



ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE

WELDING & WELDED STRUCTURES

God. 61 Vol. 61	Br. 1 No. 1	1-48 1-48	Beograd Belgrade	Srbija Serbia	2016. 2016.
--------------------	----------------	--------------	---------------------	------------------	----------------

ČASOPIS DRUŠTVA ZA UNAPREĐIVANJE
ZAVARIVANJA U SRBIJI

SERBIAN WELDING SOCIETY
QUARTERLY REVIEW

IZLAZI TROMESEČNO

IZDAVAČ / PUBLISHER

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

Adresa: 11000 Beograd, Grčića Milenka 67

Za izdavača / For Publisher

Branislav Lukić, dipl.ing, predsednik DUZS

UREDNIŠTVO / EDITORIAL

Glavni i odgovorni urednik / Editor-in-Chief

Milica Antić, dipl.ing. EWE

duzs@eunet.rs, milicamantic@yahoo.com

Tehnički urednik / Technical Editor

Branislav Lukić, dipl.ing

Redakcijski odbor / Editorial Board

Dr Nenad Radović, dipl.ing.

Dr Bore Jegdić, dipl.ing.

Miloš Pavlović, dipl.ing.

UREĐIVAČKI ODBOR / PUBLISHING COUNCIL

Dr Vencislav Grabulov, dipl.ing, (predsednik)

Prof. dr Miroslav Đurđanović, dipl.ing.

Prof.dr Vukić Lazić, dipl.ing.

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

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

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

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

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

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

Horia Dascau, dipl.ing. (Rumunija)

REDAKCIJA I MARKETING / EDITORIAL OFFICE AND MARKETING



Vesna Jović
Grčića Milenka 67, I sprat
11000 Beograd



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



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

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд
621.791

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

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

CENE I NARUDŽBINA ZA 2015.

Cena pojedinačnog broja 825,00 dinara

Godišnja pretplata 2500,00 dinara

Tekući račun: 355-1025530-87

PRICE AND ORDER

Annual subscription: EUR 100

Account No. 000200073783

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

ŠTAMPA / PRINTED

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

1/2016

SADRŽAJ:

CONTENTS:



NAUKA • ISTRAŽIVANJE • RAZVOJ

SCIENCE • RESEARCH • DEVELOPMENT

- 05 UTICAJ SASTAVA ZAŠTITNE ATMOSFERE NA ZAVARLJIVOST LEGURE AlMg4.5Mn INFLUENCE OF GAS SHIELDING ATMOSPHERE ON WELDABILITY OF AlMg4.5Mn ALLOY
Radica Prokić Cvetković, Olivera Popović, Sandra Kastelec Macura, Radomir Jovičić
- 13 ODREĐIVANJE SKLONOSTI ZAVARENOG SPOJA AUSTENITNOG NERĐAJUĆEG ČELIKA PREMA INTERKRISTALNOJ KOROZIJI TESTING OF SUSCEPTIBILITY TO INTERGRANULAR CORROSION IN WELDED JOINTS OF AUSTENITIC STAINLESS STEEL
Bore V. Jegdić, Biljana M. Bobić, Behar Alić



OBRAZOVANJE

EDUCATION

- 19 KOMPOZITNI MATERIJALI
Milica Antić



OBRAZOVANJE

EDUCATION

- 29 BAKAR I LEGURE BAKRA (II DEO)



PRAKSA

PRACTICE

- 39 PRIMENA KERAMIČKIH PODLOŠKI ZA JEDNOSTRANO ZAVARIVANJE SUČEONIH „V“ SPOJEVA
Šušta Ljubomir, Šteković Željko



OBRAZOVANJE

EDUCATION

- 43 MINIMALNI ZAHTEVI ZA OBRAZOVANJE, OBUKU, POLAGANJE ISPITA I SERTIFIKACIJU EVROPSKOG ZAVARIVAČA ZA ALUMINOTERMIJSKO ZAVARIVANJE (EAW)



VESTI

NEWS

- 04 SAVETOVANJE SA MEĐUNARODNIM UČEŠĆEM „ZAVARIVANJE 2016“ - PRVO OBAVEŠTENJE I POZIV ZA PRIJAVU RADOVA
- 48 MARKETING

Poštovani čitaoci,

Poštovani,

Ova olimpijska, prestupna godina, se uveliko zahuktava, a i naše aktivnosti.

Pripreme mladih zavarivača za svetsko takmičenje u Kini su intenzivirane, tako da je ovo prava prilika da im poželimo što bolji plasman.

Planiran seminar, vezan za termičku obradu zavarenih spojeva, trebalo bi da se održi u prvoj polovini godine i iskreno se nadamo da će biti i realizovan.

Ono što je tradicija našeg Društva, bijenalno savetovanje, održaće se sredinom septembra ove godine, a I poziv za to, možete pronaći i na stranicama ovog broja.

Nadajući se da i u ovom broju postoje tekstovi koji će zadovoljiti apetite svih naših čitalaca, do novog susreta, pre letnjih odmora

S poštovanjem,

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



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



member of



*European Federation for Welding,
Joining and Cutting*

ORGANIZUJE

Savetovanje sa
međunarodnim učešćem

„ZAVARIVANJE 2016“

**Prvo obaveštenje i poziv za
prijavu radova**

**Datum održavanja:
17 - 14. septembar 2016.**

**Mesto: Srebrno jezero, hotel
„Danubia Park“**



POZIV ZA PRIJAVU RADOVA

SLUŽBENI JEZICI SAVETOVANJA:
SRPSKI I ENGLJSKI

Vaš rad/radove (naslov i
rezime od najviše 10 kucanih
redova) sa popunjenim
prijavnim listom **pošaljite do
15.04. 2016.**

Naučno-stručni odbor će
obavestiti autore o
prihvatanju radova **do 15.05.
2016.** kao i o formi/pravilima
za pisanje radova, a
zadržava pravo da odredi
radove čiji je sadržaj
pogodan za poster sekciju.

**Prihvaćeni radovi uz dokaz o
uplaćenju kotizaciji, treba da
se pošalju do**

01. 08. 2016

**Molimo Vas da poštujuete
rokove!**

**Drugo obaveštenje i
Program**

20.08.2016.

Kotizacija za učešće na
savetovanju (uključen CD sa
radovima) iznosi:

80 € u dinarskoj
protivvrednosti za autore,

120 € za koautore i članove
DUZS

160 € za one koji nisu
članovi.

Preduzećima koja pošalju
više od tri učesnika, 4. učesnik
ne plaća kotizaciju.



Dobro došli !

TEME SAVETOVANJA
“ZAVARIVANJE 2016”

**1. KONVENCIONALNI I
NEKONVENCIONALNI
POSTUPCI ZAVARIVANJA**

**2. OSNOVNI, DODATNI I
POMOĆNI MATERIJALI**

**3. INTEGRITET
KONSTRUKCIJA I
OSIGURANJE KVALITETA**

**4. TEHNIČKA REGULATIVA,
OBRAZOVANJE, EKOLOGIJA
I ZAŠTITA**

POZIV NA SPONZORSTVO

*U vreme održavanja
savetovanja proizvođači
opreme i materijala za
zavarivanje i IBR, kao i
njihovi zastupnici, mogu da
budu:*

VELIKI SPONZORI - (štant, 15
minuta usmenog izlaganja, 2
kotizacije gratis, podela
propagandnog materijala - uz
nadoknadu od 1000 EUR)

SPONZORI - (štant, 1 kotizacija
gratis, podela propagandnog
materijala - uz nadoknadu od 500
EUR)



Radica Prokić Cvetković¹, Olivera Popović¹, Sandra Kastelec Macura², Radomir Jovičić³

UTICAJ SASTAVA ZAŠTITNE ATMOSFERE NA ZAVARLJIVOST LEGURE AlMg4.5Mn INFLUENCE OF GAS SHIELDING ATMOSPHERE ON WELDABILITY OF AlMg4.5Mn ALLOY

Originalni naučni rad / Original scientific paper

UDK / UDC: 621.791:669.715

Rad primljen / Paper received:

Februar 2016.

Ključne reči: aluminijum, legura AlMg4.5Mn, metal šava, zavarljivost, zaštitna atmosfera, poroznost

Adresa autora / Author's address:

¹Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd, Srbija

²Tehnikum Taurunum, Zemun, Beograd, Srbija

³Univerzitet u Beogradu, Inovacioni centar Mašinskog fakulteta, Beograd, Srbija

Key words: aluminium, AlMg4.5Mn alloy, weld metal, weldability, gas shielding atmosphere, porosity

Abstract

In this paper is shown the influence of gas shielding atmosphere on the weldability of AlMg4.5Mn alloy. Prepared plates were welded using tungsten inert gas (TIG) with four different shielding atmospheres. Metallographic testing, tensile testing and hardness testing of welded joints were carried out. It has been shown that composition of shielding atmosphere has effect on the weld appearance, depth of penetration, overflowing of filler material, porosity in the weld metal, as well as on values of tensile strength and hardness. Weldments obtained by welding in a shielding atmosphere Ar + 50% He + 0.015% N₂ have the best appearance of the weld metal, good overflowing of filler material and satisfactory width to height ratio. It was also established that these welds have the lowest weld metal porosity.

INTRODUCTION

Weldability of aluminum and its alloys has not been fully resolved. On the weldability of these alloys is affected by various factors that require the use of complex welding technology compared with steel. The development of electric arc welding processes in a protective atmosphere of inert gases contributed to much easier welding of aluminum alloys. Modernization of welding technology directly affects the quality of welded joints, structural integrity and thus their longer service life. Through the physical properties of the shielding gas has an effect on the degassing of molten baths, regulation of weld penetration profile and wettability [1-4]. The most common problems encountered when welding Al-Mg alloys are: degradation of the mechanical properties of the HAZ [5], reducing the

Izvod

U ovom radu je prikazano kako vrsta zaštitne atmosfere utiče na zavarljivost legure aluminijuma AlMg4.5Mn. Pripremljene ploče su zavarene TIG postupkom u četiri različite zaštitne atmosfere. Posle izvedenog zavarivanja, urađena su metalografska ispitivanja, ispitivanje zatezne čvrstoće zavarenog spoja u celini, kao ispitivanje tvrdoće zavarenog spoja. Pokazano je kako vrsta zaštitne atmosfere utiče na oblik šava, dubinu uvarivanja, razlivanje dodatnog materijala, pojavu poroznosti u metalu šava, kao i na vrednosti zatezne čvrstoće i tvrdoće. Šavovi dobijeni zavarivanjem u zaštitnoj atmosferi Ar+50%He+0,015%N₂ pokazali su najbolji izgled metala šava, pri čemu je dobro razlivanje dodatnog materijala a odnos širine i visine šava zadovoljavajući. Takođe je pokazano da ovako dobijeni šavovi imaju najmanju poroznost metala šava.

