grubozrnim zonama. Idući ka korenu spoja, na oba uzorka, tvrdoće opadaju do istog nivoa (260 – 280 HV5).

Maksimalne izmerene tvrdoće, na oba uzorka, su nešto veće od maksimalne prihvatljive tvrdoće (350 HV) za nikougljenične i mikrolegirane čelike. Pri tvrdoćama većim od 350 HV, kod ovih čelika, se povećava sklonost ZUT ka pojavi hladnih prslina [2, 3]. Iz rezultata ispitivanja se vidi da promena temperature ivice žleba nije izazvala promenu u veličini maksimalne tvrdoće u ZUT, ali jeste izazvala promenu u raspodeli tvrdoća. Rezultati merenja pokazuju da su tvrdoće MŠ uzorka 2. nešto veće od tvrdoća MŠ uzorka 1. i u zoni lica i u zoni korena spoja. Prethodna razmatranja pokazuju da se u uzorku 2. može očekivati veći udeo OM u MŠ nego u uzorku 1. S obzirom da OM ima viši sadržaj C, tabela 1. u odnosu na DM, tabela 4. može se očekivati da se u MŠ uzorka 2. poveća sadržaj C što je kod niskougljeničnog MŠ praćeno povećanjem tvrdoće.

Najveća pažnja pri ispitivanju mikrostruktura je posvećena delovima ZUT uz linije stapanja. U oba uzorka, u ovim delovima ZUT struktura je grubozrna i čini je beinit. Najgrublje mikrostrukture se javljaju u blizini lica spoja, u ZUT završnih zavara. Idući ka korenu spoja oblik beinita se menja iz igličastog u zrnasti, što je posledica višestepenog otpuštanja [12]. U oba uzorka mikrostruktura se, idući od lica ka korenu spoja, menja na isti način. U grubozrnom delu ZUT uz lice spoja uzorka 2. struktura grublja, što je posledica sporijeg hlađenja. Mikrostrukturna ispitivanja pokazuju da bitnih razlika u mikrostrukturama oba uzorka nema. Ovo potvrđuju i rezultati merenja tvrdoća.

its slower cooling, or higher groove edges temperatures. Bearing in mind the heterogeneity of the HAZ structure [11], the probability of detecting parts of HAZ of small volumes with a different structure in relation to the environment increases with decreasing the size of the indentation, with reduced load. Therefore, in this case, the hardness was measured by the Vickers method with a small force of imprinting. This also allows increasing the frequency of measurement, which further increases the probability of detecting small parts of the HAZ with a different structure. Both hardness patterns were measured along the merging lines and in their vicinity. The highest hardness (362 HV5) was measured in the HAZ end runs, in their coarse zones. Further to the root of the joint, on both samples, the hardness decreases to the same level (260 - 280 HV5). The maximum measured hardness, on both samples, is slightly higher than the maximum acceptable hardness (350 HV) for low-carbon and micro-alloyed steels. For hardness greater than 350 HV, in these steels, the inclination of HAZ to appearance of cold cracks increases [2, 3]. From the results of the test, it can be seen that the change in the groove edge temperature did not cause a change in the value of the maximum hardness of HAZ, but it caused a change in the distribution of the hardness. The results of the measurement show that the hardness of the WM of the sample 2 is slightly higher than the hardness of the WM of the sample 1. both in the face zone and in the root zone of the joint. Preliminary considerations show that in sample 2. a higher proportion of BM in the WM can be expected than in sample 1. Since BM has higher content C, table 1 in relation to FM, table 4, can be expected to increase the content of C be in sample 2, which is accompanied by a hardness increasing in the low-carbon WM. The greatest attention in the microstructure testing is dedicated to the HAZ parts along the fusion line. In both samples, in these parts of the HAZ, the structure is rough and makes it bainite. The roughest microstructures occur near the face of the joint, in the HAZ end runs. Next to the root of the joint, the shape of the bainite changes from the needle to the grains, which is the consequence of the multistage annealing[12]? In both samples, the microstructure changes, in the same way, from the face to the root of the joint. In the coarse part of the HAZ, on the joint face of the sample, structure is rougher, which is a consequence of slower cooling. Microstructural testing shows that there are no significant differences in the microstructures of both samples. This is confirmed by the results of hardness measurement



## 5. Zaključci

Temperatura ivica žleba raste tokom zavarivanja zbog zagrevanja osnovnog materijala toplotom luka. Porast temperature ivice žleba usporava hlađenje zone uticaja toplote i produžava vreme hlađenja  $t_{8/5}$ . Pri izradi tehnologija zavarivanja, naročito za čelike visokih čvrstoća, potrebno je definisati minimalno i maksimalno vreme hlađenja  $t_{8/5}$  tj. potrebno je definisati dijapazon vrednosti u kojima se vreme hlađenja  $t_{8/5}$  može kretati.

Ispitivanje makrostruktura pokazuje da se širine metala šava i zone uticaja toplote, duž spoja povećavaju. Povećanje dimenzija metala šava i zone uticaja toplote su posledica usporavanja hlađenja zbog povećanja temperatura ivica žleba duž spoja. Usporavanje hlađenja ima za posledicu i povećanje dimenzija gruboznog dela zone uticaja toplote.

Rezultati merenja tvrdoća pokazuju da promena temperatura ivica žleba, duž spoja, nije uticala na promenu maksimalne vrednosti tvrdoće u zoni uticaja toplote. Najveće tvrdoće su izmerene u gruboznim zonama završnih zavara i one su bliske maksimalnim prihvatljivim vrednostima za niskougljenične i mikrolegirane čelike.

Ispitivanjem mikrostruktura, u zoni uticaja toplote, nisu otkrivene razlike u strukturama izazvane promenom vremena hlađenja  $t_{8/5}$  duž spoja. Pri svim vremenima hlađenja u gruboznom delu zone uticaja toplote se javlja beinit. Promena vremena hlađenja je uticala samo na krupnoću strukture, tako da je pri manjim brzinama hlađenja dobijen grubozniji beinit.

*Ovaj rad je proistekao iz rezultata istraživanja na projektu broj TR 35024, finansiranog od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.*

## Literature

- [1] I. Hrivnjak: *Zavarljivost čelika*, Građevinska knjiga, Beograd, 1982.
- [2] A. Radović: *Zavarljivost i ispitivanje zavarljivosti*, Monografija Mehanika loma zavarenih spojeva, Goša Institut, Tehnološko metalurški fakultet Beograd, Beograd, 1985.
- [3] H. Granjon: *Metalurške osnove varjenja*, prevod na slovenački P. Štular, Zveza društev za varilno tehniko Slovenije, Ljubljana, 1994.
- [4] R. Jovičić: Metode za izračunavanje temperatura predgrevanja pri zavarivanju čelika povišene i visoke čvrstoće, časopis *Zavarivanje i zavarene konstrukcije*, Vol 61, No 3 (2016), str. 113-119, Publisher: Serbian Welding Society, 2016.
- [5] Standard EN 1011 – 2/2007: *Zavarivanje – Preporuke za zavarivanje metalnih materijala – Deo 2: Elektrolučno zavarivanje feritnih čelika*

## 5. Conclusions

The groove edges temperature increases during welding due to heating of the base material by the heat of the electrical arc. The increase in the groove edge temperature slows down the cooling of the heat affected zone and prolongs the cooling time  $t_{8/5}$ . In the production of welding technologies, especially for high-strength steel, it is necessary to define the minimum and maximum cooling time  $t_{8/5}$ , i.e., it is necessary to define a range of values in which cooling time  $t_{8/5}$  can be. The examination of the macrostructure shows that the widths of the weld metal and the heat-affected zone, along the joint, increase. Increasing the dimensions of the weld metal and the heat-affected zone is a consequence of the cooling slowdown due to the increase in the groove edges temperature along the joint. The cooling slowdown also results in an increase in the dimensions of the coarse part of the heat-affected zone. The results of the hardness measurement show that the change in the groove edges temperature, along the joint, did not affect the change in the maximum hardness value in the heat affected zone. The highest hardness are measured in coarse zones of end runs and they are close to the maximum acceptable values for low-carbon and micro-alloyed steels. By examining the microstructure, in the heat-affected zone, no differences were found in the structures caused by changing of the cooling time  $t_{8/5}$  along the joint. At all cooling times in the coarse part of the heat-affected zone, there is a bainite. The change in the cooling time only affected the bulk of the structure, so at lower cooling rates a rougher bainite was obtained.

*This work was derived from the results of the research on the project TR 35024, financed by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia.*

- [6] K. Gerić: *Prsline u zavarenim spojevima*, Monografija, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2005.
- [7] Ruukki: *Hot rolled steel sheets, plates and coils, Welding general*, Ruukki Metals Oy, Finland, 2014.
- [8] A. Sedmak i dr.: *Mašinski materijali*, II deo, Univerzitet u Beogradu Mašinski fakultet, Beograd, 2000.
- [9] SRPS EN ISO 6507-1/2011: *Metalni materijali - Ispitivanje tvrdoće po Vickersu - Deo 1: Metoda ispitivanja*
- [10] SRPS EN 1321/2007: *Ispitivanja metodama sa razaranjem zavarenih spojeva metalnih materijala - Makroskopsko i mikroskopsko ispitivanje zavarenih spojeva*
- [11] K. Easterling: *Introduction to the Physical Metallurgy of Welding*, Butterworths Monographs in Metals, UK, 1983.
- [12] H.K.D.K. Bhadeshia, *Steels, Microstructure and properties*, Butterworth Heinemann, Elsevir, Third edition, 2006.



## DR-ING VENCISLAV GRABULOV DOBITNIK NAGRADE ZA REGIONALNE AKTIVNOSTI IIW



Dr-Ing Vencislavu Grabulovu nagradu uručuje Predsednik IIW Douglas Luciani

Nagrada koju sponzoriše IIW, originalno glasi **IIW REGIONAL ACTIVITIES AWARD**, dodeljuje se istaknutom pojedincu koji je značajno doprineo poboljšanju globalnog kvaliteta života kroz optimalno korišćenje i inoviranje tehnologija zavarivanja i spajanja u svom regionu i na međunarodnom nivou.



„Dr-Ing Vencislav Grabulov je bio pokretačka snaga za promociju tehnologije zavarivanja i, kroz to, poboljšanje kvaliteta života u Srbiji i regionu jugoistočne Evrope. Njegovim radom ostvareno je povezivanje i mnogo jača saradnja u region jugoistočne Evrope među zavarivačkim društvima zemalja bivše Jugoslavije.

Bio je predsednik srpskog društva za zavarivanje (1998-2010), izvršni rukovodilac srpskog tela za ovlašćivanje (ANB) od njegovog osnivanja i predstavljao je Srbiju u različitim kapacitetima aktivnosti IIW od 1981 godine (Komisije IX, X, XIV, član IAB, IAB radne grupe IAB A i B, WG-RA).

Grabulov, koji predaje zavarivanje na Univerzitetu u Beogradu, autor je više od 200 konfencijskih radova i publikacija u časopisima. Od 2003. godine zajedno sa kolegama iz zemalja regiona, je neposredno učestvovao u organizaciji sva tri uspešna IIW internacionalna kongresa i mnoštvu regionalnih radionica i konferencija, kao i uspostavljanju i rastu veoma uspešne mreže jugoistočne Evrope za tranfer tehnologije zavarivanja (SEENET).“

Napred navedeni tekst je prenet iz publikacije 2018 IIW AWARDS a u okviru 71. Godišnje skupštine održane na Baliu, Indonezija.



Zajednička fotografija svih dobitnika IIW nagrada



Prof Dorin Dehelean predsednik Rumunskog društva za zavarivanje, Chris Smallbone bivši predsednik IIW, Dr Cecile Mayer izvršni direktor IIW, Dr-Ing Vencislav Grabulov i Douglas Luciani predsednik IIW-a

Napominjemo da je ovo prvi put da je neko sa prostora bivše Jugoslavije i sada Srbije, dobio nagradu Međunarodnog Instituta za zavarivanje-IIW za proteklih 70 godina postojanja IIW.

Još jedan kuriozitet vezan je za ovo događanje; nominaciju za dodelu ove nagrade podnelo je 6 društava, što predstavlja i najveći broj nominacija.

Koristimo priliku da predsedniku Izdavačkog saveta našeg časopisa, Dr Grabulovu čestitamo i poželimo još takvih i većih priznanja.

Verujemo da ovo predstavlja ponos za sadašnje članove našeg Društva i motivaciju za pridruživanje novih.

Sa srećom.





## 71. GODIŠNJA SKUPŠTINA MEĐUNARODNOG INSTITUTA ZA ZAVARIVANJE I MEĐUNARODNA KONFERENCIJA

Bali, Indonezija, 15 -20. jul 2018.

Ovogodišnja, 71. po redu Godišnja skupština međunarodnog instituta za zavarivanje i međunarodna konferencija je organizovana od strane Indonezijskog društva za zavarivanje (Indonesia Welding Society). Tema međunarodne konferencije je bila "Napredne tehnologije zavarivanja i pametne tehnologije izrade za efikasan proizvodni proces" (Advanced Welding and Smart Fabrication Technologies for Efficient Manufacturing Processes).

Kao prateća manifestacija se, pored izložbe opreme i proizvoda vezanih za zavarivanje, ove godine održao i susret mladih profesionalaca koji se bave zavarivanjem kroz posebne sekcije konferencije, okruglog stola i druženja.

Mesto održavanja ovih manifestacija je bilo ostrvo Bali u periodu 15.-20. jul.

U radu Godišnje skupštine Međunarodnog instituta za zavarivanje učestvovalo je 657 učesnika iz 45 zemalja (od 56 zemalja članica Međunarodnog instituta za zavarivanje) u svojstvu delegata, eksperata ili posmatrača u tehničkim Komisijama, članova radnih grupa - podkomisija, studijskih grupa, tehničkih komiteta i drugih tela.

Najbrojnije delegacije, pored domaćina (100 članova) kao i uvek su bile Kina (77) Nemačka (72), Japan (67) i USA (37).



Zajednička fotografija članova Skupštine IAWQ

Domaćin je bila, Indonezija, zemlja sa preko 18.000 ostrava, preko 200 miliona stanovnika raspoređenih u preko 200 etničkih grupa.



Gostoprimljivost, ljubaznost i zalaganje domaćina da pomognu učesnicima Skupštine samo je bila dopuna pozitivnog utiska o organizatoru, jer je organizacija bila na visokom nivou, reklo bi se, vrhunska i pored toga što je Indonezija, kao domaćin relativno kasno dobila zadatak da organizuje ovakav skup, s obzirom da je bilo planirano da se održi u Turskoj.

Mesto održavanja je bio impozantni Kongresni centar u mestu Musa Dua na Baliu.