UVOD

Zavarljivost aluminijuma i njegovih legura do danas nije u potpunosti razrešena. Na zavarljivost ovih legura utiču različiti faktori koji iziskuju primenu složenije tehnologije zavarivanja u poređenju sa čelicima. Razvoj elektrolučnih postupaka zavarivanja u zaštitnoj atmosferi inertnih gasova znatno je olakšao zavarivanje aluminijumskih legura. Osavremenjivanjem tehnologije zavarivanja direktno se utiče na kvalitet zavarenih spojeva, integritet konstrukcija a samim tim i na njihov duži radni vek. Preko fizičkih osobina zaštitnog gasa utiče se na degazaciju rastopljene kupke, regulisanje profila uvarivanja i sposobnost kvašenja [1-4]. Najčešći problemi koji se sreću pri zavarivanju Al-Mg legura su: degradacija mehaničkih osobina u ZUT [5], smanjenje



corrosion resistance [6-8], the appearance of pores - as a result of the absorption of hydrogen in the air, cracking - primarily as a result of the warm phase transformations that occur in the weld metal and heat affected zone and the occurrence of inclusions - usually oxide Al_2O_3 [9].

High thermal conductivity of aluminum influences on the width of the HAZ, and thus the degradation of the mechanical properties. In the case of welding of aluminum alloys in cast or hot-rolled condition, the decline in mechanical properties is minimal. But in the case that the process is carried out at a heat-welding or deformation strengthened alloys, the loss in strength and toughness can be substantial. Degradation of mechanical properties is attributed to the recrystallization process, which, in reinforced alloys strain begins to take place at temperatures above $200^\circ C$ and completely ends at temperatures above $300^\circ C$ [10-13]. The change in mechanical properties is often associated with the size of grains. Due to the increase of grain in the HAZ, a decrease in strength [14]. In aluminum alloys to increase the impact of grain is reflected more through increased tendency to hot cracking occurrence. Addition of elements such as titanium, zirconium and strontium, reducing the mobility of the grain boundary, preventing the recovering process, and thus allows the unwinding of the dynamic recrystallization. This leads to the formation of finer grains, thereby contributing to the quality of welded joints [15,16]. In the literature one can find another possible reason for the degradation of the mechanical properties of the weld metal due to chemical changes all together. It is known that magnesium, because of its low boiling point, and lithium due to the high degree of oxidation can be lost during the welding process. The loss of magnesium is particularly pronounced in the case of the MIG welding process [17].

The formation of pores is also one of the important problems in welding of aluminum and its alloys. The pores are formed as a result of absorption, diffusion and dissolution of gases on the surface and inside the hardened weld metal. Pore mainly produces hydrogen, which dissolves in the liquid metal bath and it is distributed throughout the volume. Hydrogen has the highest solubility in pure aluminum. When solidification solubility abruptly decreases, whereby hydrogen is trapped in the weld metal in the form of pores [18-21].

Argon and helium are the most commonly used shielding gases and significantly affect the quality of the weld. However, they differ from each other. Helium is one of the lightest gas, compared with the

korozijske postojanosti [6-8], pojava pora - kao posledica apsorpcije vodonika iz vazduha, pojava prslina - prvenstveno toplih kao posledica faznih transformacija koje se javljaju u metalu šava i zoni uticaja toplote i pojava uključaka - najčešće oksida Al_2O_3 [9].

Visoka toplotna provodljivost aluminijuma utiče na širinu ZUT, a samim tim na degradaciju mehaničkih karakteristika. U slučaju zavarivanja aluminijumskih legura u livenom ili toplo valjanom stanju, pad mehaničkih svojstava je minimalan. Ali u slučaju da se proces zavarivanja izvodi na termički ili deformaciono ojačanim legurama, gubitak u čvrstoći i tvrdoći može biti značajan. Degradacija mehaničkih svojstava pripisuje se procesu rekristalizacije, koja kod deformaciono ojačanih legura počinje da se odvija na temperaturama iznad $200^\circ C$ i u potpunosti se završava na temperaturama iznad $300^\circ C$ [10-13]. Promena u mehaničkim svojstvima često je povezana sa veličinom zrna. Usled porasta zrna u ZUT dolazi do smanjenja čvrstoće [14]. U aluminijumskim legurama uticaj povećanja zrna ogleda se više kroz povećanu sklonost ka obrazovanju toplih prslina. Dodatak elemenata poput titana, cirkonijuma i stroncijuma, smanjuje pokretljivost granica zrna, onemogućavajući proces oporavljanja, pri čemu se omogućava odvijanje dinamične rekristalizacije. Na taj način dolazi do stvaranja sitnijeg zrna, čime se doprinosi i kvalitetu zavarenog spoja [15,16]. U literaturi se može pronaći i još jedan mogući razlog degradacije mehaničkih svojstava u metalu šava, usled promene hemijskog sastava. Poznato je da magnezijum, zbog svoje niske tačke ključanja, i litijum zbog visokog stepena oksidacije, mogu biti izgubljeni za vreme procesa zavarivanja. Gubitak magnezijuma je posebno izražen u slučaju primene MIG postupka zavarivanja [17].

Nastajanje pora je takođe jedan od značajnih problema pri zavarivanju aluminijuma i njegovih legura. Pore nastaju kao posledica apsorpcije, difuzije i rastvaranja gasova na površini i unutar očvrstlog metala šava. Pore uglavnom stvara vodonik, koji se rastvara u tečnom metalnom kupatilu i u njemu se raspoređuje po celoj zapremini. Najveću rastvorljivost vodonik ima u čistom aluminijumu. Prilikom očvršćavanja rastvorljivost naglo opada, pri čemu vodonik ostaje zarobljen u metalu šava u vidu pora [18-21].

Argon i helijum su najčešće korišćeni zaštitni gasovi i značajno utiču na kvalitet zavarenog spoja. Međutim, oni se međusobno razlikuju. Helijum je jedan od najlakših gasova, od argona lakši približno deset puta.



argon, around ten times lighter. It also has a high ionization potential, 25eV to 16eV compared with the argon and thus a higher arc voltage. In contrast to the benefits of helium, argon, because of its higher density provides better protection weld pool during welding. Price helium is much higher compared to argon, and for this reason most commonly used mixtures of these two gases. In recent times also apply to the combination of these two gases in addition to oxygen (only with MIG procedure) or nitrogen from a few hundred ppm [22-23].

Experiment

Welding were used plates of aluminum alloy AlMg4.5Mn, with dimensions 500x250x12mm, and V grooves are prepared by milling. Chemical composition and mechanical properties of the alloy are shown in Tables 1 and 2. As additional material used is aluminum alloy wire AlMg4.5Mn (classification DIN1732 / SG- AlMg4.5Mn or BS2901 / 5183 or AWS A5.10 / ER 5183), Ø5 mm and a length of 1000 mm (table 3).

Test plates are butt-welded in four types of shielding atmosphere in TIG process, in 4 passes: 1 root pass +3 filling passes, as shown in Figure 1. All passes are executed by welding in advance.

Takođe, poseduje i visok potencijal jonizacije, 25eV u poređenju sa 16eV kod argona, a time i veći napon luka. Nasuprot prednostima helijuma, argon, zbog svoje veće gustine, pruža bolju zaštitu metalnog kupatila pri zavarivanju. Cena helijuma je znatno veća u odnosu na argon, pa se iz tog razloga najčešće primenjuju mešavine ta dva gasa. U novije vreme primenjuju se i kombinacije ova dva gasa uz dodatak kiseonika (samo kod MIG postupka) ili azota od nekoliko stotina ppm [22-23].

Eksperimentalni rad

Za zavarivanje su korišćene ploče od legure aluminijuma AlMg4.5Mn, dimenzija 500x250x12mm, i V žljebovi su pripremljeni glodanjem. Hemijski sastav i mehaničke osobine legure prikazani su u tabelama 1 i 2. Kao dodatni materijal korišćena je žica od legure aluminijuma AlMg4.5Mn (klasifikacija DIN1732/SG- AlMg4.5Mn ili BS2901/5183 ili AWS A5.10/ER 5183), Ø5 mm i dužine 1000 mm (tabela 3).

Probne ploče su sučeono zavarene, u četiri vrste zaštitne atmosfere TIG postupkom, u 4 prolaza i to 1 koreni prolaz +3 prolaza popune, kao što je prikazano na slici 1. Svi prolazi su izvedeni tehnikom zavarivanja unapred

Hem. element Chem. element	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti
mas %	0,13	0,21	0,04	0,66	3,95	0,03	0,06	0,025

Table 1. Chemical composition of aluminum alloy AlMg4.5Mn

Tabela 1. Hemijski sastav legure aluminijuma AlMg4.5Mn

	Zatezna čvrstoća, Tensile strength R _m (MPa)	Napon tečenja, Yield strength R _{0.2} (MPa)	Procentualno izduženje The percentage elongation A (%)	Ukupna energija udara, The total impact energy (J)
Pravac valjanja Rolling direction	293	133	25	41
Poprečni pravac The transverse direction	304	143	24	32

Table 2. Mechanical properties of aluminum alloys AlMg4.5Mn

Tabela 2. Mehaničke osobine legure aluminijuma AlMg4.5Mn

Hem. element Chem. element	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	drugi/others	
									svaki each	ukupno total
mas %	< 0,40	< 0,40	< 0,10	0,5-1,0	4,3-5,2	<0,25	0,05-0,25	0,15	<0,05	<0,15

Table 3. Chemical composition of welding wire AlMg4.5Mn

Tabela 3. Hemijski sastav žice za zavarivanje AlMg4.5Mn

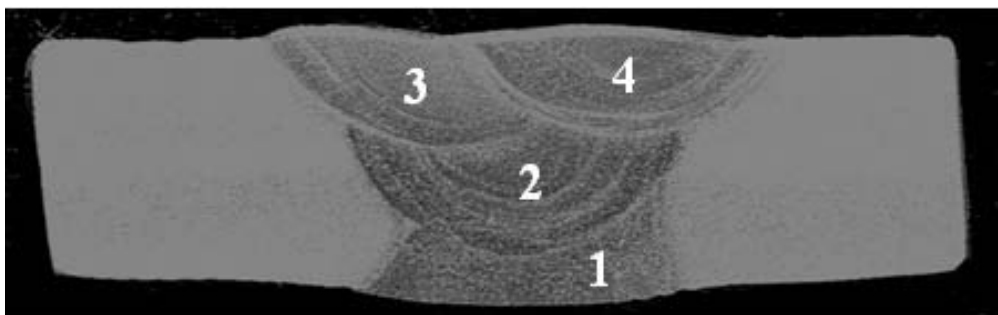


Figure 1. The weld metal with marked passes

Slika 1. Zavareni spoj sa označenim prolazima

Welding parameters: current, voltage, welding speed and the calculated amount of welding input heat, as the shielding atmosphere compositions are shown in Table 4. The flow of shielding gas is 17-19 l/min. Ambient temperature during welding was 20°C. Interpass temperature was always above 110°C (controlled by the contact thermometer). Preheat temperature of the plate is above 110°C.

It is important to point out that another plate was welded in a protective atmosphere of pure argon or without preheating. In these plates in the weld metal was observed higher porosity than the plates welded under the same conditions but with preheating. Given this fact, it was concluded that the preheating is necessary, no matter what the literature recommends preheating the sheet thickness of over 14 mm.

Welding parameters, as well as the results of plate testing that is welded in a shielding atmosphere of pure argon without preheating are not presented in this paper.

Parametri zavarivanja: jačina struje, napon, brzina zavarivanja i izračunata uneta količina toplote pri zavarivanju, kao i sastavi zaštitnih atmosfera prikazani su u tabeli 4. Protok zaštitnog gasa je od 17-19 l/min. Temperatura okoline prilikom zavarivanja bila je 20°C. Međuprolazna temperatura je uvek bila iznad 110°C (kontrolisana je kontaktnim termometrom). Temperatura predgrevanja svih ploča bila je iznad 110°C.

Važno je istaći i to da je još jedna ploča bila zavarena u zaštitnoj atmosferi čistog argona ali bez predgrevanja. Kod te ploče u metalu šava je uočena veća poroznost nego kod ploče zavarene pod istim uslovima ali sa predgrevanjem. Imajući u vidu ovu činjenicu, došlo se do zaključka da je predgrevanje neophodno, bez obzira što se u literaturi predgrevanje preporučuje za limove debljine preko 14 mm.

Parametri zavarivanja, kao i rezultati ispitivanja ploče koja je zavarena u zaštitnoj atmosferi čistog argona bez predgrevanja nisu prikazani u ovom radu.

Vrsta zaštitnog gasa Shielding gas	Redni br. ProlazaNo of pass	Jacina struje Current A	Napon, Voltage V	V _z , cm/min	Q, kJ/cm	Q _{sr} , kJ/cm
Ar	1	220	21,8	15,2	18,9	17-26
	2	215	22,1	11	25,9	
	3	215	20,2	15,2	17,1	
	4	220	20,6	11,5	23,6	
Ar+0,015%N ₂	1	220	20,2	9,9	26,9	20-26
	2	224	20,2	10	27,1	
	3	217	21,2	13,9	19,9	
	4	214	21,3	13,3	20,6	
Ar+15%He+0,015%N ₂	1	232	17,2	11,8	20,3	18-26
	2	232	17,1	9,3	25,6	
	3	232	17,2	14,4	16,6	
	4	232	16,8	12,5	18,7	
Ar+50%He+0,015%N ₂	1	234	20,3	17,2	16,6	13-17
	2	234	20,2	16,7	17,0	
	3	234	19,5	21	13,0	
	4	234	19,1	20,2	13,3	

Table 4. Welding parameters

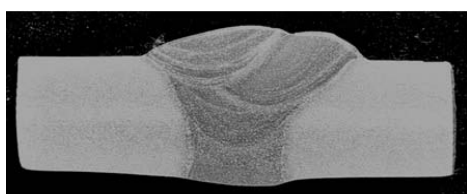
Tabela 4. Parametri zavarivanja



From Table 1 it is clear that the welding in the shielding atmosphere of gas mixtures, increasing the content of helium causing an increase in arc voltage at the same currents (plate 1,5), because helium has a higher ionization potential than argon. This increase in voltage directly increase welding speed, which is also shown in Table 1. The amount of welding heat input was from 17 to 26 kJ / cm in all cases except in the last (Ar + 50% He + 0.015% N₂) where was 13-17 kJ / cm, which is explained by the increase of welding speed.

Macroscopic and microstructural analysis

From the welded plates are cut samples for testing macrostructure. These samples were etched and photographed as shown in Figure 2.



a) Ar

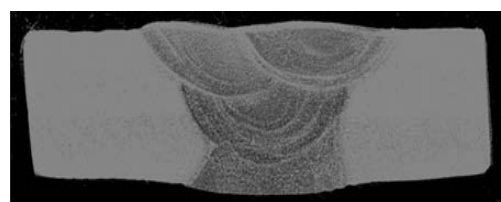
b) Ar+50%He+0.015%N₂

Figure 2. Appearance of macro snapshot of welded joints

Slika 2. Izgled makrosnimaka zavarenih spojeva

Figure 2a shows that the welding in the shielding atmosphere of pure argon gives lower seam width and less overflowing of filler material. At higher contents of He in the gas mixture, the seam width is increased, a overflowing of filler material is better. The most beautiful appearance of weld (no undercuts, good overflowing, no big weld reinforcement) is obtained for welding in protective atmosphere Ar + 50% He + 0.015% N₂ can be clearly seen in Figure 2b. The structure of the weld metal of welded plates is the same, which is to be expected, because the welding conditions about the same, that is, the only difference between the individual plate is a kind of shielding atmosphere is used in welding. In the weld metal are present intermetallic phases at grain boundaries. The main difference in the structure of the tested weld metal plates is in the porosity, which is predominantly distributed around the fusion line between the two passes and fusion line between the base metal and weld metal. The maximum porosity was observed in the weld metal plates welded in an atmosphere of pure argon, Figure 3a. The weld metal plates welded under shielding gas mixture Ar + 0.015% N₂ (Figure 3b), show a slightly lower porosity than in the previous case. Increase of the percentage of helium in a shielding atmosphere causes the decrease of porosity, so that the welding in the shielding atmosphere of Ar + 50% He + 0.015% N₂ is almost negligible, Figure 3d.

Iz tabele 1 se jasno vidi da pri zavarivanju u zaštitnoj atmosferi mešavine gasa, povećanje sadržaja helijuma utiče na povećanje napona luka pri istim jačinama struje (ploče 1,5), jer helijum ima veći potencijal jonizacije od argona. Ovo povećanje napona direktno utiče na povećanje brzine zavarivanja, što je takođe prikazano u tabeli 1. Količina unete toplote pri zavarivanju je bila od 17-26 kJ/cm u svim slučajevima osim u poslednjem (Ar+50%He+0,015%N₂) gde je bila od 13-17 kJ/cm, što se objašnjava povećanjem brzine zavarivanja.

Makroskopska i mikrostrukturalna ispitivanja

Iz zavarenih ploča su isečeni uzorci za makrostrukturalna ispitivanja. Ovi uzorci su nagriženi i fotografisani što je prikazano na slici 2.

Na slici 2a se vidi da je pri zavarivanju u zaštitnoj atmosferi čistog argona manja širina šava kao i slabije razlivanje dodatnog materijala. Pri većim sadržajima He u zaštitnom gasu, širina šava se povećava, a razlivanje dodatnog materijala je bolje. Najlepši izgled šava (nema zajeda, dobro razlivanje, nema velikog nadvišenja) je dobijen pri zavarivanju u zaštitnoj atmosferi Ar+50%He+0.015%N₂ što se jasno vidi na slici 2b. Struktura metala šava svih zavarenih ploča je ista, što se i može očekivati, jer su uslovi zavarivanja približno isti, odnosno, jedina razlika između pojedinačnih ploča je vrsta zaštitne atmosfere koja je korišćena pri zavarivanju.

U metalu šava su prisutne intermetalne faze po granicama zrna. Osnovna razlika u strukturi metala šava ispitivanih ploča je u poroznosti, koja je dominantno raspoređena u okolini linije spoja između dva prolaza i linije spoja između osnovnog metala i metala šava. Najveća poroznost je uočena u metalu šava ploče zavarene u atmosferi čistog argona, slika 3a. U metalu šava ploče zavarene u atmosferi Ar+0.015%N₂ (slika 3b), uočena je nešto manja poroznost nego u prethodnom slučaju. Povećanje udela helijuma u zaštitnoj atmosferi utiče na smanjenje poroznosti, tako da je pri zavarivanju u zaštitnoj atmosferi Ar+50%He+0.015%N₂ gotovo zanemarljiva, slika 3d.

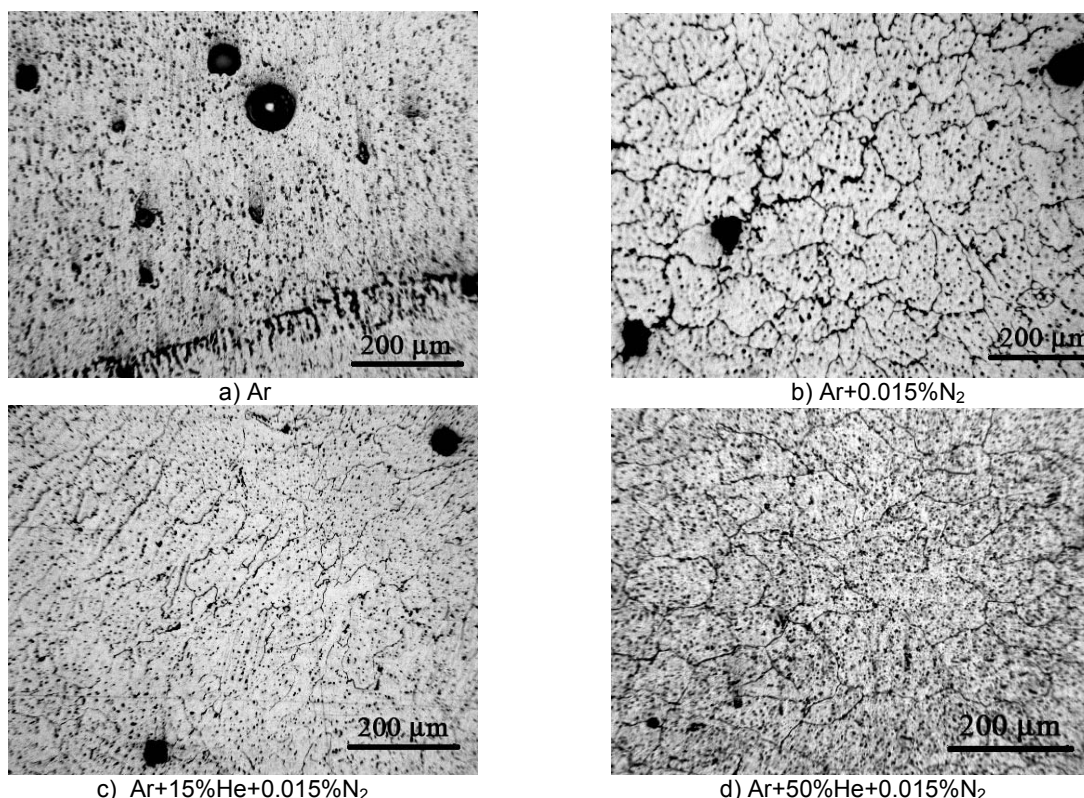


Figure 3. Appearance of weld metal microstructure

Slika 3. Izgled mikrostrukture metala šava

Tensile testing

Tensile tests were performed at room temperature. From the welded plates are made specimens with parallel sides for testing tensile strength of the whole welded joint. During the test of specimens to determine the tensile strength of the welded joint as a whole (specimens with parallel sides) to the fracture occurred most often in the HAZ, regardless of the composition of the shielding gas mixtures. Tensile strength values ranged from 271-290 MPa, which is slightly lower (about 10%) of the tensile strength of base metal 293-305 MPa, which shows that there has been a degradation of strength in the HAZ. Bearing in mind the shown results, it can be said that the strength of the welded joint does not significantly affected by the type of shielding atmosphere.