Pored organizatora iz zavarivačke asocijacije, treba istaći i zalaganje volontera ali i doprinos sponzora - izlagača opreme za zavrivanje (Cavitar, Lincoln Electric, Esab, Kiswel, ADT Systems, Seabary Welding Study Center, Kaampuh Welding Indonesia, Springer, Hinabi..)

## **AKTIVNOSTI IIW RADNIH JEDINICA**

### **- Generalna skupština**

Generalna skupština IIW je održana 15. jula 2018.g. uz prisustvo delegata ili delegacija iz 47 zemalja članica IIW. Na Skupštinskoj sednici su usvojeni izveštaji o radu svih tela IIW, donete rezolucije o daljim aktivnostima, usvojen finansijski izvštaj i plan budžeta za sledeću godinu.

Usvojen je kalendar i potvrđeno da će organizatori narednih skupština biti Slovačka– 2019. (Bratislava) i Singapur 2020 godine.

Potvrđena je odluka da se 4. IIW regionalni Kongres zavarivanja zemalja jugoistočne Evrope održi oktobra 2018. godine u Beogradu – Srbija. Potvrđene su odluke za dodelu priznanja Međunarodnog instituta za zavarivanje za 2018. godinu. Ove godine priznanje Međunarodnog instituta za zavarivanje u oblasti Regionalne saradnje je dobio naš predstavnik, Dr. Vencislav Grabulov.

### **- Radne jedinice IIW**

Radne jedinice IIW čine 16 tehničkih Komisija, 2 studijske grupe (Fizika zavarivanja i Strategija istraživanja u zavarivanju i saradnja), 3 radne grupe Borda direktora (Komunikacija i marketing, Regionalna aktivnost i Standardizacija), Tehnički komitet i Međunarodno telo za ovlašćivanje (IAB) sa dve radne grupe i to: Grupa A – Obrazovanje, obuka i kvalifikacija i Grupa B – Implementacija i ovlašćivanje.

Sastanci tehničkih komisija su održani tokom tri dana, od 16. do 18. jula. Na njima su razmatrani stručni materijali – dokumenti IIW. Izabrani dokumenti IIW su predloženi da se objave u časopisu "Welding in the world". Održani su i sastanci svih ostalih radnih jedinica i doneti odgovarajući zaključci.

## **IIW MEĐUNARODNA KONFERENCIJA**

IIW međunarodna konferencija pod naslovom "Napredne tehnologije zavarivanja i pametne tehnologije izrade za efikasan proizvodni proces" (Advanced Welding and Smart Fabrication Technologies for Efficient Manufacturing Processes). Na 16 usmenih sesija prezentovano je 66 radova dok je putem postera predstavljeno još 47 radova. Pored toga održano je i 5 plenarnih predavanja i 7 panel diskusija.

## **IZLOŽBA ZAVARIVANJA**

Sponzori 71. Skupštine IIW su iskoristili mogućnost da predstave svoje proizvode na izložbi koja je organizovana u Kongresnom Centru za vreme trajanja Skupštine. Zaključak je da je prostor za izložbu bio skromniji nego minulih godina, ne zbog toga što nije bilo mesta u inače ogromnom Kongresnom centru.

## **AKTIVNOSTI DELEGACIJE SRBIJE**

U pripremnim aktivnostima u vezi Godišnje skupštine učestvovali su naši predstavnici člana IIW, Zavoda za zavarivanje, a u aktivnostima u vezi Međunarodnog tela za ovlašćivanje – IAB, Grupe A i Grupe B, predstavnici ANB za Srbiju, Društvo za unapređivanje zavarivanja u Srbiji, odnosno DUZS CertPers i predstavnici ANBCC Zavoda za zavarivanje.



Na 71. sednici Skupštine međunarodnog instituta za zavarivanje je, ispred naše zemlje bio prisutan dr Vencislav Grabulov, izvršni rukovodilac DUZS CertPers-a.



dr Vencislav Grabulov, izvršni rukovodilac DUZS CertPers tokom sednice IAB grupe

Pored učešća u radu na samoj sednici Skupštine koja je održana 15.07., najznačajnija aktivnost je bila učešće u radu IAB Grupe A (održana 16.07), IAB Grupe B (17.07.) i predstavnika članica IAB grupe (17.07).

Na ovim sednicama su razmatrane izmene i dopune dokumenata za realizaciju kurseva za obrazovanje kadrova u zavarivanju kao i njihova primena.

Na sednici grupe B je doneta, tačnije potvrđena odluka predsednika IAB grupe i grupe B, doneta na predlog glavnog ocenjivača za DUZS gospodina Christian-a Ahrens-a da se DUZS CertPers-u dodeli preliminarno odobrenje za izdavanje Sertifikata za osoblje u zavarivanju, Koordinatore i inspektore zavarivanja.

Potvrđeno je da će poseta tima ocenjivača radi reocenjivanja ANB-a i ANBCC-a za Srbiju, biti obavljena tokom 2019.godine.

Na sastanku predstavnika članica IAB grupe, između ostalog, doneta je odluka da je novi predsednik IAB grupe g-din Christian Ahrens (Nemačka) umesto Henk Both-a kome je istekao mandat.

Sastanak radne grupe za regionalnu saradnju održan je 16. jula. Na ovom sastanku je podnet izveštaj o tome kako napreduje organizacija 4. IIW Kongresa zemalja jugoistočne Evrope. Izveštaj je jednoglasno usvojen i potvrđeno da ovaj kongres organizuje DUZS u saradnji sa Rumunskim i Bugarskim društvom za zavarivanje.

Može se zaključiti da je učešće na Skupštinama IIW korisno i opravdano, ali kao što je i ranije bilo zaključeno, neophodno je da se više aktivista-stručnjaka uključi u rad Međunarodnog instituta, odnosno tehničkih komisija ili radnih grupa. Potrebno je aktivnije učešće većeg broja subjekata u pripremnom radu na izradi dokumenta, učešće u radu radnih grupa čija je aktivnost veoma bitna za zavarivačku javnost Srbije.

Zaključili smo i ranije da uspešnost zavisi i od brojnosti naše delegacije koja prisustvuje radu stručnih tela.

Sledeće godine, Skupština se održava u Bratislavi – Slovačka što je dobra šansa da delegacija iz Srbije bude brojnija.

Dr Vencislav Grabulov dipl.ing.IWE



Jovičić, R.<sup>1</sup>, Pantelić N.<sup>1</sup>, Sedmak, S.<sup>1</sup>, Pavlović, D.<sup>3</sup>, Štrbački, Ž.<sup>4</sup>, Popović, O.<sup>5</sup>, Prokić Cvetković, R.<sup>5</sup>

# Zavarivanje debelozidnog čelika u uskom žljebu

## Welding of thick-walled steels in a narrow groove

**Originalni naučni rad / Original scientific paper**

Rad je u izvornom obliku objavljen u Zborniku sa savetovanja „ZAVARIVANJE 2018“ održanog u Beogradu 10-13. Oktobra 2018

**Rad primljen / Paper received:**

Jul 2018.

**Ključne reči:** zavarivanje, uski žleb, softverski kontrolisan luk, ušteda dodatnog materijala

### Rezime

Smanjenje otvora žljeba može značajno doprineti efikasnosti zavarivanja i produktivnosti teških metalnih konstrukcija. Uobičajena je upotreba uglova žljeba od 45° i 60°. Smanjenje ugla otvora žljeba smanjuje potreban broj zavara, čime se smanjuje trajanje zavarivanja, potrošnja materijala za ispunu i zaostali naponi i deformacije. Međutim, smanjivanje ugla žljeba dovodi do određenih poteškoća. Teško je kontrolisati luk u uskom žljebu, što može dovesti do problema sa kvalitetom spoja. U ovom radu je prikazano zavarivanje sučeonih spojeva od čelika debljine 22 mm sa uglom žljeba od 20°. Zavarivanje je izvršeno korišćenjem MAG postupkom zavarivanja, uz softversku kontrolu luka.

### 1. Uvod

Zavarivanje u uskom žljebom može se primeniti na gotovo sve konvencionalne elektrolučne postupke zavarivanja. Ova tehnika zavarivanja ima za cilj smanjenje zapremine šava i vremena potrebnog za zavarivanje. U slučaju konvencionalnih V žljebova, vreme zavarivanja i zapremina šava povećavaju se sa povećanjem debljine metalnog materijala. Ako su uglovi žljeba smanjeni, zapremina i vremena zavarivanja se smanjuju, posebno u slučaju uskog žljeba sa paralelnim stranama. Pored ekonomskih koristi, uski žleb ima i druge prednosti, kao što su smanjenje ugaonih deformacija i zaostalih napona kao i postizanje ravnomernijih karakteristika zavarenih spojeva. Zavareni spojevi sa uskim žljebom često imaju bolje mehaničke osobine u poređenju sa V zavarenim spojevima, zbog manjeg ukupnog unosa toplote.

Zavarivanje u uskom žljeba je, do sada, uglavnom korišćeno kod zavarivanju punjenom žicom. U poslednje vreme se uobičajeno koristi kod zavarivanja punim elektrodnim žicama u gasa i kod

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

<sup>1</sup>Innovation Centre of Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade, Serbia <sup>2</sup>Var System, Belgrade, Serbia

<sup>3</sup>GOŠA Institute, Belgrade, Serbia <sup>4</sup>KonMat Ltd, Belgrade, Serbia

<sup>5</sup>Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, Srbija

<sup>a</sup>rjovicic@mas.bg.ac.rs, <sup>b</sup>nebojsa.pantelic@varsistem.co,

<sup>c</sup>pavlovic\_danijel@yahoo.com, <sup>d</sup>simon.sedmak@yahoo.com,

<sup>e</sup>z.strabacki@konmat.com, <sup>f</sup>popovic@mas.bg.ac.rs, <sup>g</sup>rprokic@mas.bg.ac.rs

**Key words:** welding, narrow groove, software controlled arc, filler material saving

### Abstract

Reduction in groove opening can significantly contribute to welding efficiency and productivity of heavy metal structures. It is common practice to use welded joint groove angles of 45° and 60°. Reduction of the groove opening angle decreases the necessary number of welding passes, thus decreasing the welding duration, filler material consumption and residual stresses and strain. However, groove angle reduction leads to certain difficulties. It is hard to control the arc in a narrow groove, which could lead to welded joint quality issues. In this paper, welding of butt joints made of 22 mm thick steel with the groove angle of 20° is shown. Welding was performed using the MAG procedure, with software controlled arc.

### 1. Introduction

Welding in a narrow groove can be applied to nearly all conventional arc welding procedures. This welding technique aims to reduce the weld volume and the time needed for welding. In the case of conventional V grooves, welding time and weld volume increase with the increase in parent material thickness. If the groove opening angles is reduced, volume and welding time decrease, especially in the case of a narrow groove with parallel sides. In addition to economic benefits, the narrow groove has other advantages, such as the reduction of angular deformation and residual stresses and more uniform welded joint properties. Narrow groove welded joints often have better mechanical properties compared to V welded joints, due to lower total heat input.

Narrow groove welding was, up until now, mostly used in flux core arc welding. Recently, narrow groove welding is more commonly used in procedures with gas shielded consumable electrode wires and welding procedures using self-



zavarivanja samo-zaštitnim žicama je posebno pogodno za zavarivanje velikih metalnih konstrukcija, kao što su brodovi, posude pod pritiskom, teške metalne konstrukcije, mostovi i slično, koji koriste osnovne materijale (PM) sa većom debljinom i za koje je promena pozicija vrlo teška ili nemoguća, pa je od velike važnosti zavarivanje u različitim položajima.

Postoje različiti načini pripreme uskih žljebova u zavisnosti od postupka zavarivanja i primene konstrukcije. Primer bi bio žleb s paralelnim stranama i podkorenom trakom. Širina žleba varira u zavisnosti od funkcije opreme i postupka zavarivanja. U mnogim slučajevima, koji uključuju specifičnu opremu za zavarivanje, moguće je kombinovati standardne generatore električne energije i sisteme dodavanja žice.

## 2. Specifični aspekti zavarivanja u uskom žlebu

U cilju zavarivanja tankih čelika, I žljebovi se koriste u konvencionalnim procedurama. Za srednje debljine čelika, koriste se V ili polu V žljebovi, a za zavarivanje debelih zidova koriste se žljebovi u obliku slova U i J. Prikazani u tabeli 1 su oblici i približne dimenzije za gore pomenute vrste žljebova, koje treba da budu zavarene postupkom MAG [1]. Tabela 1 i sledeći tekst odnose se na žljebove koji se koriste za jednostrane zavarene spojeve. Međutim, dodatna razmatranja mogu se u velikoj mjeri primeniti na žljebove koji se koriste za dvostrane zavarene spojeve.

protecting full wire. Narrow groove welding is especially suitable for welding of large metal structures, such as ships, pressure vessels, heavy metal structures, bridges, etc, which use parent materials (PM) with increased thickness and for which changing of positions is very hard or impossible, thus the possibility of welding in different positions is of great importance.

There are different ways of preparing narrow grooves depending on the welding procedure and the structure's application. The simplest example would be a groove with parallel sides and a sub-root strip. Groove width varies based on the equipment function and welding procedure. In many cases, involving specific welding equipment, it is possible to combine standard electricity generators and wire adding systems.

## 2. Specific aspects of narrow groove welding

For the purpose of welding thinner steels, I grooves are used in conventional procedures. For medium thickness steels, V or half V grooves are used, and for welding of thick-walled steels, U and J shaped grooves are used. Shown in table 1 are the shapes and approximate dimensions for the aforementioned types of grooves, which are meant to be welded by the MAG procedure [1]. Table 1 and the following text refer to grooves used for one-sided welded joints. However, further considerations can be largely applied to grooves used for two-sided welded joints as well.

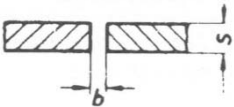
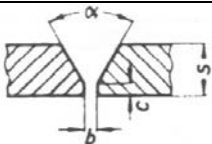
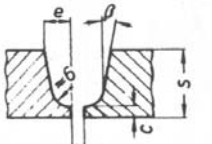
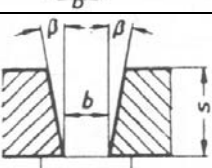
	Groove Žleb	Thickness, Debljina s mm	Groove opening angle, Ugao otvora žleba $\alpha, \beta^\circ$	Root gap, Zazor u korenu b mm	Root blunting, Visina korena c mm
1		3 - 8	-	1 - 4	-
2		3 - 10	40 - 60	0 - 4	0 - 2
3		12	8 - 12	0 - 4	2 - 3
4		16	5 - 20	65 - 15	0

Table 1. Shapes and dimensions of grooves used for one-sided welded joints

Tabela 1. Oblici i dimenzije žljebova za jednostrano zavarivanje



Sa povećanjem debljine, postaje teže pristupiti korenskom delu I žljeba. Da bi ovaj pristup bio olakšan, može se proširiti. Ovo se postiže povećavanjem ugla otvora žljeba ili praznine u korenu zavara ili oboje. Korenski razmak (zazor), u slučaju MAG zavarivanja, obično se kreće do 4 mm, kako je prikazano u tabeli 1. Njegovo dalje povećanje ometa kontrolu rastopa tokom korenog prolaza, što rezultuje slabim izgledom šava, pojave nedostatka uvarivanja i prekomerne penetracije korena. U određenim slučajevima, ovi nedostaci mogu biti izbegnuti korišćenjem keramičkih ili metalnih podkorenih traka.