Hardness test

The hardness of the welded joints was measured by Vickers method HV5. On the polished samples was measured hardness welds along three lines: to the weld face, in the middle and towards the root, where it is in all cases covered by the base metal, weld metal and HAZ. The hardness of the base material ranged from 65-85 HV. Figure 3 shows changes in hardness samples, along the middle of the plate using various types of shielding atmosphere.

Ispitivanje zatezanjem

Ispitivanja zatezanjem rađena su na sobnoj temperaturi. Iz zavarenih ploča napravljene su epruvete sa paralelnim bokovima za ispitivanje zatezne čvrstoće spoja u celini. Pri ispitivanju epruveta za određivanje zatezne čvrstoće zavarenog spoja u celini (epruvete sa paralelnim stranicama) do loma je dolazilo najčešće u ZUT, bez obzira na sastav mešavine zaštitnog gasa. Vrednosti zatezne čvrstoće su se kretale od 271-290 MPa, što je nešto niže (oko 10%) od zatezne čvrstoće osnovnog metala 293-305 MPa, što pokazuje da je došlo do degradacije čvrstoće u ZUT. Imajući u vidu prikazane rezultate, može se reći da na čvrstoću zavarenog spoja bitno ne utiče vrsta zaštitne atmosfere.

Ispitivanje tvrdoće

Tvrdoća zavarenih spojeva merena je Vickersovom metodom HV5. Na ispoliranim uzorcima merena je tvrdoća zavarenih spojeva duž tri linije: ka licu šava, u sredini i ka korenu, pri čemu je u svim slučajevima obuhvaćen osnovni metal, metal šava i ZUT. Tvrdoća osnovnog materijala se kretala od 65-85 HV. Na slici 3 su prikazane promene tvrdoće uzoraka, duž sredine ploče pri korišćenju različitih vrsta zaštitne atmosfere.

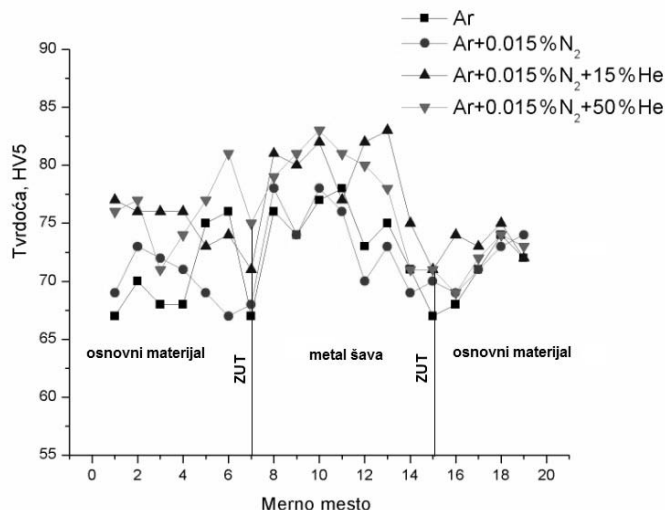


Figure 4. Distribution of hardness in the welded joints of various shielding atmosphere

Slika 4. Raspodela tvrdoće u zavarenom spoju za različite zaštitne atmosfere

(tvrdoća-hardness; merno mesto-testing place; osnovni materijal-base material; metal šava-weld metal; ZUT-HAZ)

As can be seen from Figure 3, the hardness of the weld metal is slightly higher than the hardness of the base metal, the most by about 10% in individual cases and ranged from 67-87 HV. In the HAZ is observed a slight decrease compared to the hardness of the base material, indicating the degradation of the mechanical properties of the HAZ. Based on these results we can freely say that the hardness of the weld metal of welded joints do not significantly influence the composition of the shielding atmosphere.

Conclusions

1. When welding sheet metal alloy AlMg4.5Mn required to be applied preheating above 100 ° C. Preheating reduces porosity in the weld metal..
2. Overflowing of filler material increases with increasing helium thereby reducing the weld reinforcement, and increases the width of the seam. Also, an increase in helium content in the shielding atmosphere causes the reduction of porosity, and as the best shielding atmosphere Ar + 50% He + 0.015% N₂ is shown, in which the observed the minimum porosity.
3. Adding nitrogen to shielding gas in TIG process causes more overflowing of filler material and reducing porosity.
4. Tensile strength of the welded joint in its entirety for all samples differ up to 10% with respect to the tensile strength of the base material. Bearing in mind that the specimens ruptures occurred in almost all cases in the HAZ, it is safe to say that the type of shielding atmosphere has no significant impact on the strength of the weld metal. It should be taken into account that in the Bearing in mind that the specimens ruptures occurred in almost all cases in the HAZ, it is safe

Kao što se sa slike 3 vidi, tvrdoća metala šava je nešto veća nego tvrdoća osnovnog metala, najviše za oko 10% u pojedinačnim slučajevima i kretala se od 67-87 HV. U ZUT je uočen blagi pad tvrdoće u odnosu na osnovni materijal, što ukazuje na degradaciju mehaničkih svojstava u ZUT.

Na osnovu dobijenih rezultata se slobodno može reći da na tvrdoću metala šava zavarenog spoja bitno ne utiče sastav zaštitne atmosfere.

Zaključci

1. Pri zavarivanju limova legure AlMg4.5Mn obavezno treba primeniti predgrevanje iznad 100°C. Predgrevanjem se smanjuje poroznost u metalu šava.
2. Razlivanje dodatnog materijala se povećava sa povećanjem sadržaja helijuma pri čemu se smanjuje nadvišenje, a povećava širina šava. Takođe, povećanje sadržaja helijuma u zaštitnoj atmosferi utiče na smanjenje poroznosti, pa se kao najbolja pokazala zaštitna atmosfera Ar+50%He+0.015%N₂, kod koje je uočena i najmanja poroznost.
3. Dodavanje azota zaštitnom gasu kod TIG postupka utiče na bolje razlivanje dodatnog materijala i smanjenje poroznosti.
4. Zatezna čvrstoća zavarenog spoja u celini kod svih uzoraka se razlikuje najviše do 10% u odnosu na zateznu čvrstoću osnovnog materijala. Imajući u vidu da je do loma epruveta dolazilo gotovo u svim slučajevima u ZUT, onda se slobodno može reći da vrsta zaštitne atmosfere nema bitnog uticaja na čvrstoću metala šava. Treba uzeti u obzir da se kod zavarenih spojeva legura aluminijuma



- to say that welded joints of aluminum alloys allows the tensile strength of weld metal is 10% lower than the tensile strength of the base metal.
5. The hardness of the weld metal is slightly higher than the hardness of base metal, for the most about 10%, in individual cases, while in the HAZ hardness observed a slight decrease compared to the base material, indicating the degradation of the mechanical properties of the HAZ. Based on these results, we can freely say that the hardness of the weld metal of welded joints do not significantly influenced by the composition of the shielding atmosphere

dozvoljava da zatezna čvrstoća metala šava bude 10% manja od zatezne čvrstoće osnovnog metala.

5. Tvrdoća metala šava je nešto veća nego tvrdoća osnovnog metala, najviše za oko 10% u pojedinačnim slučajevima, dok je u ZUT uočen blagi pad tvrdoće u odnosu na osnovni materijal, što ukazuje na degradaciju mehaničkih svojstava u ZUT. Na osnovu dobijenih rezultata se slobodno može reći da na tvrdoću metala šava zavarenog spoja bitno ne utiče sastav zaštitne atmosfere.

Literatura

- [1] N. Moyer, *The evolution of Shielding gas*, Welding Journal, Vol. 81, N°9, p.51-52, 2002
- [2] F. Schweighardt, *Choosing shielding gases for arc welding*, The Fabricator, September 2007
- [3] M. Smiljanić, *Zaštitni gasovi u zavarivanju*, seminar DUZS, juni 2006
- [4] K.C.Yang, D.G. Lee, J.M. Kuk, I.S. Kim, *Welding and environmental test condition effect in weldability and strenght of Al alloy*, Materials Processing Technology Vol. 164-165, p.1038-1045, 2005
- [5] Z. Burzić, *Savremene metode provere mehaničko-tehnoloških osobina zavarenih spojeva–Deo 2*, Zavarivanje i zavarene konstrukcije, Vol. 47, No. 3, str. 151-158, 2002
- [6] S. Katsas, J. Nikolaou, G. Papadimitriou, *Corrosion resistance of repair welded naval aluminium alloys*, Materials and Design, 28, p. 831-836, 2007
- [7] J. R. Pickens, J. R. Gordon, J. Green, *The effect of loading mode on the stress corrosion cracking of aluminium alloy 5083*, Metals Transaction, 14A, p. 925-930, 1983
- [8] D. R. Baer, C. F. Windisch, *Influence of Mg on the corrosion of Al*, Vacuum Science Technology, No 18, p. 131-136, 2000
- [9] B. Dogan, U. Ceyhan, K. M. Nikbin, B. Petrovski, and D. W. Dean, *European Code of Practice for Creep Crack Initiation and Growth Testing of Industrially Relevant Specimens*, Journal of ASTM International, Vol. 3, No. 2, p. 121-139, 2006
- [10] R. Iascone, C. C. Menzemer, *Reestablishing the Shear Strenght of Aluminium Alloy Filet Welds*, Welding journal, Vol. 81, N°4, p.29-31, April 2007
- [11] D. Mandal, I. Baker, *The effects of fine second phase particles on primary recrystallization as a function of strain*, Elsevier Science, Acta Metallurgica No 2. p 453-461, 1997
- [12] L. S. Kramer, W. T. Track, *Adv. Mater. Processsing*, 10, 1997, p.23-24
- [13] J. Canas, R. Picon, F. Paris, *A simplified numerical analysis of residual stresses in aluminium welded plates*, Elsevier Science, Computers & Structures, Vol. 58, p. 59-69, 1996.
- [14] C.M. Sonsino, D. Radaj, U. Brandt, *Fatigue assesment of welded joints in AlMg4.5Mn aluminium alloy by local approaches*, International Journal of Fatigue, No. 21, p. 985-999, 1999
- [15] Metals Handbook, *Metallography and Microstructures*, ASM, Vol. 9, Ohio, USA, 1985
- [16] M. A. Wahab, M.J.Painter, M. H. Davies, *Journal of Materials Processsing Technology*, 77, 1998, p.233-239
- [17] A. K. Mukophadhyay, G. M. Reddy, K. S. Prasad, S. V. Kamat, J. T. Staley Honorary Symp. on Aluminium Alloys, ASM Materials Solution Conference, Indianapollis, USA, 2001
- [18] Aluminium alloys – Physical and mechanical properties',EMAS, vol III, p. 1441-1481, West Midlands, UK, 1986.
- [19] Dipl. ing. Sven-Frithjof Goecke: 'Auswirkungen von Aktivgaszumischungen im vpm – Bereich zu Argon auf das MIG-impulsschweißen von Aluminium'; Doktor Dissertation, Berlin, 2004.
- [20] M. A. R. Yarmuch, B. M. Patchet: 'Variable AC polarity GTAW Fusion Behaviour in 5083 Aluminium'; Welding reseach, vol. 86 p. 196-200, july 2007.
- [21] I. V. Dovbišenko, A. S. Išenko: 'Primenie gelis pri svarke alominievih splavov plavšims elektrodom'; Avtomatičeska svarka, No. 2, (527), str. 14-18, 1997.
- [22] J.M. Kuk, D.G. Lee:"Effects of shielding gas composition on low temperature toghness of Al-5083-O gas metal arc weld"; Sci. & Tech. of Welding and Joining, Vol.9, No6, 2004.
- [23] C. Matz: 'Improved arc stability with O₂ dose to inert gas',Aluminium international today, september/october, 2005.



Bore V. Jegdić*, Biljana M. Bobić*, Behar Alić**

ODREĐIVANJE SKLONOSTI ZAVARENOG SPOJA AUSTENITNOG NERĐAJUĆEG ČELIKA PREMA INTERKRISTALNOJ KOROZIJI TESTING OF SUSCEPTIBILITY TO INTERGRANULAR CORROSION IN WELDED JOINTS OF AUSTENITIC STAINLESS STEEL

Originalni naučni rad / Original scientific paper

UDK / UDC: 621.791.052;

620.193.5:669.14.018.8

Rad primljen / Paper received:

Januar 2016.

Adresa autora / Author's address:

*Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju IHTM, Njegoševa
12, 11000 Beograd, Srbija

**Metalurški institut „Kemal Kapetanović“, Travnička cesta 7,
72000 Zenica, Bosna i Hercegovina

Autor za prepisku: borejegdic@yahoo.com

Cljučne reči: nerđajući čelici, zavareni spoj, interkristalna korozija, elektrohemijske metode ispitivanja

Key words: stainless steels, welded joint, intergranular corrosion, electrochemical methods

Izvod

Ispitana je sklonost zavarenog spoja austenitnog nerđajućeg čelika X5CrNi18-10 prema interkristalnoj koroziji. Ispitivanje je izvršeno metodom elektrohemijske potenciokinetičke reaktivacije sa jednostrukom petljom (EPR) i sa dvostrukom petljom (DL EPR). Takođe, određena je sklonost prema interkristalnoj koroziji navedenog nerđajućeg čelika posle senzibilizacije termičke obrade (675 °C/1h). Pri datim uslovima zavarivanja (primenjena jačina struje zavarivanja, debljina zavarenih uzoraka od nerđajućeg čelika, itd.) osnovni metal je potpuno otporan prema interkristalnoj koroziji, dok je zona uticaja toplote u maloj meri sklona prema interkristalnoj koroziji. Posle senzibilizacije termičke obrade nerđajući čelik pokazao je značajniju sklonost prema interkristalnoj koroziji. Analizirane su mogućnosti navedenih elektrohemijskih metoda u odnosu na mogućnosti klasičnih hemijskih metoda ispitivanja interkristalne korozije u ključalim rastvorima kiselina. EPR i DL EPR metode daju kvantitativne podatke o stepenu senzibilizacije (zavarenog spoja) nerđajućeg čelika prema interkristalnoj koroziji, a takođe i prema interkristalnoj naponskoj koroziji.

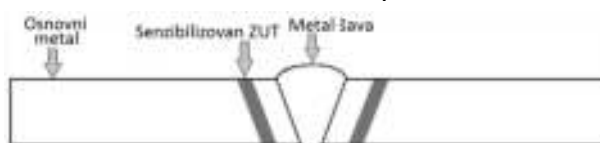
UVOD

Interkristalna korozija nerđajućih čelika je vid lokalne korozije koji se manifestuje rastvaranjem oblasti granica zrna. Do senzibilizacije nerđajućih čelika prema interkristalnoj korozijinajčešće dolazi u zoni uticaja toplote (ZUT-u) u zoni koja je paralelna

Apstract

The susceptibility to intergranular corrosion of welded joints of austenitic stainless steel X5CrNi18-10 was examined. The testing was performed by the electrochemical potentiokinetic reactivation method with single loop (EPR) and double loop (DL EPR). Also, the susceptibility to intergranular corrosion of stainless steels after sensitization heat treatment (675 °C/1h) was examined. At given welding parameters (current intensity, the thickness of welded samples of stainless steel, etc.) the base metal is completely resistant to intergranular corrosion, while the heat affected zone shows a relatively low susceptibility to intergranular corrosion. After sensitization heat treatment the stainless steel showed something higher susceptibility to intergranular corrosion. The advantages of applied electrochemical methods in relation to the classical chemical methods for intergranular corrosion testing were analyzed. DL EPR and EPR methods provide quantitative data on the sensitization degree to intergranular corrosion (in welded joints) and and also to intergranular stress corrosion cracking.

metalnu šavu (slika 1), tokom zavarivanja, ili prilikom žarenja u cilju uklanjanja zaostalih naprezanja [1-3]. Interkristalna korozija se češće javlja pri zavarivanju debelih ploča nego tankih limova [4]. To je posledica postojanja različitih profila temperatura-vreme.



Slika 1. Zavareni spoj



Tradicionalno, ispitivanje stepena senzibilizacije nerđajućih čelika prema interkristalnoj koroziji se izvodi hemijskim tretmanom uzoraka u ključalom rastvoru različitih kiselina. Ispitivanja se vrše u rastvoru $H_2SO_4 + CuSO_4$ (Straus-ova metoda), u rastvoru $H_2SO_4 + Fe_2(SO_4)_3$ (Streicher-ova metoda) ili u rastvoru HNO_3 (Huey test)[5]. Vreme ispitivanja je relativno dugo i zavisi od metode ispitivanja može biti do 10 dana. U cilju određivanja strukture sklone interkristalnoj koroziji može se izvršiti elektrohemijsko nagrizanje uzoraka u oksalnoj kiselini (ASTM A262, postupak A [6]). Posle elektrohemijskog nagrizanja uzorci se posmatraju pod mikroskopom, pri uvećanju 500x. Ako nema znakova interkristalne korozije na granicama zrna, nisu potrebna dugotrajna ispitivanja u ključalim rastvorima kiselina. Ako se uoči pojava interkristalne korozije na granicama zrna, uzorci od nerđajućeg čelika se nakon toga moraju ispitati odgovarajućom hemijskom metodom.

Vreme ispitivanja interkristalne korozije nerđajućih čelika se može znatno skratiti ako se primeni metoda elektrohemijske potenciokinetičke reaktivacije, EPR [7,8]. Uzorku od nerđajućeg čelika, koji se nalazi u rastvoru sumporne kiseline i kalijum tiocijanata, pomera se elektrodni potencijal iz pasivne oblasti ka korozionom potencijalu E_{kor} , pomoću odgovarajućeg elektrohemijskog uređaja (potencijostata). Ukoliko je čelik sklon interkristalnoj koroziji dolazi do aktiviranja granica zrna. Količina naelektrisanja (Q) koja pri tome protekne predstavlja merilo sklonosti čelika prema interkristalnoj koroziji (P_a). Ovakva EPR metoda se naziva metoda sa jednostrukom petljom.

Druga varijanta ove metode je metoda elektrohemijske potenciokinetičke reaktivacije sa dvostrukom petljom (DL EPR) [9,10]. Potencijal nerđajućeg čelika se pomera od korozionog potencijala u pozitivnu oblast do pasivacije. Pri tome, prvo dolazi do aktiviranja zrna i granica zrna

(odnosno cele površine uzorka), a pri daljem pomeranju potencijala dolazi do pasivacije. Posle dostizanja određenog potencijala u pasivnoj oblasti, potencijal uzorka se pomera u povratnom smeru do korozionog potencijala (reaktivacioni deo petlje). Pri tome dolazi do aktiviranja samo oblasti neposredno uz granicu zrna, kod nerđajućeg čelika koji je sklon interkristalnoj koroziji. Odnos količine naelektrisanja koje je utrošeno prilikom reaktivacije (tj. pri rastvaranju oblasti neposredno uz granicu zrna, Q_r) i količine naelektrisanja utrošenog pri aktivaciji (tj. pri rastvaranju zrna i granice zrna, Q_p) predstavlja merilo sklonosti nerđajućeg čelika prema interkristalnoj koroziji. Kao merilo sklonosti prema interkristalnoj koroziji može se uzeti odnos vrednosti strujnog pika pri reaktivaciji (I_r) i strujnog pika pri aktivaciji uzorka (I_p).

EPR i DL EPR metode se primenjuju za ispitivanje sklonosti prema interkristalnoj koroziji ne samo austenitnih čelika, već i feritnih i duplex nerđajućih čelika [10]. Nerđajući čelici koji su skloni interkristalnoj koroziji skloni su i interkristalnoj naponskoj koroziji, tako da se ove metode mogu primeniti i za ocenu sklonosti nerđajućih čelika prema naponskoj koroziji [10].

EKSPERIMENTALNI DEO

Materijal

Uzorci od nerđajućeg čelika X5CrNi18-10 debljine 6 mm, zavareni su TIG postupkom, uz korišćenje uređaja za zavarivanje sa automatskim dodavanjem žice. Jačina struje tokom zavarivanja je bila 130 A. Kao zaštitni gas za zavarivanje korišćen je argon koji je sadržao 2,5 % azota. Hemijski sastav nerđajućeg čelika (X5CrNi18-10) i dodatnog materijala-žice, sa oznakom proizvođača (Askaynak) MW 308LSi (G 19 9 LSi prema EN 12072[11]) prikazan je u tabeli 1.

Oznaka	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N
X5CrNi18-10	0,04	0,34	1,20	0,007	0,006	18,8	9,5	0,22	0,05
MW 308 LSi	0,03	0,80	1,90	0,007	0,007	20,1	9,90	0,07	0,06

Tabela 1. Hemijski sastav nerđajućeg čelika (X5CrNi18-10) i žice MW 308 LSi, mas. %

Pre ispitivanja, uzorci od nerđajućeg čelika su brušeni brusnom hartijom finoće 600, zatim sve finijom hartijom do finoće 1500, dok se nisu uklonili risevi od predhodnih brušenja.