Povećanje ugla žljeba rezultuje povećanom zapreminom metala šava (WM), što dovodi do povećanja potrošnje dodatnog materijala (FM), više vremena potrebnog za zavarivanje, povećanih zaostalih napona i deformacija i verovatnoće pojave defekata. Zapremina žljeba se u manjoj meri može smanjiti visinom korena. Veličina visine korena zavisi od dubine uvarivanja koja se može postići korišćenjem definisanih parametara zavarivanja. Visina korena tipično se kreće od 0 do 2 mm u slučaju zavarivanja MAG, tabela 1. Zapremina žljeba može se značajno smanjiti primenom U ili J umesto V ili polu V spojeva. Za ove tipove spojeva, ugao žljeba je manji, širina žljeba je manja, a dostupnost korena je bolja nego u slučaju V i polu V. Međutim, izrada U i J šavova je složenija i skupa u poređenju sa V i polu V i zahteva mašinsku obradu ivica žljebova. Ovakvi šavovi primenjuju se na debljinu PM iznad 12 mm. U praksi, ti šavovi se koriste za deblje osnovne materijale

Iz gore navedenog može se videti da bi optimalni oblik bio V-žleb sa smanjenim uglom i povećanim zazorom. Ovakva geometrija šava ne zahteva mašinsku obradu, omogućava povećanu produktivnost zavarivanja usled smanjene zapremine spoja, smanjene potrošnje FM-a i smanjenog vremena potrebnog za zavarivanje. Osim toga, smanjuje zaostale napone i deformacije, čime se smanjuje verovatnoća oštećenja nastalih u žljebu. Zbog povećanja zazora, ovaj oblik žljeba zahteva korišćenje podkorenih traka. Takvi uski žljebovi su prikazani u tabeli 1 i korišćeni u eksperimentalnom delu ovog istraživanja

Teškoće prilikom zavarivanja u uskom žljebu potiču od komplikovanog pristupa korenom delu. Zavarivanje završnih slojeva i lica šava ne predstavljaju poteškoće. Ovi šavovi mogu biti zavareni korišćenjem opreme i parametara zavarivanja tipičnih za postupak MAG. Da bi zavarili koreni prolaz i prvi zavar ispune, često je

With an increase in thickness, it becomes more difficult to access the root part of the I groove. In order to make this access easier, it can be expanded. This is achieved by increasing the groove opening angle, or the gap in the weld root, or both. The root gap, in the case of MAG welding, typically ranges up to 4 mm, as shown in table 1. Its further increase hinders the control of the melt during the root pass, which results in poor visual appearance of the weld back, occurrence of lack of penetration and excessive root penetration. These defects can be, in certain cases, avoided by using ceramic or metal sub-root strips.

Increase in groove angle results in increased WM volume, which results in increased use of filler material (FM), more time needed for welding, increased residual stresses and strain and the probability of defects occurring in the weld. Groove volume can, to a lesser extent, be decreased by root blunting. The blunting size depends on the welding depth which can be achieved by using the defined welding parameters. Blunting height typically ranges from 0 to 2 mm in the case of MAG welding, table 1. Groove volume can be significantly reduced by applying U or J welds instead of V or half V welds. For these weld types, the groove angle is smaller, groove width is smaller and root accessibility is better than in the case of V and half V welds. However, making of U and J welds is more complex and expensive compared to V and half V welds, and requires the machining of groove edges. Such welds are applicable to PM thickness above 12 mm. In practice, these welds are used for thicker parent materials.

From the above, it can be seen that the optimal shape would be a V groove with reduced angle and increased root gap. Such weld geometry does not require the machining of edges, enables increased welding productivity due to reduced welded joint volume, reduced FM consumption and reduced time needed for welding. In addition, it decreases the residual stresses and strain, thus reducing the probability of defects occurring in the groove. Due to the increase in the root gap, this groove shape requires the use of sub-root strips. Such types of narrow grooves are shown in table 1, and used in the experimental part of this research.

Difficulties during narrow groove welding stem from complicated access to its root part. Welding of the finishing layers and weld face do not present any difficulties. These welds can be welded using equipment and welding parameters typical for the MAG procedure. In order to weld the root pass and the first filling welds, it is often necessary to use special guns and control systems, which makes the



neophodno koristiti specijalne pištolje i kontrolne sisteme, što čini proceduru složenijom i skupom [2]. Zbog ograničene dostupnosti krenom delu žljebova, vođenje i kontrola dužine luka i praćenje rastopa metala su donekle teški. Pored toga, postoji mogućnost nedostatka stapanja, naročito na ivicama žljeba [3,4]. Uski i duboki žljebovi zahtevaju povećanu slobodnu dužinu žice, što smanjuje jačinu struje zavarivanja i stabilnost luka.

Povećavanje dužine slobodnog kraja može povećati količinu rastopljenog FM, što otežava kontrolu i može smanjiti dubinu zavarivanja. Uski i duboki žleb takođe uslovljava smanjenje ugla u odnosu na ivicu žljeba. Navedeni faktori smanjuju dubinu zavarivanja, što dovodi do nedostataka kao što je nedostatak stapanja posebno na ivicama žljeba. Verovatnoća nastanka ovih nedostataka može se smanjiti korišćenjem punjene žice umesto pune, koristeći adekvatnu tehniku usmeravanja luka, što podrazumeva usmeravanje luka ka ivici žljeba i zadržavanje tamo, kao i odabiranje parametara zavarivanja koji omogućavaju fokusiranje luka [3]. Penetracija se može kontrolisati preko distribucije prolaza, primjenom dva zavara umesto jednog, unutar jednog sloja.

Iz gore navedenog može se videti da se uslovi pod kojima se zavarivanje vrši u uskom žlebu može poboljšati obezbeđivanjem fokusiranog luka i sprečavanjem promene struje pomoću dužine slobodnog kraja žice. Ovo se može postići korišćenjem uređaja za zavarivanje sa softverskom kontrolom luka. Za eksperiment prikazan u ovom radu korišćeni su softver ViceFusion i VisePenetration, koji je napravio Kemppi Oi iz Finske. Softver ViceFusion omogućava fokusiranje luka, čime se njegova koncentracija povećava, što rezultuje dubokim i pouzdanim penetracijama, što povećava brzinu zavarivanja i smanjuje unošenje toplote i zaostale napone i deformacije. Sve ovo olakšava zavarivanje u uskim i dubokim žljebovima. Ovaj softver takođe obezbeđuje malu količinu tečnog metala što olakšava kontrolu, što je pogodno za zavarivanje na neugodnim mestima [4]. Softver VicePenetration omogućava jačini struje da ostane konstantna sa promenama dužine slobodnog kraja. Povećanje dužine slobodnog kraja žice obično smanjuje amperažu, što može rezultovati nedostatkom penetracije, nejednakim dubinama zavarivanja i promenama u oblicima prenosa dodatnog materijala. Ovaj softver je pogodan za primenu u slučajevima kada je dostupnost lokacije za prepoznavanje i zavarivanje ograničena, a sam softver je ograničen na maksimalnu dužinu slobodnog kraja od 30 mm [5]. Kada istovremeno koristite oba programa,

procedure more complex and expensive [2]. Due to limited accessibility of the root part of the groove, guiding and controlling the length of the arc and monitoring of molten metal are somewhat difficult. In addition, there is a possibility of lack of fusion, especially at the groove edges [3,4]. A narrow and deep groove requires increased free end length of the wire, which reduces the welding amperage and arc stability.

Increasing the free end length can increase the amount of molten FM, which makes controlling it difficult and could reduce the welding depth. A narrow and deep groove also conditions the reduction of angle relative to the groove edge. Aforementioned factors reduce the welding depth, leading to defects such as lack of fusion, especially at the groove edges. The probability of these defects occurring can be reduced by using filled wire instead of full ones, by using the adequate arc guiding technique, which involves directing the arc towards the groove edge and keeping it there, as well as by choosing the welding parameters which enable arc focusing [3]. Penetration can be controlled via pass distribution, by applying two welds instead of one, within a single layer.

From the above it can be seen that conditions under which welding is performed in a narrow groove can be improved by providing a focused arc and preventing the amperage from changing with the free end length of the wire. This can be achieved by using welding devices with software arc control. For the experiment shown in this paper, software ViceFusion and VisePenetration, made by Kemppi Oy, Finland, were used. ViceFusion software enables arc focusing, thus making its energy more concentrated, resulting in deep and reliable penetration, which increases the welding speed and reduces heat input and residual stresses and strain. All of this makes welding in narrow and deep groove much easier. This software also provides a small volume of liquid metal which makes it easy to control, which is suitable for welding in inconvenient positions [4]. VisePenetration software enables the amperage to remain constant with changes in free end length. Increase of the free end length of the wire typically reduces the amperage, which can result in lack of penetration, non-uniform welding depths and changes in the forms of FM transfer. This software is suitable for application in cases where visibility and welding location availability are limited, and the software itself is limited to a maximum free end length of 30 mm [5]. When using both programmes simultaneously, VisePenetration provides constant amperage and



VicePenetration obezbeđuje konstantnu amperažu i ViceFusion pruža i optimalno kratki i fokusirani luk.

### 3. Eksperiment i rezultati ispitivanja

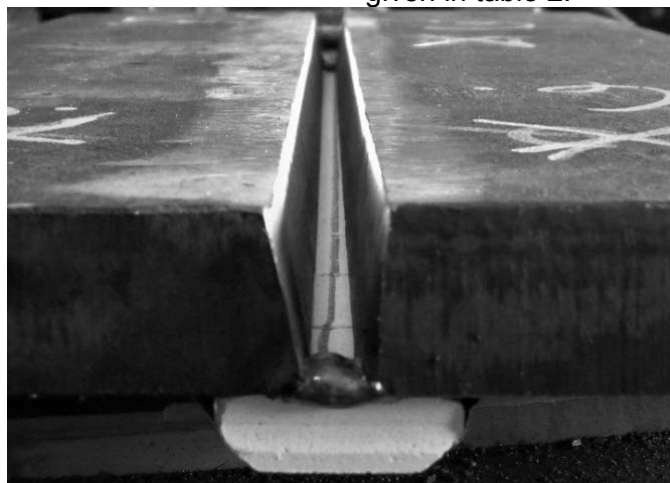
Dva sučeona zavarena spoja su napravljena i ispitana. Kao PM je korišćen niskolegirani čelik debljine 22 mm. Spojevi su zavareni kao jednostrani, koristeći MAG postupak, sa mešavinom gasova 82% Ar-18% CO<sub>2</sub>. Zavarivanje je obavljeno korišćenjem uređaja Kemppi FastMig Pulse 350.

Prvi spoj zavaren je u V žljebu, sa uglom od 20°, zazorom u korenu od 6 mm i bez visine slika 1. Korišćena je keramička podloška širine žlejbca 10 mm. Dodatni materijal je puna elektrodna žica VAC 60, proizvođača Elektrode Jesenice (G42 5M / C G3Si1-EN ISO 14341-A) prečnika 1,2 mm. Spoj je zavaren sa dužinom slobodnog kraja žice od 25 mm u položaju PA, slika 2. Parametri zavarivanja za zavareni spoj 1 su dati u tabeli 2.

WiceFusion provides and optimally short and focused arc. Both programmes can be used with standard welding guns.

### 3. The experiment and test results

Two butt joints were welded and tested. Low-alloyed steel with a thickness of 22 mm was used as the PM. Joints were welded as one-sided, using the MAG procedure, with an 82% Ar – 18% CO<sub>2</sub> mix used as the shielding gas. Welding was performed using Kemppi FastMig Pulse 350 device. The first joint was welded in a V groove, with the opening angle of 20°, a root gap of 6 mm and without blunting, figure 1. A ceramic washer with a groove width of 10 mm was used. Filler material was a full VAC 60 wire, manufactured by Elektrode Jesenice (G42 5M/C G3Si1- EN ISO 14341-A), with a 1.2 mm diameter. The joint was welded with free end length of the wire of 25 mm in the PA position, figure 2. Welding parameters for welded joint 1 are given in table 2.



**Figure 1.** The narrow groove with a 20° opening angle  
**Slika 1.** Uski žleb sa otvorom ugla od 20°



**Figure 2.** Increased free end length during narrow groove welding  
**Slika 2.** Povećana dužina slobodnog kraja tokom zavarivanja u uskom žlebu



Zavarivanje drugog spoja izvršeno je sa V žljebom, sa uglom od 20°, zazorom od 4,5 do 5 mm i bez visine korena. Ista keramička podloška korišćena je kao u prvom slučaju. Dodatni je TISVELD T 71C (T42 4RC / M 2H10 - EN ISO 17632-A) prečnika 1,2 mm. Zavareni spoj je napravljen na poziciji PF. Parametri zavarivanja za spoj 2 su navedeni u tabeli 3.

Welding of the second joint was performed in a V groove, with the opening angle of 20°, a root gap of 4.5 to 5 mm and without blunting. The same ceramic washer was used as in the first case. Filled TYSWELD T 71C (T42 4RC/M 2H10 – EN ISO 17632-A) was used as the filler material, with a diameter of 1.2 mm. The welded joint was made in the PF position. Welding parameters for joint 2 are given in table 3.