Nakon toga uzorci su polirani vodenom suspenzijom Al_2O_3 (granulacije 5 μm) na tkanini za poliranje. Uzorci su zatim odmašćeni etanolom, isprani destilovanom vodom i osušeni na vazduhu.



Elektrohemijska potenciokinetička reaktivacija sa jednostrukom petljom (EPR)

U ovom radu određena je sklonost prema interkristalnoj koroziji zavarenog spoja nerđajućeg čelika X5CrNi18-10 u zoni uticaja toplote (ZUT) i sklonost ovog čelika prema interkristalnoj koroziji posle senzibilizacione termičke obrade. Senzibilizaciona termička obrada je izvršena žarenjem nerđajućeg čelika na 675 °C u toku 1h [8]. Određivanje sklonosti prema interkristalnoj koroziji izvršeno EPR metodom sa jednostrukom petljom, u rastvoru 0,5 mol dm⁻³ H₂SO₄ + 0,01 mol dm⁻³ KSCN [8]. Za pripremanje rastvora korišćena je destilovana voda i hemikalije analitičke čistoće. Takođe, EPR metodom ispitana je sklonost osnovnog metala prema interkristalnoj koroziji, u cilju poređenja rezultata.

Ispitivanja su izvršena u uobičajenoj elektrohemijaskoj ćeliji, sa zasićenom kalomelovom elektrodom (ZKE) kao referentnom elektrodom i platinskom folijom kao kontra elektrodom. Radna elektroda (ispitivani uzorak) površine 0,785 cm², postavljena je u specijalni držač. Svi elektrodni potencijali u ovom radu su dati u odnosu na zasićenu kalomelovu elektrodu (ZKE). U rastvoru za ispitivanje, na uzorku je uspostavljen relativno stabilan E_{kor} koji se nalazio u zahtevanoj oblasti korozionih potencijala (-350 mV do -450 mV). Uzorak je držan 5 min na E_{kor} , a zatim je potencijal uzorka prebačen u pasivnu oblast (+200 mV) i držan na ovom potencijalu 2 min, u cilju obrazovanja stabilnog pasivnog filma na uzorku. Po isteku tog vremena, potencijal uzorka je pomešan ka korozionom potencijalu, pri brzini promene potencijala od 1,67 mV s⁻¹. Ukoliko je čelik sklon interkristalnoj koroziji dolazi do aktiviranja granica zrna. Količina naelektrisanja Q koja protekne usled rastvaranja prigraničnih oblasti zrna osiromašenih hromom, predstavlja merilo sklonosti prema interkristalnoj koroziji (P_a):

$$P_a = \frac{Q}{A_s \cdot (5.1 \cdot 10^{-3} \cdot e^{0.35 \cdot G})} \quad (1)$$

A_s je površina uzorka, a G veličina zrna prema standardu ASTM E112 [12] ili ISO 643 [13]. Prema standardu ASTM G108 [8], širina senzibilizovane oblasti osiromašene hromom, sa svake strane granice zrna je ~ 0,5 μm. Ukupna površina senzibilizovanih oblasti uz granice svih zrna na površini uzorka S_{GBA} zavisi od srednje veličine zrna G i od površine uzorka za ispitivanje A_s (u saglasnosti sa ASTM G108 [8]), prema sledećoj jednačini:

$$S_{GBA} = A_s \cdot (5.1 \cdot 10^{-3} \cdot e^{0.35 \cdot G}) \quad (2)$$

Elektrohemijska potenciokinetička reaktivacija sa dvostrukom petljom (DL EPR)

U ovom radu je za određivanje sklonosti prema interkristalnoj koroziji zavarenog spoja nerđajućeg čelika primenjena i DL EPR metoda. Ispitivanje je izvršeno u zoni uticaja toplote (ZUT) i posle senzibilizacione termičke obrade, u rastvoru 0,5 mol dm⁻³ H₂SO₄ + 0,01 mol dm⁻³ KSCN [10]. Za pripremanje rastvora korišćena je destilovana voda i hemikalije analitičke čistoće. Osnovni metal je takođe ispitan DL EPR metodom, u cilju poređenja rezultata.

U rastvoru za ispitivanje, na uzorku je uspostavljen relativno stabilan E_{kor} koji se nalazio u zahtevanoj oblasti korozionih potencijala. Uzorak je držan 5 min na E_{kor} , a zatim je potencijal pomešan u pozitivnom smeru do pasivacije (+300 mV), pri brzini promene potencijala od 1,67 mV s⁻¹. Neposredno po dostizanju potencijala pasivacije (+300 mV) promenjen je smer polarizacije i potencijal uzorka je vraćen do korozionog potencijala. Ukoliko je čelik sklon interkristalnoj koroziji dolazi do aktiviranja granica zrna. Odnos količine naelektrisanja koje je utrošeno prilikom reaktivacije (tj. pri rastvaranju oblasti neposredno uz granicu zrna, Q_r) i količine naelektrisanja utrošenog pri aktivaciji (tj. pri rastvaranju zrna i granice zrna, Q_p), uzimajući u obzir veličinu zrna G , predstavlja merilo sklonosti prema interkristalnoj koroziji (Q_r/Q_p)_{GBA}:

$$\left(\frac{Q_r}{Q_p}\right)_{GBA} = \frac{Q_r}{Q_p \cdot (10^{-3} \cdot \sqrt{2^{G+5}})} \quad (3)$$

Ukupna površina senzibilizovanih oblasti uz granice svih zrna na površini uzorka S_{GBA} se može odrediti primenom sledeće jednačine, u saglasnosti sa ISO 12732 [8]:

$$S_{GBA} = A_s \cdot (10^{-3} \cdot \sqrt{2^{G+5}}) \quad (4)$$

Izračunate vrednosti za S_{GBA} primenom jednačine 2 (prema ASTM G108 [8]), odnosno primenom jednačine 4 (prema ISO 12732 [10]) su u dobroj saglasnosti.

2.5 Metalografska ispitivanja

Veličina zrna G , koja je potrebna za proračun stepena senzibilizacije nerđajućeg čelika prema interkristalnoj koroziji (jednačine 1 i 3), određena je pomoću optičkog mikroskopa. Određivanje veličine

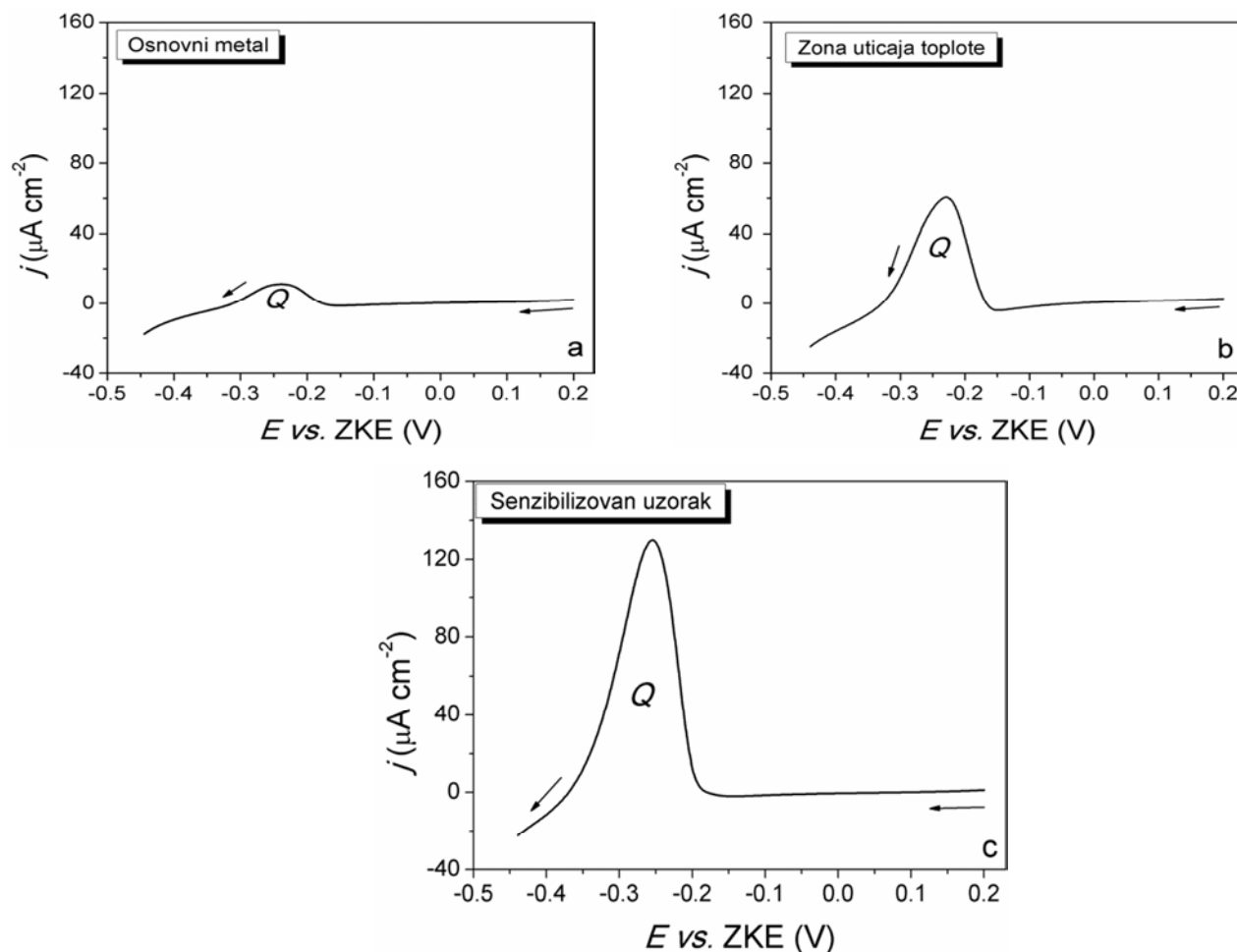


zrna izvršeno je u osnovnom metalu i u zoni uticaja toplote, kao i na senzibilizovanom uzorku. Veličina zrna u osnovnom metalu i u ZUT-u je iznosila 18 – 20 μm (G8-G9).

REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati dobijeni EPR metodom pri ispitivanju sklonosti prema interkristalnoj koroziji nerđajućeg čelika su prikazani na slici 2. Može se videti da je

količina naelektrisanja Q mnogo manja u slučaju osnovnog metala nego u slučaju ZUT-a (Q je proporcionalno površini ispod krivih). Količina naelektrisanja Q je najveća za nerđajući čelik posle senzibilizacione termičke obrade (slika 2c). U tabeli 2 su date izmerene vrednosti korozionog potencijala E_{kor} , kao i izračunate vrednosti količine naelektrisanja Q i stepena senzibilizacije P_a , za osnovni metal, ZUT i senzibilizovan uzorak.