Number Broj	Weld Šav	I(A)	U(V)	vw (mm/sec)	Q (KJ/mm)	Remainig groove depth (mm) Zaostala dubina žljeba	Software used Korišćeni softver
1	Root// Koren	267	31.1	3.64	1.82	Not measured	WP+WF
2	First fill// prvi zavar ispune	278	29.7	5.33	1.24	11	WP+WF
3	Second fill// Drugi zavar	279	29.7	4.73	1.40	6	WP+WF
4	Third fill /Treći zavar	277	29.3	4.25	1.53	2	WP+WF
5	Finishing//završni	240	26.8	3.43	1.50	-	WF

\*WP – Weldpenetration- uvarivanje; WF – Weldfusion-stapanje

**Table 2.** Welding parameters for joint 1.

**Tabela 2.** Parametri zavarivanja za spoj 1

Number	Weld	I(A)	U(V)	vw (mm/sec)	Q (KJ/mm)	Remainig groove depth (mm)	Software used
1	Root	189	25.2	1.91	1.99	14	WP+WF
2	First fill	189	24.2	3.29	1.11	9	WP+WF
3	Second fill	198	25.5	3.31	1.22	6	WP+WF
4	Third fill	188	23.0	2.22	1.56	3	WP+WF
5	Finishing	192	22.2	2.37	1.44	-	WF

\*WP – WicePenetration; WF – WiceFusion

**Table 3.** Welding parameters for joint 2.

**Tabela 3.** Parametri zavarivanja za spoj 2

Na slici 3 prikazan je zavareni spoj 1, nakon što su završeni koreni i prvi zavar ispune, dok slika 4 prikazuje isti zavareni spoj nakon što je zavaren treći zavar ispune. Tokom zavarivanja oba spoja izvršena je vizuelna kontrola dimenzija. Svi zavareni spojevi su imali uniformne širine i visine. Stepenn ispune, tj. debljina svakog pojedinačnog zavara može se odrediti iz tabela 2 i 3. Nisu otkriveni nedostaci, kao što su nejednako uvarivanje ivica žljeba ili nagrizanje.

Shown in figure 3 is the welded joint 1, after the root and first fill passes were done, whereas figure 4 shows the same welded joint after the third fill pass was welded. During the welding of both joints, visual dimension control was performed. All welds had uniform widths and heights. Degree of filling, i.e. the thickness of each individual weld can be determined from tables 2 and 3. No defects, such as non-uniform penetration of groove edges or etching, were detected.



**Figure 3.** Joint 1 after the welding of root and first fill welds.  
**Slika 3.** Spoj 1 posle zavarivanja korenog i prvog zavara ispune



**Figure 4.** Joint 1 after the welding of the third fill weld.  
**Slika 4.** Spoj 1 posle zavarivanja trećeg zavara ispune

Nakon zavarivanja, izvršena je vizuelna kontrola dimenzija korena i lica šava, uz ispitivanje ultrazvukom i makrostrukturno ispitivanje. Rezultati kontrole dimenzija prikazani su u tabeli 4. Vizuelni pregled otkrio je da i koren i lice zavarenih spojeva imaju ravnu visinu i širinu. Zavareni spoj 1 ima blagi prelazak na PM duž cele dužine. Što se tiče korena ovog zavarenog spoja, postoje povremeni oštri prelazi u PM. U centru zavarenog spoja 2 je primećena nedovoljna ispuna. Koreni zavar spoja 2 takođe ima blagi prelazak na PM duž cele dužine.

After welding, visual dimension control of the weld root and face was performed, along with ultrasound and macro-structural tests. Results of dimension control are shown in table 4. Visual examination revealed that both root and face of the welded joints have uniform height and width. Welded joint 1 face has a slight transition to the PM along its whole length. As for the root of this welded joint, there are occasional sharp transitions to the PM. An underfill was observed in the centre of weld joint 2 face. Root weld of joint 2 also has slight transition to the PM along its whole length.

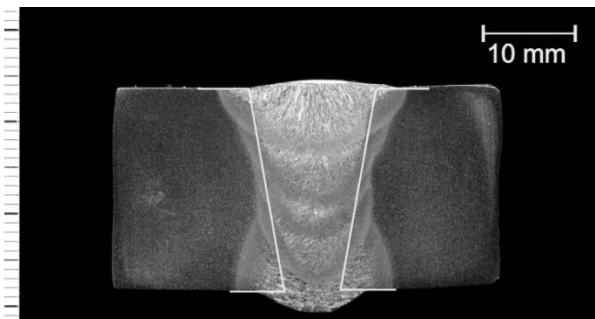
	Face/Lice		Root/Koren		Angular deformation Ugaona defrmacija (°)
	Width /Širina (mm)	Height/ Visina (mm)	Width /Širina (mm)	Height / Visina (mm)	
Welded joint 1 /Zavareni spoj 1.	16.5	1.2	13.5	2.5	3
Welded joint 1 Zavareni spoj 2	14.5	0.9	11.0	2.0	4

**Table 4.** Face and root dimensions of welded joints 1 and 2.  
**Tabela 4.** Dimenzije lica i korena zavarenih spojeva 1 i 2



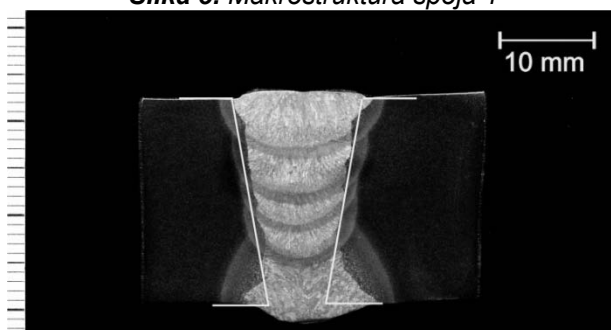
Ultrazvučno ispitivanje nije otkrilo nedostatak stapanja između prolaza ili nedostatak uvarivanja po ivicama žljebova. Slika 5 i 6 pokazuju makrostrukture oba zavarena spoja. Ispitivanje makrostrukture nije otkrilo nikakve defekte zavarenog spoja.

Ultrasound testing did not reveal any lack of fusion between passes or lack of penetration in groove edges. Figure 5 and 6 show the macro-structures of both welded joints. Macro-structure testing did not reveal any welded joint defects.



**Figure 5. Welded joint 1 macro-structure.**

**Slika 5. Makrostruktura spoja 1**



**Figure 6. Welded joint 2 macro-structure.**

**Slika 6. Makrostruktura spoja 2**

#### 4. Analiza rezultata

U tabeli 5, prikazane su zavisnosti preseka žljeba i mase WM zavisno od uglova žljeba, za debljinu PM od 10 do 30 mm. Žljeb sa uglom od  $60^\circ$  i  $45^\circ$ , sa razmakom korena od 4 mm bez visine korena, i ugao od  $20^\circ$ , sa razmakom od 6 mm, takođe bez visine korena su razmatrani.

Podaci o masi WM su dati bez nadvišenja korena i lica. Precizniji uvid u efekte oblika i dimenzija na masu WM se dobija ako se ova nadvišenja zanemare, s obzirom na to da se njihove dimenzije i masa razlikuju u zavisnosti od parametara zavarivanja. Iz tabele 5 se vidi da sa povećanjem debljine PM, masa WM se povećava u svim slučajevima. Za uglove žljebova od  $60^\circ$ , masa WM se povećava za faktor od 6,4, dok za ugao žljba od  $45^\circ$  masa WM se povećava za faktor od 6,5. U slučaju ugla žljebova od  $20^\circ$ , masa WM se povećava 4,5 puta.

U tabeli 6 prikazane su uštede u dodatnom materijalu kada se koristi ugao žljeba od  $20^\circ$ , u poređenju sa uglovima od  $45^\circ$  i  $60^\circ$ , na osnovu podataka iz tabele 5.

#### 4. Result Analysis

Shown in table 5 are the dependencies of groove cross-section and WM mass from groove angles, for PM thickness of 10 to 30 mm. Groove with opening angle of  $60^\circ$  and  $45^\circ$ , with a 4 mm root gap without blunting, and the angle of  $20^\circ$ , with a 6 mm gap, also without blunting, were considered.

Data about WM mass are given without root and face reinforcement masses. A more accurate insight into the effects of shape and dimensions on WM mass is obtained if these reinforcements are neglected, since their dimensions and mass vary depending of welding parameters. It can be seen from table 5 that with an increase in PM thicknes, the WM mass increases in all cases. For groove angles of  $60^\circ$ , WM mass increases by a factor of 6.4, whereas for the groove angle of  $45^\circ$ , WM mass increases by a factor of 6.5. In the case of the  $20^\circ$  groove angle, WM mass increases 4.5 times.

Shown in table 6 are the savings in WM material when using the groove angle of  $20^\circ$ , compared to angles of  $45^\circ$  and  $60^\circ$ , based on the data from table 5.



PM thickness (mm)	Opening angle 60°		Opening angle 45°		Opening angle 20°	
	Cross-section area, mm <sup>2</sup>	WM mass, kg/m	Cross-section area, mm <sup>2</sup>	WM mass, kg/m	Cross-section area, mm <sup>2</sup>	WM mass, kg/m
10	98	0.8	81	0.6	78	0.6
15	190.5	1.5	152.3	1.2	130.5	1.0
20	312	2.5	244	2.0	192	1.5
25	462	3.7	356.3	2.9	262.5	2.1
30	642	5.1	489	3.9	342	2.7

**Table 5.** Dependence of groove cross-section areas and WM mass from PM thickness and groove opening angle  
**Tabela 5.** Zavisnost površine poprečnog preseka žljeba i mase WM od debljine PM i ugla otvora žljeba

Groove opening angle	Parent material thickness (mm)									
	10		15		20		25		30	
	kg/m	%	kg/m	%	kg/m	%	kg/m	%	kg/m	%
45°	0	0	0.2	17	0.5	25	0.7	28	1.2	31
60°	0.2	25	0.5	33	1.0	40	1.6	43	2.4	47

**Table 6.** Reduction of filler material consumption (savings) with the decrease of the groove opening angle for different parent material thicknesses.

**Tabela 6.** Smanjenje potrošnje dodatnog materijala (uštete) sa smanjenjem ugla otvora žljeba kod različitih debljina osnovnog materijala

Iz tabele 6 se vidi da se, uz upotrebu uskog žljeba, ušteta mase povećava sa debljinom PM i uglom otvora žljeba. Pri zavarivanju PM debljine 10 mm, uz ugao žljeba od 45°, nema uštete mase, tako da uski žljeb u ovom slučaju ne daje nikakve prednosti, u poređenju sa V-žljebom. Najveća ušteta potrošnje WM od skoro 50% postiže se pri zavarivanju PM debljine 30 mm, i V žljebom sa uglom od 60°.

Može se pretpostaviti da će vreme zavarivanja smanjiti proporcionalno smanjenju mase WM. Tokom ovog eksperimenta, nije bila određena ušteta vremena zavarivanja. Prema literaturi [2], pri zavarivanju PM sa debljinom 25 mm u uskim žljebovima (ugao od 20°), ušteta vremena zavarivanja bila je 38%, a ušteta potrošnje FM bila je 25% u poređenju sa zavarivanjem istog PM u V žljebu, sa uglom od 45°.

Iz tabela 2 i 3 može se videti da su koreni zavari u oba spoja zavareni povećanom amperažom. Ovo je bilo moguće zahvaljujući korišćenju pod-korenih traka. Amperaža zavarivanja, uz relativno visoku brzinu zavarivanja, omogućuje prodiranje na ivice žljeba i sprečava nedostatak stapanja. Tabele 2 i 3 takođe pokazuju da su završni zavari bili zavareni bez VicePenetration softvera. S obzirom da je preostala dubina šava za oba spoja, nakon drugog zavarivanja, bila 6 mm, moguće je zavariti treći zavar ispuše, kao i zavaršni prolaz, bez korišćenja VicePenetration. Prema literaturi [3], slobodna dužina žice tokom klasičnog MAG postupka, sa sprej načinom prenosa kapi, kreće se od 13 do 20 mm. Prema tome, zavarivanje završnih prolaza u uskom žljebu može se izvesti pomoću klasičnog MAG postupka.

It can be seen from table 6 that, with the use of a narrow groove, the mass saving increases with PM thickness and groove opening angle. When welding a 10 mm thick PM, with the groove angle of 45°, there is no mass saving, thus there narrow groove welding does not give any advantages in this case, compared to a V groove. Largest WM material consumption saving, of almost 50%, is achieved by welding PM with a thickness of 30 mm, in a V weld with the opening angle of 60°.

It can be assumed that the welding time will decrease in proportion to the WM mass reduction. During this experiment, welding time saving was not determined. According to the literature [2], when welding PMs with a thickness of 25 mm in a narrow groove (20° angle), welding time saving was 38% and FM consumption saving was 25% compared to welding of the same PM in a V groove, with the angle of 45°.

It can be seen from tables 2 and 3 that the root welds in both joints were welded with increased amperage. This was possible thanks to the use of sub-root strips. Welding amperage, along with relatively high welding speed, enable good groove edge penetration and prevent the lack of fusion from occurring. Tables 2 and 3 also show that the finishing welds were welded without the VicePenetration software. Since the remaining weld depth for both joints, after the second filling weld, was 6 mm, it was possible to weld the third filling pass, as well as the final pass, without using VicePenetration. According to literature [3], free end length of the wire during a classic MAG procedure, with spraying transfer, ranges from 13 to 20 mm. Thus, welding of finishing passes in the



Oba spoja su zavarena bez prethodnog savijanja ploča i bez ojačanja koja bi smanjila njihovu ugaonu deformaciju. Cilj ovog procesa zavarivanja bio je da se utvrdi magnituda takve deformacije. Ugaona deformacija zavisi od količine ulazne toplote i širine lica zavara. Oba spoja su zavarena relativno velikom toplotnom energijom u završnim prolazima, tabele 2 i 3. Širina lica iznosila je 16,5 i 14,5 mm, a ugaoni deformacije su bile 3° i 4°, tabela 4. Iskustvo je pokazalo da se ove ugaone deformacije mogu smatrati malim u slučajevima jednostranih zavarenih spojeva debljih materijala, sa visokim energetske ulazom.

Lice šava spoja 1 zadovoljava nivo kvaliteta B za zavarene spojeve [7]. Lice šava spoja 2 ima povremene prokapine duž sredine, prihvatljive dubine za nivo kvaliteta B. Prokapine se mogu izbjeći ispravljanjem kretanja luka. Pored dimenzija žljeba i parametara zavarivanja, na dimenzije korena utiču širina i dubina žljeba u traci. Tokom zavarivanja ovih spojeva korišćena je traka sa 10 mm širokim žljebom. Dimenzije korenog zavara, tabela 4, zadovoljavaju nivo kvaliteta B. Uzimajući u obzir da ultrazvučno ispitivanje nije otkrilo nedostatke u zavarenim spojevima, može se zaključiti da oni takođe zadovoljavaju nivo kvaliteta B.

Tačkaste linije na slikama 5 i 6 pokazuju ivice žljebova tokom zavarivanja spojeva 1 i 2. Kao što se može videti iz ovih slika, širine u korenu metala šava i ZUT su veće nego u zavarenom spoju, uprkos činjenici da su žljebovi bili širi prema centru. Ovo se dogodilo korišćenjem keramičke podkorene trake koja usporava rasipanje toplote tokom zavarivanja korena. Smanjenje rasipanja toplote rezultuje većim zagrevanjem PM, pa je dubina penetracije veća, a ZUT je širi. Ovo usporeno hlađenje očigledno povećava dubinu penetracije i povoljno utiče na sprečavanje nedostatka stapanja u korenom delu zavarenog spoja.

### Zaključci

Zavarivanje u uskim žljebovima s uglom otvora od 20° omogućava uštedu u masi WM i vremenu zavarivanja, kao i u količini dodatnog materijala, u poređenju sa V žljebovima, sa uglovima od 45° do 60°. Ušteta raste sa debljinom osnovnog materijala, kao i povećanjem ugla otvora žljebova, u slučaju ugla od 45° i do 47% u slučaju ugla od 60°, za debljinu PM 30 mm. Rezultati ispitivanja pokazali su da su zavareni spojevi u uskom žljebu, od kojih je jedan napravljen korišćenjem pune žice u horizontalnom položaju, a drugi punjenom žicom u vertikalnom položaju, nije

narrow groove can be performed using the classic MAG procedure.

Both joints were welded without pre-bending of plates and without stiffeners which would reduce their angular deformation. The aim of this welding procedure was to determine the magnitude of such deformation. Angular deformation depends on the amount of heat input and weld face width. Both joints were welded with a relatively high heat input in the final passes, tables 2 and 3. Weld face widths were 16.5 and 14.5 mm, and the angular deformations were 3° and 4°, table 4. Experience has shown that these angular deformations can be considered small in the case of one-sided welded joints of thick materials, with a high energy input.

Weld face of joint 1 satisfies quality level B for welded joints [7]. Weld face of joint 2 has occasional underfills along the middle, of acceptable depth for quality level B. Underfills can be avoided by correcting the arc movement. In addition to groove dimensions and welding parameters, the dimensions of the root are affected by width and depth of the groove in the strip. During the welding of these joints, a strip with a 10 mm wide groove was used. Root weld dimensions, table 4, satisfy quality level B. Taking into account that ultrasound testing did not reveal any defects in the welded joints, it can be concluded that they also satisfy quality level B. Dotted lines in figures 5 and 6 show the groove edges during the welding of joints 1 and 2. As can be seen from these figures, widths in the root WM and the HAZ are greater than in the welded joint centre, despite the fact that grooves were wider towards the centre. This was due to the use of ceramic sub-root strip which slows down the heat dissipation during the welding of the root. Reduction of heat dissipation results in higher heating of the PM, hence the penetration depth is greater and the HAZ is wider. This slowed cooling obviously increases the penetration depth and favourably affects the prevention of lack of fusion in the root part of the welded joint.

### Conclusions

Welding in a narrow groove with the opening angle of 20° enables savings in WM mass and welding time, as well as in the amount of filler material used, compared to welding in V grooves, with angles ranging from 45° to 60°. Savings increase with the parent material thickness, as well as with the increase in groove opening angle, reaching up to 31% in the case of the 45° angle and up to 47% in the case of the 60° angle, for PM thickness of 30 mm.

Test results had shown that narrow groove welded joints, one of which was made using a full wire in



bilo nedostatka stapanja i potpunom penetracijom duž debljina osnovnog materijala, sa malom uglovnom deformacijom.

Kod zavarivanja u uskom žljebu, koristeći gore navedene softverske pakete, mogu se koristiti klasični MAG zavarivačke pištolje. Međutim, oprema za zavarivanje mora biti nove generacije, tako da se može koristiti sa tim programima. Završni zavari i lice šava mogu biti zavareni klasičnom opremom za MAG, u ovom slučaju.

Zbog ograničene dostupnosti korenom delu šava i teškog usmeravanja luka, kontrola dužine luka i praćenje rastopa metala, neophodna je posebna obuka zavarivača. Oprema za zavarivanje sa instaliranim softverom za zavarivanje u uskom žljebu je složenija za korišćenje, a time postoji i potreba za dodatnom obukom.

Ovaj rad je zasnovan na rezultatima istraživanja izvedenih u okviru projekta TR 35024, koji finansira Ministarstvo za nauku, obrazovanje i tehnologiju Republike Srbije.

## References

- [1] SRPS EN ISO 9692 – 1/2012; Zavarivanje i srodni postupci – Preporuke za pripremu spoja – Deo 1: Ručno elektrolučno zavarivanje topivom elektrodom, elektrolučno zavarivanje u zaštitnom gasu sa topivom elektrodnom žicom, gasno zavarivanje, TIG zavarivanje i zavarivanje čelika snopom
- [2] Jernstrom, P., Saarivirta, H., Uusitalo. J.: Kemppi's Reduced Gap Technology (RGT) challenges conventional joint design principles, Kemppi Oy, Lahti, Finland, 2016.
- [3] Bajić B.: Elektrolučno zavarivanje u zaštiti inertnog i aktivnog gasa, Gorenje – Varstroj, Lendava, Slovenija, 1988.
- [4] Popović O., Prokić Cvetković R.: Postupci zavarivanja, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, Srbija 2016.
- [5] Brošura: WiceFusion - Strikingly fast MIG welding, Kemppi Oy, Lahti, Finland, 2017.
- [6] Brošura: WicePenetration - Exceptionally stable welding arc, Kemppi Oy, Lahti, Finland, 2017.
- [7] SRPS EN ISO 5817/2015; Zavarivanje — Spojevi zavareni topljenjem na čeliku, niklu, titanu i njihovim legurama (isključujući zavarivanje snopom) — Nivoi kvaliteta nepravilnosti

the horizontal position and the other using a filled wire in the vertical position, did not have any lack of fusion and were made with full penetration along the parent material thickness, with small angular deformation.

When welding in a narrow groove, using the software packages mentioned above, classic MAG welding guns can be used. However, welding equipment must be new generation, so that it can be used with these programmes. Finishing filling and weld face passes can be welded using classic MAG equipment in this case.

Due to limited accessibility of the root part of the weld and difficult arc guiding, arc length control and molten metal monitoring, special training of welders is required. Welding equipment with installed narrow groove welding software is more complex to use, hence the need for additional training.

This paper was based on the results of research performed within the project TR 35024, financed by the Ministry of Science, Education and Technology of Republic of Serbia.



Mića Đorđević, Dragan Đorđević, Vladimir Đorđević

# Nanošenje olova na ugljenični konstrukcioni čelik - poolovljavanje (homogeno)

## Application of lead to carbon construction steel - lead coating (homogenous)

**Stručni rad / Professional paper**

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

"Tehweld" d.o.o. Loznica [tehweld@yahoo.com](mailto:tehweld@yahoo.com)

Rad je u izvornom obliku objavljen u Zborniku sa savetovanja  
„ZAVARIVANJE 2018“ održanog u Beogradu 10-13. Oktobra 2018

**Rad primljen / Paper received:**

Jul 2018.

**Ključne reči:** olovari, olovo, homogena voda, poolovljavanje, cink-hlorid, kalaisanje.

**Key words:** lead producers, lead, homogenous water, lead coating, zinc chloride, tinning.

### Izvod

Razvojem hemijske industrije nakon II svetskog rata razvijala se i proizvodnja novih poliplasta koji su sve više zamenjivali primenu olova u raznim hemijskim procesima, ali još uvek postoje elementi i postrojenja gde je olovo nezamenljivo.

Pošto se upotreba olova znatno smanjila, uveliko se smanjio i broj radnika koji su radili sa olovom, tako da su olovari postali zanatlije u nestajanju, a literatura o radu s olovom je vrlo oskudna, skoro da ne postoji.

U ovom članku daje se praktična primena nanošenja olova radi zaštite vacuum breaker pumpe metodom homogenizacije – poolovljavanje radi zaštite od dejstva razblažene sumporne kiseline.

Poseban deo rada sa olovom odnosio bi se na zavarivanje, odnosno, na olovarenje, ali u ovom članku o tome neće biti reči ovog puta.

### Uvod

Olovo je odavno u upotrebi (par hiljada godina p.n.e.) jer se dobija relativno lako iz sulfidnih ruda (galenit PbS) pošto je temperatura topljenja ovog metala vrlo niska. Olovom su pokriveni krovovi crkava, učvršćivali se stubovi ograda na mostovima, izrađivale cevi i kanali za dovod i odvod vode, izrađivala municija, radili klizni ležaji (babiti), rade se meki lemovi...

Razvojem hemijske industrije olovo je postalo vrlo važan metal za zaštitu od agresivnih medija, naročito tamo gde se upotrebljava razblažena sumporna kiselina. Najveća primena olova u industriji bila je u drugoj polovini dvadesetog veka, a onda je sve više zamenjivano raznim poliplastima. Međutim, postoje još uvek pogoni koji rade, a u kojima je zastupljeno olovo, koje iz raznih razloga nije moguće da se zameni plastikom, pa je neophodna reparacija postojećih pogona ili pak

### Abstract

With the development of chemical industry after the Second World War, new poly-plastics have been developed and they have changed the application of lead in various chemical processes, but there still are the elements and plants where lead is irreplaceable. Since the use of lead has been significantly reduced, the number of workers who worked with lead has been considerably reduced, so the lead processors have become the craftsmen who are disappearing, and the literature about the work with lead is very deficient, it hardly exists.

In this article, it is given the practical use of lead application for the purpose of vacuum breaker pump protection by the method of homogenization-lead coating for the purpose of protection from the effects of diluted sulfuric acid. A special part of working with lead would be related to welding i.e. welding leads, but this article will not deal with this subject

### Introduction

Lead has been used for a long time (since a couple of thousand years B.C) because it is produced relatively easily from sulfide ores (galena PbS) since the melting temperature of this metal is very low. Lead was used for covering roofs of churches, firming the pillars of the bridge fences, manufacturing pipes and canals for water supply and drainage, manufacturing ammunition, manufacturing sliding bearings (babits), producing soft soldering...

By the development of chemical industry lead has become very important metal for the protection from aggressive media, especially where diluted sulfuric acid is used. The widest spread use of lead in industry was in the second half of the twentieth century and since then it has been being replaced by various poly-plastics. However, there still are the plants which work, and in which lead is produced



zamena istrošenih delova novim. Te poslove sa olovom rade majstori OLOVARI. Nažalost, olovara je sve manje, a i stručnih ljudi, inženjera, koji bi trebalo da izvedu i prate olovarske poslove.

U ovom radu dati su neki osnovni podaci o načinu rada pri nanošenju olova na površine ugljeničkog čelika, poolovljavanju.

### Osnovni podaci o olovu

Olovo se dobija uglavnom na dva načina: iz rude olova (galenit PbS) i reciklažom starog olova.

U oba slučaja cena olova i njegovih legura je relativno niska jer su procesi jednostavni i odvijaju se na niskim temperaturama.

Olovo spada u grupu teških i lakotopivih obojenih metala. Kristališe u kubnu, površinski centriranu rešetku. Olovo je nemagnetično i vrlo duktilno (lat. ductilis – mek), može se lako oblikovati i istegljivo je, dobro je kovljivo. Na preseku je blago plavičasto – sjajno, ali se brzo presvlači pasiviziranim, oksidnim slojem mat sive boje koji ga štiti od daljeg nagrizanja.

specifična gustina  $\rho = 11,34 \text{ g/cm}^3$

temperatura topljenja  $T = 327,4^\circ\text{C}$

prekidna čvrstoća  $\sigma_m = 10\text{-}13 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}$

izduženje  $\delta = 30\text{-}40\%$

tvrdoća HB = 3,2-4,5 (na Mosovoj skali 1-1,5)

brzina zvuka  $N = 1260 \text{ m/s}$  (značajno za spajanje eksplozijom)

specifična toplota  $C = 131 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$

toplotna provodljivost  $\lambda = 35 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

modul elastičnosti  $E = 17000 \text{ MPa}$

Olovo ne otvrdnjava plastičnom deformacijom na hladno. U zavisnosti od smera izduženja kristalnog zrna (smera valjanja) različite su mehaničke osobine, ali već na sobnoj temperaturi, posle relativno kratko vremena, olovo rekristalizira i dolazi u prvobitno stanje. Primeše u olovu (legirajući elementi) utiču na povećanje mehaničkih osobina i menjaju otpornost olova na agresivne medije. Primeše koje prate olovo su: bakar, antimon, arsen, bizmut, cink, sumpor, kalaj, srebro, zlato.

U olovskoj praksi olovo se deli uglavnom na meko, čistoće  $> 99\%$  i tvrdo, legirano najčešće antimonom (sa  $13\%$  Sb i  $87\%$  Pb dobija se eutektička legura,  $T_e=216^\circ\text{C}$ ).

and which, because of various reasons, is not possible to be replaced with plastics, so it is necessary the reparation of the existing plants or replacement of used parts by new ones. These works are mostly done by the craftsmen LEAD PRODUCERS. Unfortunately, there are less and less lead producers and also the appropriate professionals, engineers, who would do and monitor the works of lead producers. In this project, there are some basic data about the way of work when applying lead on the surface of carbon steel, i.e. lead coating.

### Basic data about lead

Lead is obtained mostly in two ways:

From the lead ore (galena PbS) and by recycling old lead.

In both cases the price of the lead and its alloys is relatively low because the processes are simple and are done at low temperatures.

Lead is classified in the group of heavy and easily melted ferrous metals. It is crystallized in a cube grid, centered on the surface. Lead is non-magnetic and very ductile (lat. ductilis- soft), it can be easily shaped and is elastic, it can be well wrought. On the cross section it is slightly bluish – lustrous, but it is immediately coated with passive, oxide layer of matt grey color which protects it from further corrosion.

Specific density  $\rho = 11,34 \text{ g/cm}^3$

Melting point  $T = 327,4^\circ\text{C}$

Tensile strength  $\sigma_m = 10\text{-}13 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}$

Elongation  $\delta = 30\text{-}40\%$

Hardness HB = 3,2-4,5 (on the Moss' scale 1-1,5)

Speed of sound  $N = 1260 \text{ m/s}$  (significant for merging with explosion)

Specific heat  $C = 131 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$

Thermal conductivity  $\lambda = 35 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

Modulus of elasticity  $E = 17000 \text{ MPa}$

Lead does not harden by cold plastic deformation. Depending on the direction of elongation of crystal grain (direction of rolling) there are various mechanical properties, but on the room temperature, after relatively short time, lead re-crystallizes and comes to the previous condition. The primes in lead (alloying elements) influence to mechanical properties and change the resistance of lead to aggressive media. The primes which follow lead are: copper, antimony, arsenic, bismuth, zinc, sulfur, tin, silver, gold.

In the lead producing practice lead is divided mostly to: soft lead, of the purity  $> 99\%$  and hard, alloyed mostly with antimony (with  $13\%$  Sb and  $87\%$  Pb it is obtained eutectic alloy,  $T_e=216^\circ\text{C}$ ).



Legura kalaj-olovo Pb 61.9% i Sn 38.1%,  $T_e = 183^\circ\text{C}$ . Adhezijska moć lema se povećava sa povećanjem Sn u leguri sve do eutektičke tačke, a posle opada.