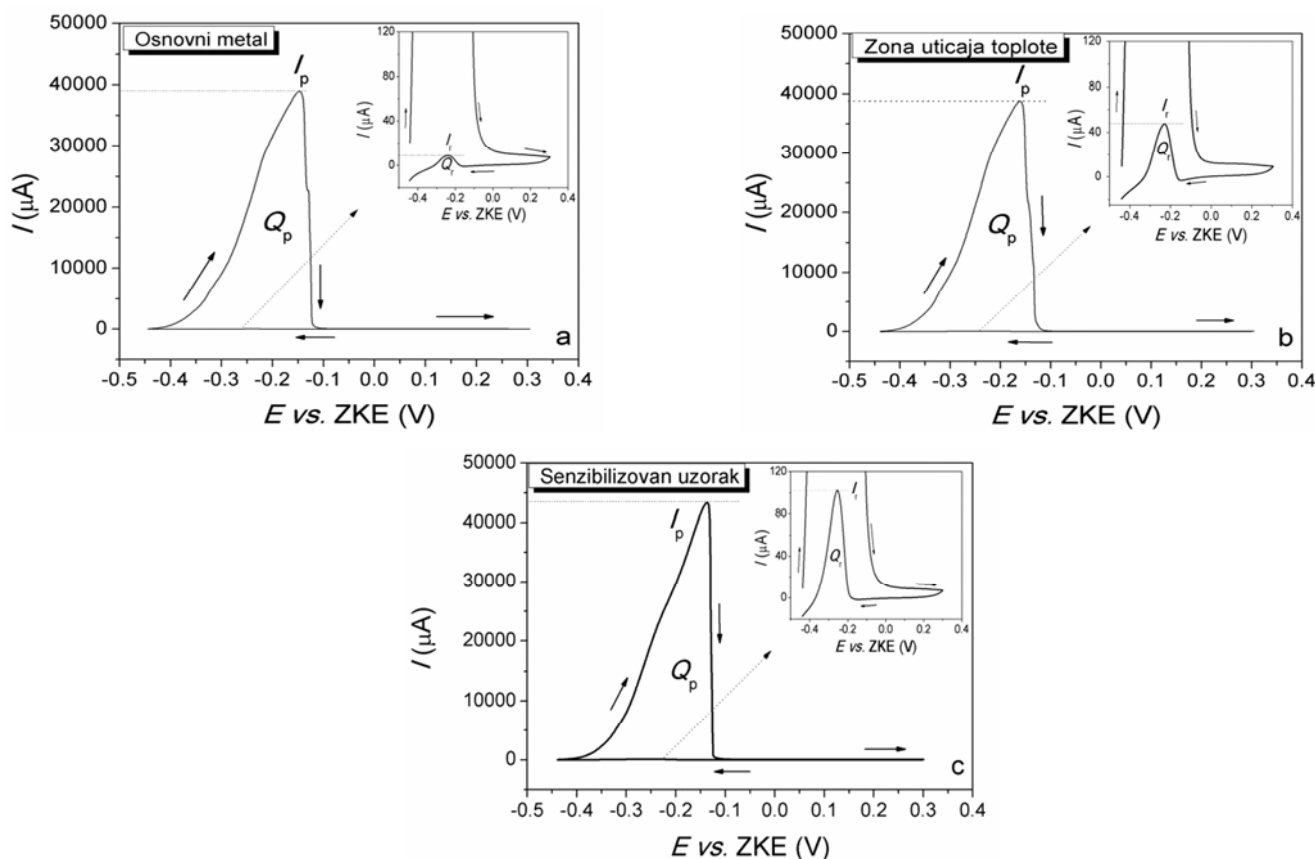
Slika 2. Rezultati ispitivanja interkristalne korozije nerđajućeg čelika X5CrNi18-10 metodom EPR: a) osnovni metal, b) zona uticaja toplote (ZUT) i c) senzibilizovani uzorak.

	E_{kor} (mV)	Q (mC cm ⁻²)	P_a (C cm ⁻²)
Osnovni metal	-443	0,927	0,0093
ZUT	-442	3,669	0,0367
Senzibilizovan uzorak	-440	6,843	0,0685

Tabela 2. Rezultati ispitivanja interkristalne korozije nerđajućeg čelika X5CrNi18-10 metodom EPR

Rezultati ispitivanja DL EPR metodom su prikazani na slici 3. Vrednosti za I_r , I_p , Q_r i Q_p , kao i za stepen senzibilizacije $(Q_r/Q_p)_{\text{GBA}}$ su dati u tabeli 3. Na isečcima na slikama 3a,b,c se može videti reaktivacioni pik Q_r , koji se ne vidi na ukupnoj

eksperimentalnoj krivoj. Vrednost Q_r je najveća za nerđajući čelik posle senzibilizacione termičke obrade (isečak na slici 3c), a najmanja za osnovni metal (isečak na slici 3a).



Slika 3. Rezultati ispitivanja interkristalne korozije nerđajućeg čelika X5CrNi18-10 metodom DL EPR: a) osnovni metal, b) zona uticaja toplote (ZUT) i c) senzibilizovani uzorak.

	I_r (μA)	I_p (μA)	Q_r (mC)	Q_p (mC)	$(Q_r/Q_p)_{\text{GBA}}$ (%)
Osnovni metal	8,67	38961	0,73	2954	0,23
ZUT	47,52	38807	2,88	2815	0,95
Senzibilizovan uzorak	102,08	43325	5,37	2941	1,70

Tabela 3. Rezultati ispitivanja interkristalne korozije nerđajućeg čelika X5CrNi18-10 metodom DL EPR

Osnovni metal je potpuno otporan prema interkristalnoj koroziji (slike 2a i 3a i tabele 2 i 3). Vrednosti pokazatelja sklonosti prema interkristalnoj koroziji P_a i $(Q_r/Q_p)_{\text{GBA}}$ su znatno manje za osnovni metal nego za zonu uticaja toplote i za senzibilizovani uzorak.

Rezultati ispitivanja pokazuju da je zona uticaja toplote (ZUT) u zavarenom spoju nerđajućeg čelika blago senzibilizovana, odnosno malo sklona interkristalnoj koroziji. Pri datim uslovima zavarivanja (primenjena jačina struje zavarivanja, debljina zavarenih uzoraka itd.) na granicama zrna je došlo do izdvajanja male količine hrom-karbida, što nije dovelo do značajnijeg osiromašenja hromom u oblasti granica zrna. To je posledica niskog sadržaja ugljenika u ispitivanom nerđajućem čeliku (tabela 1). Zona uticaja toplote je otporna

prema interkristalnoj koroziji u skladu sa standardima ASTM G108 [8] i ISO 12732 [10].

Rezultati ispitivanja otpornosti nerđajućeg čelika X5CrNi18-10 prema interkristalnoj koroziji posle senzibilizacije termičke obrade ($675^\circ\text{C}/1\text{h}$) su prikazani na slikama 2c i 3c i u tabelama 2 i 3. Pokazatelji P_a i $(Q_r/Q_p)_{\text{GBA}}$ ukazuju da je tokom ispitivanja interkristalne korozije EPR i DL EPR metodom došlo do značajnijeg rastvaranja oblasti uz granicu zrna na senzibilizovanom uzorku. To znači da je čelik više sklona interkristalnoj koroziji posle senzibilizacije termičke obrade, nego ZUT u zavarenom spoju. Žarenje nerđajućeg čelika na 675°C u toku 1h dovelo je do izvesnog izdvajanja hromom bogatih karbida tipa M_{23}C_6 na granicama zrna i do osiromašenja hromom prigrančnih oblasti. Stvarna formula karbida M_{23}C_6 je $(\text{Cr,Fe})_{23}\text{C}_6$ jer se



određeni broj atoma Cr zamenjuje atomima Fe u hrom-karbidu.

Primenjene elektrohemijske metode za određivanje sklonosti prema interkristalnoj koroziji su kvantitativne i veoma selektivne. Njihovom primenom moguće je odrediti male razlike u stepenu senzibilizacije nerđajućeg čelika prema interkristalnoj koroziji. Takođe, metode EPR i DL EPR su nerazarajuće i uz male modifikacije se mogu primeniti na terenu, na gotovim proizvodima od nerđajućeg čelika. Ovo su značajne prednosti primenjenih elektrohemijskih metoda (EPR i DL EPR) u odnosu na klasične hemijske metode ispitivanja sklonosti prema interkristalnoj koroziji u ključalim rastvorima kiselina. Hemijske metode ispitivanja su razarajuće metode i daju samo kvalitativne pokazatelje sklonosti nerđajućeg čelika prema interkristalnoj koroziji (nerđajući čelik je sklon prema interkristalnoj koroziji, odnosno nerđajući čelik nije sklon prema interkristalnoj koroziji). Takođe, cena ispitivanja klasičnim hemijskim metodama je znatno veća nego cena ispitivanja navedenim elektrohemijskim metodama.

ZAKLJUČAK

Ispitana je sklonost prema interkristalnoj koroziji zavarenog spoja austenitnog nerđajućeg čelika X5CrNi18-10 i senzibilizovanog uzorka od navedenog čelika. Ispitivanje je izvršeno metodama elektrohemijske potenciokinetičke reaktivacije sa jednostrukom petljom (EPR) i sa dvostrukom petljom (DL EPR).

LITERATURA

- [1] J.R. Davis, Corrosion of Weldments, ASM International, Materials Park, Ohio, USA, 2006.
- [2] S. Kou, Welding Metalurgy, Sec. Ed., John Wiley and Sons, New Jersey, USA, 2003.
- [3] B. Bobić i B. Jegdić, Korozija zavarenih spojeva, Deo III: Nerđajući čelici, *Zavarivanje i zavarene konstrukcije*, No.4, Beograd, 2005., 217-223.
- [4] R.A. Jarman Desing in Relation to Welding and Joining, CORROSION, Ed. L.L. Shreir, R.A. Jarman and G.T. Burstein, Oxford, Great Britain, 2000., 9:85-9:106.
- [5] B. Bobić i B. Jegdić, Korozija zavarenih spojeva, Deo V: Metode ispitivanja i postupci sprečavanja korozije, *Zavarivanje i zavarene konstrukcije*, No.2, Beograd, 2006., 77-85.
- [6] Standard Practices for Detecting Susceptibility to Intergranular Attack in Austenitic Stainless Steels-ASTM A262.
- [7] J.R. Scully and R.G. Kelly, Methods for Determining Aqueous Corrosion Reaction

Pokazano je da je osnovni metal potpuno otporan prema interkristalnoj koroziji. Zona uticaja toplote (ZUT) u zavarenom spoju je u maloj meri senzibilizovana, tako da ne treba očekivati pojavu interkristalne korozije tokom eksploatacije zavarenog spoja.