Olovo je vrlo postojano na dejstvo sumporne, fluorovodonične i hlorovodonične (sone) kiseline, hlor, vode, vazduha, sumpor dioksida, sumporvodonika... Hemijska otpornost olova potiče od pasiviranog sloja koji se brzo stvara na površini u obliku olovo-oksida ili olovo-oxidno-karbonatnog sloja. U dodiru sa sumpornom kiselinom stvara se olovo sulfat ( $\text{PbSO}_4$ .)

Razblažena sumporna kiselina na povišenim temperaturama stvara na površini olova nestabilno jedinjenje koje nije dovoljno otporno na agresivne uslove, stvara se rastvorna so. Zbog toga se čisto olovo legira bakrom.

Destilovana voda polako nagriza olovo ako u njoj ima rastvorenog kiseonika.

Olovo nije postojano u azotnoj i sirćetnoj kiselini jer se na površini stvaraju lakotopive soli.

Prisutnost bizmuta i cinka smanjuje korozionu otpornost olova zbog velike razlike u elektro-potencijalu.

Korozionu otpornost poboljšavaju: srebro, nikal i bakar ako se nalaze u manjim količinama (ispod 0,1%). U većim količinama snižavaju otpornost olova na koroziju.

The alloy tin-lead Pb 61.9% and Sn 38.1%,  $T_e = 183^\circ\text{C}$ . The adhesion power of soldering is increased with the increasing of Sn in the alloy up to the eutectic point and then it is falling down.

Lead is very resistant to the effects of sulfuric, hydrofluoric acid, chlorine, water, air, sulfur dioxide, sulfur hydrogen... Chemical resistance of lead comes from the passive layer which is immediately created on the surface in the form of lead oxide or lead oxide carbon layer. In the contact with sulfuric acid it is created lead sulfate ( $\text{PbSO}_4$ .)

At higher temperatures diluted sulfuric acid creates on the surface of lead an unstable compound which is not resistant enough to aggressive conditions, dissolved salt is created. Because of this, pure lead alloys with copper.

Distilled water steadily erodes lead if there is dissolved oxygen.

Lead is not stable in nitric and acetic acid because easily dissolvable salts are created on the surface.

The presence of bismuth and zinc reduces corrosion resistance of lead because of the great variation in electro-potential.

Corrosion resistance is improved by: silver, nickel and copper if their presence is in small quantities (under 0,1%). In large quantities they lower the resistance of lead to corrosion.

<b>DIN Pb 99,985</b> Standard DIN 1719	
Element	Težina u procentima %
Pb	99.985-99.999
Bi	0.01 – 0.01
Sb	0.001 – 0.002
Cu	0.001 – 0.001
Fe	0.001 – 0.001
Zn	0.001 – 0.001
Sn	0.001 – 0.001
As	0.001 – 0.001
Ag	0.001 – 0.001

Modul elastičnosti,  $E$ .....17.00 GPa

Prekidna čvrstoća,  $R_m$ .....12.50 MPa

**Tabela br. 1** Hemijski sastav čistog olova  
**Table number 1** Chemical composition of pure lead



<b>DIN Pb 99,985 Cu</b> Standard DIN 17640-1	
Element	Težina u procentima %
Pb	99.985-99.985
Cu	0.04 – 0.05
Bi	0.01 – 0.01
Ag	0.005 – 0.005
Sn	0.005 – 0.005
Sb	0.001 – 0.001
Fe	0.001 – 0.001
Zn	0.001 – 0.001
As	0.001 – 0.001

*Modul elastičnosti, E.....17.00 GPa*

*Prekidna čvrstoća, Rm.....14.00 MPa*

**Tabela br. 2** Hemijski sastav olova legiranog bakrom

**Table number 2** Chemical composition of the lead alloyed with copper

### Zaštita ugljeničnog konstrukcionog čelika olovom

Zaštita se može izvesti rastavljivom i nerastavljivom vezom olova i čelika.

Rastavljiva veza se sastoji u oblaganju površina olovnim limom koji se pričvršćuje za čeličnu konstrukciju zavrtnjima. Preko glave zavrtnja stavlja se olovna obloga koja štiti zavrtnj od agresivnog medija. Olovni limovi se međusobno zavaruju po završenom oblaganju. Zavarivanje može biti sučeono ili ugaono preklapanjem limova.

Ovaj princip zaštite se primenjuje na posude koje su opterećene na pritisak koji dodatno priljubljuje olovo i lim na čelik. U slučajevima gde su opterećenja u posudama i cevima kombinovana: pritisak i vacuum ili samo vacuum, neophodno je da se ostvari prisna veza između čelika, koji daje čvrstoću i krutost konstrukciji i olova koje služi da zaštiti konstrukciju od hemijskog uticaja agresivnog medija.

Nerastavljivu vezu je moguće postići na više načina, a uvek se radi manje-više o postupku mekog lemljenja koje se naziva poolovljavanje.

Komercijalno poolovljavanje se može izvršiti:

- gasnim postupkom
- TIG-postupkom
- eksplozijom.

U ovom izlaganju razmotriće se samo primena gasnog postupka koji je najstariji, najrašireniji i univerzalni način poolovljavanja.

U principu se poolovljavanje vrši mekim, čistim olovom (najmanje 3 devetke), mada je tehnički izvodljivo poolovljavanje i tvrdim olovom, ali je ta primena ređa. Ono što je karakteristično za rad sa olovom je specifičan alat, odnosno upotreba olovarskih brenera koji su malih dimenzija, tanka i

### Protection of carbon construction steel by lead

The protection can be performed by separable and inseparable connection of lead and steel.

The separable connection consists of coating the surfaces with lead tin which is fastened to a steel construction by screws. Over the head of a screw it is put lead coating which protects a screw from aggressive media. Lead tins are welded to each other after the completed coating. Welding can be frontal or corner by overlapping tins.

This principle of the protection is not applied to the vessels which are loaded to the pressure which additionally attach lead and tin to steel. In the cases where the loads in the vessels and pipes are combined: pressure and vacuum or only vacuum, it is necessary to create close connection between steels, the lead which gives firmness and inflexibility to the construction and the lead which serves to protect the construction from the chemical influence of aggressive media.

It is possible to obtain an inseparable joining in many ways, and it is always more or less about the procedure of soft soldering which is called lead coating.

Commercial lead coating can be done by:

- Gas procedure,
- TIG- procedure
- Explosion

In this project only the use of gas procedure will be considered and it is the oldest, the widest spread and universal way of lead coating.

Generally, lead coating is done by soft, pure lead (at least 3 nines), although it is technically possible to do lead coating with hard lead, but that usage is rarer. The main feature of working with lead is specific tools, i.e. the use of lead producing brener tools which are of small dimensions, thin and



savitljiva creva, što sve skupa omogućava brzo reagovanje, manje zamaranje i dug rad olovara jer je postupak vrlo spor. Rad sa olovom zahteva posebnu veštinu koju olovari treba da savladaju jer je olovo tečljivo, ne menja boju pri zagrevanju i ima veliku specifičnu gustinu, što predstavlja poseban problem u radu kad su u pitanju prinudni položaji.



*Slika br. 1a Olovarski brener*

*Picture number 1a. Lead producing Brener Tool*

Gasnim postupkom je moguće poolovljavanje na dva načina: kalaisanjem površine čelika na koju se potom nanosi olovo i homogenizacijom, tj. primenom homogene vode.

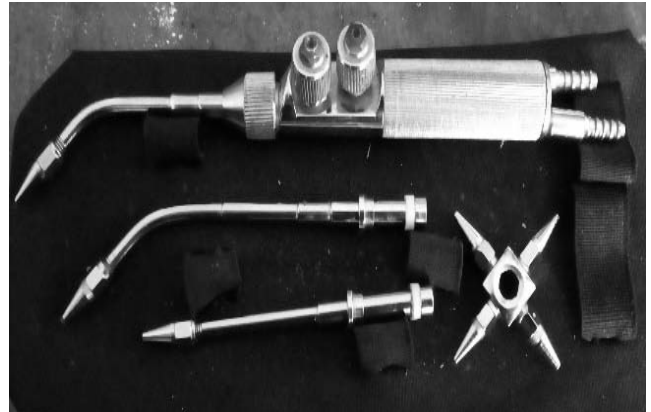
#### **Postupak kalaisanja**

Osnovni preduslovi za uspešno kalaisanje su: čistoća, temperatura, dobar topitelj i lem.

Čistoća čelika se postiže ručnim brušenjem površine do metalnog sjaja, temperatura ne sme da bude ni preniska niti previsoka jer će "izgoreti" topitelj (doći će do pasivizacije i lem će da klizi sa površine u obliku kuglica. U tom slučaju jedino je rešenje da se izvrši ponovo prebrusivanje, zagrevanje, premazivanje topiteljem i nanošenje lema sa utrjavanjem istopljenog lema kudeljom, keramičkim vlaknom i sl.

Osnovna uloga topitelja je da spreči oksidaciju u toku zagrevanja i da smanji površinske napone između osnovnog materijala i rastopljenog lema. Topitelji mogu biti u obliku praška, paste ili tečnosti. Kao topitelj upotrebljava se najčešće cink-hlorid ( $ZnCl_2$ ) koji se dobija dodavanjem cinka u sonu kiselinu. Lem je legura kalaja i olova (najčešće 60/40). Sam proces treba izvesti brzo i zbog toga se zagrevanje vrši intenzivno. Na nakalaisanoj površini ne sme da bude deo sloj lema niti zaostaci prljavštine (vlakna od kudelje, keramike i sl.). To se odstranjuje čeličnom četkom dok je lem

flexible hoses, which completely enable fast reaction, less fatigue and long work of lead producers because the procedure is very slow. The work with lead demands special skills which lead producers have to learn because lead is liquid, it does not change color while heated and has a specific density which represents special problem in working when it is about forced positions.



*Slika br.1b Olovarska garnitura*

*Picture number 1b. Lead producing equipment*

Lead coating by gas procedure is possible in two ways: by tinning the surface of steel on which then lead is applied, and homogenization i.e. use of homogenous water.

#### **Tinning procedure**

The basic preconditions for successful tinning are: purity, temperature, good smelter and solder.

The purity of steel is obtained by manual grinding of the surface to metal shine, the temperature has to be neither too low nor too high because the smelter will "burn" (it will come to the passiveness and the solder will slide from the surface in the form of balls. In that case the only one solution is to redo grinding, heating, coating with smelter and applying solder with liniment of melted solder with hemp, ceramic fiber and so on.

The main role of the smelter is to prevent oxidation during the heating and to reduce surface voltages between the main material and melted solder. The smelters can be in the form of powder, paste or liquid.

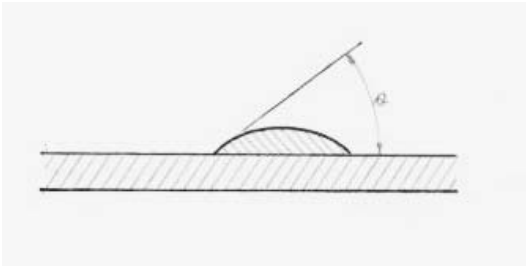
The most frequently used smelter is zinc-chloride ( $ZnCl_2$ ) which is obtained by adding zinc in hydrochloric acid. The solder is the alloy of tin and lead (the most frequently 60/40). The process itself has to be done fast and because of that heating is intensively done. On the tinned surface there must not be a thick layer of solder or remains of dirt još u



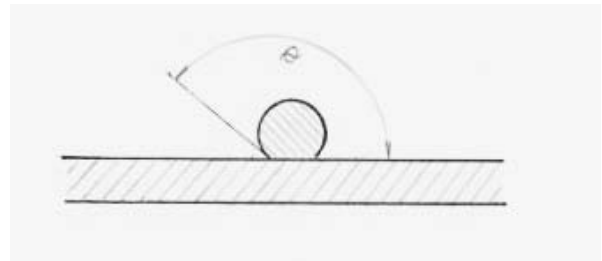
rastopljenom stanju. Debeli nanos lema bi dodatno legirao olovo, što bi bilo nepoželjno.

Kalaisanjem se aktivira površina za bolje kvašenje pri nanošenju prvog, kontaktnog sloja olova. Prionljivost nanetog sloja zavisi od kapilarnih sila, odnosno od ugla pod kojim je delić rastopljenog metala lema u interakciji sa čvrstom podlogom.

(hemp fibers, ceramics and so on). It is removed with steel brush while the solder is still in a melted form. A thick coat of solder would additionally alloy lead which would be undesirable. By tinning the surface is activated for better soaking while it is applied the first, contact layer of lead. The adhesion of the applied layer depends on capillary forces, i.e. on the angle under which there is the part of the melted metal of solder in the interaction with a firm base



a) Good or very good soaking  
a) Dobro ili vrlo dobro kvašenje.



b) Bad soaking or there is no soaking at all  
b) Loše kvašenje ili ga uopšte nema

Picture number 2 (a,b)

Slika br.2 (a,b)

Pri toplom kalaisanju uranjanjem u tečni Sn lem čeličnih elemenata, dolazi do stvaranja jedinjenja  $FeSn_2$ , koje pri zagrevanju u toku nanošenja olova ne menja sastav već samo tip kristalne rešetke. Ovo jedinjenje omogućava dobar spoj (bolje kvašenje površine i lakše vezivanje olova, bez grešaka neprionljivosti)

#### Nanošenje olova na kalaisanu površinu

Kalaisanu površinu na koju se nanosi olovo treba postaviti u horizontalan položaj, a ivice treba ograditi kako ne bi rastopljeno olovo curilo. Poštujući navedene principe moguće je izvršiti poolovljavanje površina svih oblika i veličina.

During the hot tinning by soaking to the liquid Sn solder of steel elements, there occurs the creation of the compound  $FeSn_2$ , which while heated during the application of lead does not change the composition but only the type of the crystal grid. This compound enables a good joining (better soaking of the surface and easier connecting of lead, without the faults of not being adhesive).

#### Application of lead to a tinned surface

The tinned surface on which lead is applied should be set to a horizontal position and the edges should be surrounded in order that the melted lead would not leak. Respecting the above principles it is possible to perform lead coating of the surfaces of all forms and sizes.



Picture number 3. The additional material are triangle bars (sides of the bar 6-10 mm) which are casted in a mould and immediately used in order not to come to the occurrence of surface oxidation of lead.

Slika br. 3 Dodatni materijal su trouglaste šipke (stranice šipke 6 – 10mm) koje se liju u kalupu i odmah upotrebljavaju kako ne bi došlo do površinske oksidacije olova



Pre početka nanošenja prvog sloja potrebno je izvršiti predgrevanje radnog komada na temperaturu 60-80°C (ispod 100°C).

Debljina jednog nanetog sloja olova je 1,5-3mm. Uobičajeno se traže nešto veće debljine, pa je potrebno naneti bar dva sloja.

Pošto se nanošenje prvog sloja vrši bez rastapanja površine osnovnog materijala, ovaj postupak spada u meko lemljenje (temperatura ne prelazi 450°C), ali nanošenje drugog i sledećih slojeva vrši se rastapanjem osnove i dodavanjem Pb šipke, pa se dalji postupak naziva navarivanje olova ili olovarenje.

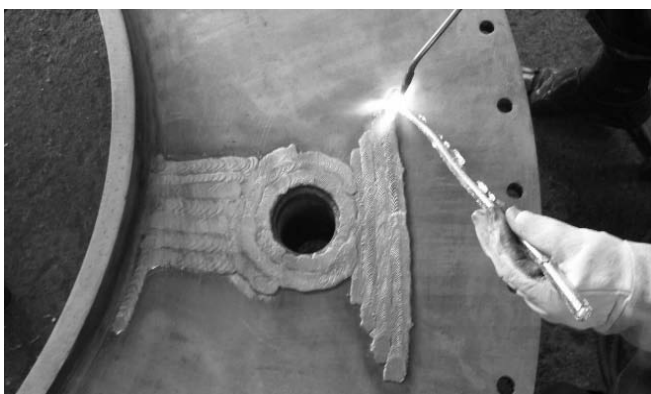
Pre nanošenja svakog sledećeg sloja neophodno je da se izvrši uklanjanje oksidisane i kontaminirane površine ručnim šaberovanjem (grebanjem) ili rotacionom čeličnom četkom. Takođe je neophodno da se olovna šipka ili žica očiste od oksida neposredno pre nanošenja topljenjem.

Kao gorivi gasovi upotrebljavaju se najčešće acetilen (disugas), vodonik i butan. Plamen treba da je neutralan i intenzivan (znatno jači nego pri zavarivanju). Čistiji i svetliji je navar ako se radi sa vodonikom, ali je teže kontrolisati kupku (ne vidi se jezgro plamena), pa je potrebna veća veština i iskustvo.

Nakon postizanja potrebne debljine površina olova se ravna širokim plamenom i ta operacija se naziva peglanje. Tako se ujednačava debljina plakature.

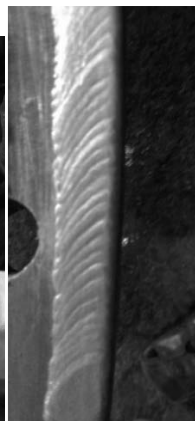
Nakon hlađenja potrebno je izvršiti kontrolu debljine, stanje površine i prionljivost.

Before the beginning of application of the first layer it is necessary to do the previous heating of a working piece, on the temperature 60-80°C (under 100°C). The thickness of one applied layer of lead is 1,5-3mm. Usually, thicker layers are usually demanded, so it is necessary to apply at least two layers. Since the application of the first layer is done without the melting of the surface of the basic material, this procedure is classified as soft soldering (the temperature does not exceed 450°C), but application of the second and other layers is done by melting the basis and adding Pb bar, so the further procedure is called welding of lead or lead coating. Before applying every other layer it is necessary to do the removing of the oxidized and contaminated surface by manual scraping (scratching) or rotational steel brush. It is also necessary for a lead bar or wire to be cleaned from oxides immediately before applying by smelting. As combustive gases the most frequently used are acetylene, hydrogen and butane. The flame should be neutral and intensive (much stronger than while welding). The weld is clearer and lighter if it is worked with hydrogen but it is more difficult to control the bath (the core of the flame cannot be seen), so that more skills and experience are necessary. After obtaining the necessary thickness the surface of lead is flattened with wide flame and that operation is called ironing. That is the way to unify the thickness of the coating. After cooling it is necessary to do the control of thickness, condition of the surfaces and adhesiveness.



**Picture number 4a.** Application of lead to the tinned surface of the vacuum breaker pump

**Slika br. 4a** Nanošenje olova na kalaisanu površinu vacuum breaker pumpe



**Figure 4b, 4c** Welded detail  
**Slika 4b, 4c** Navareni detalj



## Homogeno poolovljavanje

Princip rada ima sličnosti sa već opisanim postupkom poolovljavanja nakon kalaisanja. Osnovna je razlika što se na očišćenu, izbrušenu površinu premazuje homogena voda i potom se na tako nakvašeni deo direktno nanosi rastopljeno olovo bez prethodnog kalaisanja. Homogena voda je odličan topitelj a čini je rastvor cink-oksida (ZnO) i kalaj-hlorida (SnCl) u koncentrovanoj sonoj kiselini (HCl) i destilovanoj vodi (H<sub>2</sub>O).

Homogena voda vrši dobro kvašenje lema i osnovnog materijala, podnosi veću temperaturu pri radu od cinkove soli sone kiseline (ZnCl<sub>2</sub>). Primenjuje se za nanošenje olova direktno na ugljenični čelik, bez potrebe prethodnog kalaisanja. Homogena voda je znatno skuplja od ZnCl<sub>2</sub>. Proces nanošenja prvog sloja je sporiji od nanošenja na kalaisanu površinu, a olovar je izložen većem uticaju isparenja kiseline i olova. Primenjuje se uvek tamo gde je nemoguće izvršiti pripremu kalaisanjem. Nedostatak je i to što postoji mogućnost pojave poroznosti usled zarobljavanja isparenja homogene tečnosti.

Sve ostalo, posle nanošenja prvog sloja, važi isto što je već opisano pri poolovljavanju nakon kalaisanja.

Primer: poolovljavanje vacuum breaker pumpe koja radi u procesu dobijanja sumporne kiseline.

Dimenzije površina za poolovljavanje Ø 2185. Debljina nanetog olova.....d = 5mm.

Olovo Pb 99,985 Cu

Uslovi rada:

- temperatura u toku procesa 61°C

- vacuum u toku procesa -121,6 mbar

SO<sub>2</sub> 10 – 11 %

SO<sub>3</sub> 0 %

O<sub>2</sub> 13 – 14 %

N<sub>2</sub> 68 – 69 %

CO<sub>2</sub> 0 %

koncentrovana sumporna kiselina – u tragovima

### Kontrola

Ispitivanje debljine

a) Moguće je izvršiti kontrolu rastapanjem pojedinih mesta i merenjem kljunastim merilom (šublerom) ili dubinomerom, ili ubadanjem iglom i očitavanjem debljine, pa kontrolisana mesta navariti ponovo olovom. To su zastarele metode, a sada se primenjuju ultrazvučni instrumenti za merenje debljine koji se pre upotrebe baždare na etalonu koji se lako može da napravi za konkretan slučaj.

## Homogenous lead coating

Principle of functioning is similar to the already described procedure of lead coating after tinning. The main difference is that homogenous water is smeared on the cleaned, sanded surface and then, on that soaked part, melted lead is directly applied without previous tinning. Homogenous water is excellent smelter and consists of the solution of zinc-oxide (ZnO), tin-chloride (SnCl) in the concentrated hydrochloric acid (HCl) and distilled water (H<sub>2</sub>O). Homogenous water wets well solder and main material, tolerates higher temperature while working than the zinc salt of hydrochloric acid (ZnCl<sub>2</sub>). It is applied for the lead coating directly to carbon steel, without the necessity for previous tinning. Homogenous water is much more expensive than ZnCl<sub>2</sub>. The process of applying the first layer is slower than applying to a tinned surface and a lead producer is exposed to greater influence of acid and lead evaporations. It is always applied where it is impossible to do the preparation by tinning. One of the deficiencies is also the one when there are no possibilities of occurrence of porosity for the reasons of capturing the evaporations of homogenous liquid. All others, after the application of the first layer, is the same as it has been described, while lead coating after tinning.

Example: lead coating of the vacuum breaker pump which works in the process of obtaining sulfuric acid.

Dimensions of the surface for lead coating: Ø 2185.

Thickness of the applied lead .....d = 5mm.

Lead Pb 99,985 Cu

Conditions of work:

- temperature during the process - 61°C

- vacuum during the process -121,6 mbar

SO<sub>2</sub> 10 – 11 %

SO<sub>3</sub> 0 %

O<sub>2</sub> 13 – 14 %

N<sub>2</sub> 68 – 69 %

CO<sub>2</sub> 0 %

Concentrated sulfuric acid – in traces

### Control

Examination of the thickness

a) It is possible to do the control by melting individual places and measuring with a caliper (Schublehre) or sounder, or sticking a needle and reading the thickness and then again welding with lead the controlled spots. Those are outdated methods, nowadays we use ultrasound instruments for measuring thickness which are calibrated on the die which can be easily made for a specific case.

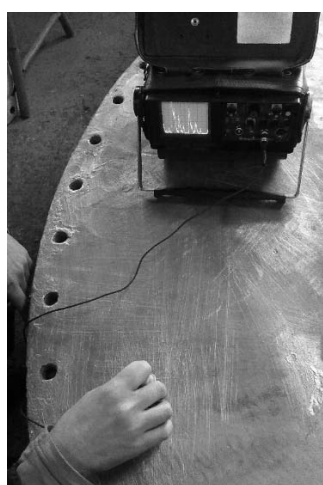


b) Opšta prionljivost se kontroliše ultrazvučnim aparatom uz primenu normalnih sondi (90°C). Princip kontrole treba da je kao kod svakog bimetala, a to je da spoj treba da omogući povratni eho od donje površine čelika. Ovo se lako izvodi ako su u pitanju ravne površine, a ako su u pitanju zakrivljene površine, onda se primenjuje tehnika gubitka energije ultrazvuka (Nema povratnog eha od kontakta čelik-olovo, već se isti gubi u čeliku).

c) Stanje površine i ivična prionljivost se ispituju penetrantima. Kvalitet i strogost kontrole mogli bi da budu definisani prema dogovoru sa projektantom, naručiocem ili prema standardu za klizne ležajeve ISO 4386.

b) General adhesion is controlled by an ultrasound device with the application of normal probes (90°C). The principle of control should be as it is for every bimetal, and that is that a joining should enable a reverse echo from the bottom surface of steel. This can be done easily if it is about flat surfaces, but if it is about curved surfaces, then, it is applied the technique of losing ultrasound energy (there is not a reverse echo from the contact steel-lead, it is lost in steel).

c) The condition of the surface and edge adhesiveness are examined with penetrates. The quality and strictness of the control could be defined according to the agreement with the designer, ordering party or according to the standard for sliding bearings ISO 4386.



**Picture number 5.** Presentation of the ultrasound control of vacuum breaker pump after ironing the lead surface

**Slika br. 5** Prikaz ultrazvučne kontrole vacuum breaker pumpe nakon pegljanja površine olova

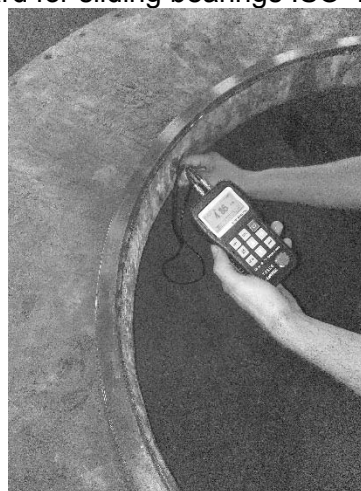
### Zaštita na radu

Olovne pare su otrovne, utiču na zdravstveno stanje radnika i zato se moraju preduzeti odgovarajuće mere. Lica koja rade sa olovom ne smeju biti mlađa od 16 godina. Osnovna zaštita bila bi dobra ventilacija i lična higijena kao i primena osnovnih sredstava za zaštitu.

Olovo utiče na intelektualni razvoj, nervni sistem, povećanje krvnog pritiska, smanjuje funkciju bubrega, izaziva anemiju i reproduktivne probleme. Posebno treba voditi računa pri radu poolovljavanja jer pored olovnih para tu su i isparenja od topitelja (kiseline).

### Lična higijena

Olovari moraju da nose odela koja se lako peru (keper). Potrebno je da se nosi kapa od kepera, zaštitne kožne rukavice od meke (jelenske, jareće) kože.



**Picture number 6.** Measuring the thickness of the lead  
**Slika br. 6** Merenje debljine olova

### Protection at work

Lead evaporations are poisonous; they influence health conditions of the workers so appropriate measures have to be taken. The persons who work with lead must not be younger than 16. The basic protection would be good ventilation and personal hygiene as well as using the basic protection equipment.

Lead has the influence to intellectual development, nervous system, blood pressure increase, it reduces the function of kidneys, provokes anemia and reproductive problems. A special care should be taken while working on lead coating because besides lead evaporation there are also the evaporations of smelters (acids).

### Personal hygiene

Lead producers have to wear clothes which are easy to be washed (twill). It is necessary for them



Olovari treba da imaju dvostruki radni ormar, jedan za radno a drugi za čisto odelo.

Pošto plamen nije intenzivne svetleće boje, a olovo ne menja boju pri topljenju, nisu potrebne zaštitne naočari kao za autogeno zavarivanje, čelika npr.

Poželjno je nositi zaštitnu papirnu masku za disanje, kao zaštitu od prašine ako su takvi uslovi u prostoriji.

Najvažnija zaštita disajnih organa čini se provetravanjem bilo prirodnim, bilo veštačkim putem.

Hrana ne sme da se unosi u prostoriju gde se radi sa olovom. Olovari moraju redovno da vrše lekarske preglede, najmanje jednom godišnje.

Ukoliko se radi u tesnim i zatvorenim prostorima, što je čest slučaj u toku raznih remontnih radova, onda treba voditi računa o mogućnosti zasićenja prostora zapaljivim gasovima. Naročito je opasno ako se olovarenje vrši vodonikom ( $H_2$ ) u zatvorenom prostoru. Tada treba da radi jedan olovar uz stalni nadzor i merenje koncentracije gasova, uz češću zamenu sa drugim olovarom. Zamena je potrebna nakon svakih 45 minuta. Sve ostalo što važi za zaštitu pri radu gasnim zavarivanjem važi i za olovarske radove.

## Literature

- (1) Dr Mirković R. Arsenić R. – Mašinski materijali, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Srbija, Beograd 1999. (PhD Mirković R., Arsenić R.- Engineering Materials, Institution for Schoolbooks and Teaching Tools, Serbia, Belgrade 1999)
- (2) Staniković V. – Mašinski materijali sa termičkom obradom, Srbija Novi Sad 1983. (Staniković V.-

to wear a twill cap, protective leather gloves made of soft (deer and goat) leather. Lead producers should have double cabinet, one for working clothes and one for clean clothes. Since the flame is not of intensively shining color, and lead does not change color while melted, protection glasses are not necessary as it is the case with autogenous welding of, for example, steel. It is desirable to wear protection paper mask for breathing, as well as the protection form dust if the room has such conditions. The most important protection of respiratory organs is done by ventilation, whether in natural way or by air-conditioning. Food must not be taken to the room where it is worked with lead. Lead producer have to regularly go to medical examinations, at least once a year. If they work in small and close rooms, which is a usual case during various repair works, then, they should take care of the possibility of saturating the room with inflammable gases. It is especially dangerous if lead coating is done with hydrogen ( $H_2$ ) indoors. Then, one lead producer should work with the constant supervision and measuring the concentration of gases, and frequent changing with another lead producer. The change is necessary every 45 minutes. All other measures which are taken while working with gas welding are applied to lead producing works.

- Engineering Materials with Thermal Processing, Serbia Novi Sad 1983)
- (3) Smiljanić M., Martinovski V. – Lemljenje, Srbija Beograd DUZS 2001.(Smiljanić M., Martinovski V. – Soldering, Serbia Belgrade DUZS 2001)
- (4) WIKIPEDIA – osobine i svojstva olova (WIKIPEDIA – characteristics and properties of lead)



## SERTIFIKACIJA OSOBLJA ZA ZAVARIVANJE

Ukupni cilj sertifikacije je da stvori poverenje kod svih strana da sistem menadžmenta ispunjava specificirane zahteve. Vrednost sertifikacije je u stepenu javnog poverenja i verovanja, da je ona obavljena nepristrasnim i kompetentnim ocenjivanjem preko treće strane. Strane koje su zainteresovane za sertifikaciju obuhvataju, pored klijenata sertifikacionog tela, korisnike organizacija, vladina tela, nevladine organizacije i potrošače i druge predstavnike javnosti

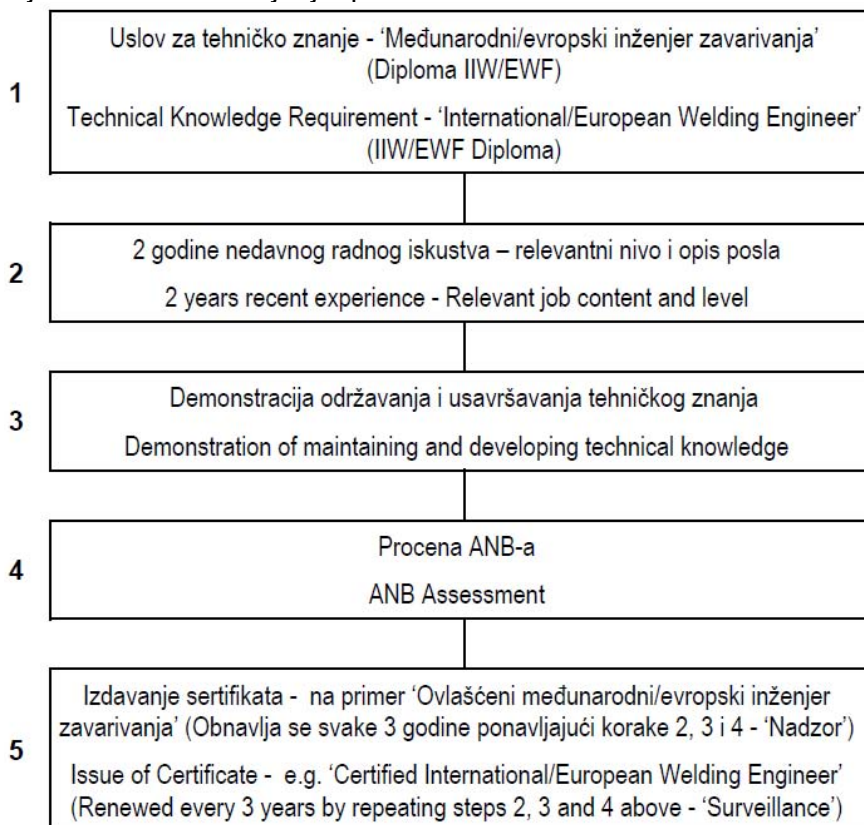
Bezbednost i profit zavise od tehničke kontrole operacija zavarivanja. Ključno osoblje u svim aktivnostima vezanim za zavarivanje mora posedovati odgovarajući nivo stručnosti u tehnologiji zavarivanja i njegovoj primeni.

Pored zapošljavanja stručnih i proverenih zavarivača, proizvođači bi trebalo da osiguraju i da inženjeri, projektanti i tehničari uključeni u zavarivanje imaju dokazano relevantno iskustvo. Ovo sve više postaje zahtev za dobijanje posla:

trend za koji se očekuje da će rasti. Standard EN ISO 14731 «Koordinacija zavarivanja – zadaci i odgovornosti» zahteva da osobe sa odgovornostima povezanim sa zavarivanjem moraju biti u mogućnosti da pokažu da su stručni za izvršenje tih zadataka. Sem toga, da bi se primenjivao standard EN ISO 3834, neophodno je primenjivati i standard EN ISO 14731.

EFW i IIW predstavljaju dve glavne organizacije za zavarivanje koje poseduju međunarodnu stručnost u oblasti zavarivanja i srodnim tehnologijama.

EFW/IIW struktura sertifikacije osoblja je jednostavno sredstvo kojim se može proceniti i prepoznati sposobnost za obavljanje određenog posla. Ona definiše profil obrazovanja, znanje, iskustvo i odgovornosti koje se zahtevaju za široko područje opšte poznatih zavarivačkih zadataka i daje proceduru profesionalnog ocenjivanja, (videti sliku).



Pre ostalih detalja vezanih za sertifikaciju osoblja za zavarivanje u Srbiji, poželjno je još jednom objasniti pojmove koji se i pored dugotrajne primene, još uvek mešaju ili se ne razumeju dovoljno.

1) **Akreditacija** predstavlja određivanje, od strane akreditacionog tela, kompetentnosti organizacija za ocenjivanje usaglašenosti, pri čemu se zvanično potvrđuje njihova sposobnost da obavljaju određene poslove ocenjivanja usaglašenosti.



## 2) Ocenjivanje usaglašenosti i tela za ocenjivanje usaglašenosti

Ocenjivanje usaglašenosti je svaka aktivnost kojom se utvrđuje da li su ispunjeni određeni zahtevi koji se odnose na proizvod, proces, uslugu, sistem ili osobu.

Telo za ocenjivanje usaglašenosti je pravno lice ili deo pravnog lica koje obavlja poslove ocenjivanja usaglašenosti, uključujući ispitivanje, etaloniranje, sertifikaciju i kontrolisanje.

## 3) Razlika između ispitivanja, kontrolisanja i provere.

Ispitivanje je utvrđivanje jedne ili više karakteristika objekata ocenjivanja usaglašenosti, u skladu sa procedurom.

Kontrolisanje je pregledanje projekta proizvoda, samog proizvoda, procesa ili ugradnje i utvrđivanje njihove usaglašenosti sa specifičnim zahtevima ili, na osnovu profesionalnog mišljenja, sa opštim zahtevima.

Provera je sistematičan, nezavisan i dokumentovan proces za dobijanje dokaza provere i njegovo objektivno vrednovanje da bi se odredio nivo do kojeg su ispunjeni specifikirani zahtevi.

## 4) Ocene usaglašenosti preko 1., 2., i 3. strane

Ocenjivanje usaglašenosti pokazuje da su ispunjeni specifični zahtevi koji se odnose na proizvod, sistem, osobu ili telo.

Aktivnost ocenjivanja preko prve strane je aktivnost ocenjivanja usaglašenosti koju obavlja osoba ili organizacija koje daju objekat.

Aktivnost ocenjivanja preko druge strane je aktivnost ocenjivanja usaglašenosti koju obavlja osoba ili organizacija koja je kao korisnik zainteresovana za objekat.

Aktivnost ocenjivanja preko treće strane je aktivnost ocenjivanja usaglašenosti koju obavlja osoba ili telo koji su nezavisni od osobe ili organizacije koja daje objekat, kao i od korisnika zainteresovanog za taj objekat.

5) **Sertifikacija** predstavlja atestiranje koje je izvršila treća strana u vezi sa proizvodima, procesima, sistemima ili osobama.

**Postupak sertifikacije** obuhvata:

- podnošenje zahteva za sertifikaciju
- preispitivanje zahteva
- ocenjivanje
- razmatranje izveštaja o ocenjivanju usaglašenosti
- odluka o sertifikaciji
- nadzor i ponovno ocenjivanje
- korišćenje sertifikata i logoa

Sertifikacijom se dokazuje da zavarivačko osoblje kontinuirano radi u struci i da kontinuirano unapređuje svoja znanja i sprovodi se prema IIW šemi sertifikacije. Sertifikacijom se takođe dokazuje ispunjavanje uslova standarda SRPS EN ISO 3834-2,3,4 koji propisuje zahteve za osoblje uključeno u obezbeđenje kvaliteta zavarivanja. Sertifikat se dodjeljuje se za određene tipove proizvoda koji preduzeće – poslodavac proizvodi i koordinator koordinira. Sertifikat važi tri godine, nakon toga se obnavlja.

Šema sertifikacije je sačinjena tako da izdati sertifikat dokazuje tri stvari:

1. Posedovanje određenog nivoa znanja stečenog u prošlosti.

- Dokazuje se posedovanjem odgovarajuće IIW/EFW diplome

2. Rad u struci.

- Dokazuje se popunjenim obrascem u kojem je vidljivo da je kandidat redovno radio na području zavarivanja i srodnih tehnologija, odnosno da je snosio određeni nivo odgovornosti

3. Kontinuirano stručno usavršavanje čime se dokazuje da kandidat održava i povećava svoj nivo znanja.

- Dokazuje se potvrdama o pohađanju stručnih seminara i savetovanja, radom u tehničkim odborima i stručnim grupama, člancima u stručnim i naučnim časopisima i zbornicima radova savetovanja i sl.

Postupak sertifikacije, odnosno ono što zainteresovani kandidat praktično treba da uradi je:

1. Popuni prijavni list za sertifikaciju

2. Dostavi dokumente pod tačkama 1 i 2

3. Nakon povratne informacije iz DUZS Cert obavij

„Profesionalni Intervju“ (nije ispit 😊) sa predstavnikom ovlašćenog tela

4. Preuzimanje sertifikata u DUZS Cert

Sertifikovana osoba se mora pridržavati IIW pravila o profesionalnom ponašanju. U slučaju da to ne učini, sertifikat se može opozvati.

## Literatura

1. L. Quintino, R. Ferraz, I. Fernandes, T. Jessop  
*DEVELOPMENTS IN EUROPEAN AND INTERNATIONAL TRAINING AND CERTIFICATION IN WELDING*, Zavarivanje i zavarene konstrukcije (4/2008) str. 131-145



## DUZS-CertPers

## PRIJAVA ZA SERTIFIKACIJU OSOBLJA

Ime	Prezime		
Adresa	Telefon	E-mail adresa	
<b>Podaci o nosiocu IIW/EFW diplome</b>			
Zvanje	Broj diplome	Datum sticanja diplome	Datum rođenja

Želim da se prijavim za sertifikaciju i prilažem dokaz o nadoknadi svih troškova sertifikacije. Moj CV je prikazan u predloženoj formi. Saglasan sam uslovima sertifikacije koji su naznačeni u napomeni ove prijave.

Potpis:

Datum:

## 2. IZJAVA OD STRANE POSLODAVCA

Dole potpisani potvrđuje da su po njegovom saznanju navedene informacije u ovoj prijavi tačne. (Ovaj odeljak mora biti potpisan od strane rukovodioca ili direktora odgovornog za aktivnosti zavarivanja)

Ime i Prezime:

Zvanje:

Potpis:

Datum:

Preduzeće:

**NAPOMENA:** U slučaju da je kandidat samozaposlen, ovaj odeljak mora biti popunjen od strane odgovarajućeg predstavnika ili nedavnog klijenta.

## 3. IMENOVANJE GARANTA

Navedite ime odgovarajuće kvalifikovane osobe (poželjno Intrenacionalni/Evropski inženjer zavarivanja ili Intrenacionalni/Evropski inspektor zavarivanja). Ova osoba može biti pozvana da potvrdi vašu kompetentnost za vrstu sertifikacije koju tražite.

Ime i prezime:

Adresa:

E-mail /telefon:

Broj IIW/EFW diplome (ili druga kvalifikacija):

Poslodavac:

Zvanje:



## **DUZS-CertPers**

---

**KLUČNE REČI ZA DEFINISANJE OBIMA AKTIVOSTI/ RADNOG ISKUSTVA** (gde je primenjivo)

### **MATERIJALI**

C-Mn čelici, normalizovani i termomehanički valjani čelici  
Cr-Mo (-Ni) čelici  
Feritni/martenzitni/austenitni/dupleks čelici/čelici sa visokim udelom nikla  
Legure aluminijuma  
Legure bakra  
Legure nikla  
Legure titana i cirkonijuma  
Drugi moraju biti naznačeni

### **VRSTE PROIZVODA**

Avio i svemirska vozila  
Avio motori  
Šinska vozila  
Velike posude za skladištenje  
Male posude za skladištenje  
Mašine  
Automobili  
Mostovi  
Dizalice i mehanička oprema za rukovanje  
Građevinska i rudarska oprema  
Velike posude pod pritiskom  
Male posude pod pritiskom  
Oprema pod pritiskom  
Električne mašine  
Oprema za domaćinstvo  
„Offshore” konstrukcije (morske platforme)  
Transportni cevovodi  
Industrijski cevovodi  
Brodogradnja  
Čelične konstrukcije  
Drugi moraju biti naznačeni

### **POSTUPCI ZAVARIVANJA**

Gasno  
MMA – REL Ručno elektrolučno zavarivanje obloženom elektrodom  
MIG/MAG - Elektrolučno zavarivanje topljivom elektrodom žicom u zaštiti gasa  
TIG - Elektrolučno zavarivanje netopljivom elektrodom u zaštiti inertnog gasa  
Plazma  
SAW – EPP Elektrolučno zavarivanje pod praškom  
EB - Zavarivanje elektronskim snopom  
Laser  
Otpor (električni)  
Trenje  
Zavarivanje vijaka (goli vijak, kratak stubić, „bolcni”)  
Drugi moraju biti naznačeni

**ČASOPIS ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE****Cenovnik oglasnog prostora u četiri uzastopna broja 2018**

	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%.
- Objavljivanje 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 2018**

	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

NEMINIK

- |  |                     |
|--|---------------------|
| 1. ČLANARINA DUZS za 2018. godinu .....  | <b>3.500 dinara</b> |
| Članovima DUZS <b>GRATIS</b> godišnje izdanje časopisa "ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE"                         |                     |
| 2. ČASOPIS "ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE" - 2018. 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 2016. godinu .....  | 500 dinara          |
| ▪ cena pojedinačnog broja za prethodne godine.....   | 250 dinara          |
| b) beneficirane cene za članove DUZS:  |                     |
| ▪ cena pojedinačnog broja za 2017. 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        |