Posle senzibilizacione termičke obrade (675 °C/1h) detektovano je nešto veće rastvaranje prigraničnih oblasti zrna osiromašenih hromom, nego u zoni uticaja toplote. Ovo pokazuje da je sklonost prema interkristalnoj koroziji veća u slučaju senzibilizovanog uzorka nego u slučaju ZUT-a.

EPR i DL EPR metode su kvantitativne, nerazarajuće metode za ispitivanje stepena senzibilizacije prema interkristalnoj koroziji nerđajućih čelika. Primenom ovih metoda mogu se odrediti male razlike u sklonosti nerđajućeg čelika prema interkristalnoj koroziji i interkristalnoj naponskoj koroziji. DL EPR metoda je u izvesnoj meri jednostavnija za izvođenje nego EPR metoda. Pored toga, uticaj temperature na rezultate dobijene DL EPR metodom je manje izražen nego u slučaju EPR metode. Uz manju modifikaciju EPR i DL EPR metode se mogu primeniti na terenu na gotovim proizvodima. Cena ispitivanja EPR ili DL EPR metodom je znatno niža nego cena ispitivanja klasičnim hemijskim metodama.

Zahvalnica

Rad je finansiran od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, projekti TR 34028 i TR 34016.

Rates, *Corrosion: Fundamentals, Testing, and Protection*, Vol. 13A, *ASM Handbook*, ASM International, 2003, p 68–86.

[8] Electrochemical Reactivation (EPR) for Detecting Sensitization of AISI Type 304 and 304L Stainless Steels—ASTM G 108.

[9] V. Čihal, S. Lasek, M. Blahetova, E. Kalabisova and Z. Krhutova, Trends in the Electrochemical Polarization Potentiodynamic Reactivation Method-EPR, Review, *Chem. Biochem. Eng. Q.* 21 (1) 2007., 47-54.

[10] Electrochemical potentiokinetic reactivation measurement using the double loop method (based on Čihal's method) - ISO 12732.

[11] Welding consumables. Wire electrodes, wires and rods for arc welding of stainless and heat-resisting steels. Classification-EN 12072.

[12] Standard Test Methods for Determining Average Grain Size-ASTM E112.

[13] Steels — Micrographic determination of the apparent grain size-ISO 643



KOMPOZITNI MATERIJALI COMPOSITE MATERIALS

Rad primljen / Paper received:

Mart 2016.

Ključne reči: materijali, kompoziti, matrice, vlakna, spajanje

Rezime

U radu je dat kratak pregled kompozitnih materijala kao i njihova podela zasnovana na načinu ojačavanja. Pored toga, dat je i kratak osvrt na spajanje kompozitnih materijala.

1. UVOD

Kompozitni materijali predstavljaju kombinaciju dva ili više materijala sa različitim fizičko-mehaničkim svojstvima u mikro i/ili makroskopskoj razmeri. Ovako dobijeni materijali pokazuju najbolja svojstva svojih komponenata, a ponekad i svojstva koje komponente ne poseduju.

Osnovna podela kompozita je na metalne, keramičke i polimerne kompozite.

Kompozitni materijali se mogu svrstati u tri kategorije: *česticama ojačani*, *vlaknasto ojačani i slojeviti (laminatni) kompozitni materijali*. Primer za česticama ojačani kompozitni materijal je beton, to je mešavina cementa i šljunka-peska; stakloplastika je primer za vlaknasto ojačane kompozitne materijale, sačinjena od staklenih vlakana koja su ubačena u polimere; primer laminata su šper ploče koje se sastoje od unakrsno lepljenih furnira drveta.

Svojstva kompozita zavise od svojstava matrice i ojačanja,

- veličine i rasporeda (raspodele) konstituenata,
- zapreminskog udela konstituenata,
- oblika konstituenata,
- prirode i jačini i veze među konstituentima.

Zavisnost odnosa "granica tečenja kompozita-granica tečenja matrice" definisana je prečnikom čestice – d_p , odnosom l/df – dužina vlakna/prečnik vlakna

Kompoziti s disperzijom

- veličina čestica, (prečnik od 10 do 250 nm)
- zapreminski udeo, (V_p do 15 %)
- razmak između dispergovanih čestica, D_p .

Kompoziti s velikim česticama

Adresa autora / Author's address:

¹ "Kontrol-Inspekt" d.o.o Beograd

Keywords: materials, composites, matrix, fibers, joining

Abstract

The paper gives a brief overview of composite materials and their classification based on the method of reinforcement. In addition, there is a brief overview of the bonding composite materials.

Svojstva kompozita s česticama zavise od relativnih udela pojedinih konstituenata npr. $\rho_c = \sum V_i \cdot \rho_i$ gde su: ρ_c – gustina kompozita, ρ_i – gustoća konstituenata, V_i – zapreminski udeo konstituenata.

2. ČESTICAMA OJAČANI KOMPOZITNI MATERIJALI

Česticama ojačani kompozitni materijali sastoje se od veće količine čestica koje su različitog geometrijskog oblika, ali su približno istih dimenzija u svim pravcima. Veličina čestica ima uticaj na svojstva kompozitnih materijala. Za uspešno ojačavanje, čestice bi trebalo da budu malih dimenzija, manje od 1 μm u prečniku i ravnomerno raspoređene unutar matrice. Sadržaj čestica - koncentracija takođe ima uticaja na svojstva, normalno je između 30% do 40% zapreminskog učešća.

3. VLAKNIMA OJAČANI KOMPOZITNI MATERIJALI

Vlaknasto ojačani kompozitni materijali dobijeni su sjedinjavanjem čvrstih, krutih i krutih vlakana (prekidna i disperzna faza) sa mekom i plastičnom matricom (neprekidna faza). Matrica služi da prenosi silu sa vlakna na vlakno, da obezbeđuje plastičnost i žilavost i sposobnost oblikovanja, dok vlakna prenose opterećenje. Ojačavajuća vlakna u kompozitu mogu biti različito raspoređena i orijentisana.

3.1. Matrica

Matrica kod vlaknasto ojačanih kompozitnih materijala ima nekoliko funkcija. Prvo, povezuje vlakna međusobno i deluje kao posrednik koji spoljna opterećenja prenosi i raspoređuje na



vlakna; samo vrlo mali deo opterećenja prima matrica. Druga funkcija matrice je da štiti vlakna od mehaničkih oštećenja ili hemijskih uticaja sredine. Konačno matrica služi i da razdvoji vlakna i posredstvom njene relativne mekoće i plastičnosti spreči širenje krug loma od vlakna do vlakna što bi dovelo konačno do loma; drugim rečima matrica služi kao barijera širenju prslina.

Kao materijal matrice koriste se metalni i polimerni materijali, jer poseduju potrebnu plastičnost. Metali koji se najčešće koriste kao matrica su: aluminijum, aluminijum - litijum, magnezijum i titan. Nemetalne matrice obično su: epoksidi, poliestri, polietarsulfan, poliamidi i silikon. Najviše čak i do 80% od svih polimera se koriste epoksidne smole, zatim poliester koji je znatno jeftiniji od epoksidnih smola.

3.2. Vlakna

Vlakna se mogu definisati kao tvorevine kod kojih je dužina bitno veća od prečnika pod uslovom da je prečnik manji od 1 mm. Kako bi se postigla što bolja mehanička svojstva polimernih materijala ojačanih vlaknima, ključan je odnos volumena i obodne površine vlakna. S obzirom da se povećanjem prenosa opterećenja s matrice na vlakna povećava čvrstoća kompozita, pomoću vrlo malih prečnika vlaknaca postižu se visoke čvrstoće kompozitnih materijala. Danas su uobičajeni prečnici vlakana 3 – 30 μm . Vlakna u pravilu trebaju imati visoku tačku topljenja.

Najveći specifični modul elastičnosti imaju materijali niskog atomskog broja te oni koji imaju kovalentne veze kao što su grafit (ugljik) i bor. Ova dva elementa takođe imaju visoku čvrstoću i visoku

tačku topljenja. Primjenjuju se u kompozitnim materijalima jer su suviše krhki i reaktivni da bi se koristili zasebno. Vlakna za ojačanje moraju imati znatno veći modul elastičnosti i zateznu čvrstoću nego matrica zadovoljavajuće temperaturne postojanosti i izraženog elastičnog ponašanja prilikom opterećivanja.

U cilju poboljšanja funkcije vlakana sprovodi se površinska obrada pomoću zaštitnog premaza, zatim hemijska i fizička naknadna obrada za poboljšanje adhezije, tj. prijanjanja između vlakana i matrice i sl.

3.2.1. Vlakna se mogu oblikovati u tri osnovna oblika:

- viskeri
- žice
- niti.

Viskeri su monokristalna vlakna s malo nepravilnosti u građi kristalne rešetke. Proizvode se s dimenzijama prečnika od 0,1 μm do 5 μm i dužine približno 5 mm. Moguće je pronaći viskere vrlo različitih oblika i dimenzija. Kada se govori o iskorišćenju izuzetnih mehaničkih svojstava viskera, kao jednu od osnovnih prepreka valja istaći činjenicu da je cena zbog skupih postupaka proizvodnje vrlo visoka.

Stoga se razvoj materijala ojačanih viskerima usmerava za sada samo na primenu u ekstremnim uslovima (npr. u svemirskoj i vojnoj tehnologiji). U tablici su prikazana karakteristična svojstva nekih viskera.

Materijal	Gustina ($\text{kg/m}^3 \times 10^3$)	Zatezna čvrstoća ($\text{MPa} \times 10^3$)	Modul elastičnosti ($\text{MPa} \times 10^3$)
Al_2O_3	4,0	10.....20	700....1500
C	2,2	20,7	700
SiC	3,2	20	480
Si_3N_4	3,2	5....7	350...380

Tabela 1. Svojstva nekih viskera

Prednost ojačanih polimernih materijala jeste i njihova standardizovana industrijska proizvodnja i time mogućnost brze montaže na mestu gradnje bez potrebe za teškom mehanizacijom. Sve to umanjuje visoke troškove radne snage i smanjuje vreme ometanja ili obustave saobraćaja prilikom popravki već postojećih konstrukcija

Metalne niti obično nazivamo žice. U pogledu njihove proizvodnje valja napomenuti da se uobičajenim vučenjem teško mogu dobiti žice prečnika 150 μm i manje, tj. žice su većeg prečnika od niti. Zbog neusmerenih metalnih veza žice imaju nešto nižu zateznu čvrstoću (max. 2900 MPa) od

niti (max. 4800 MPa) i viskera (max. 25000 MPa), ali se ona može znatno povisiti povećanjem gustine nepravilnosti kristalne rešetke (npr. hladnim razvlačenjem). Može se zaključiti da su zbog navedenih karakteristika žice od čistih metala manje pogodne za kompozite izuzev nekih izuzetaka (npr. za ojačanje viskoopterećenih guma vozila).

Ograničenja navedena u vezi s viskerima i žicama mogu se većim delom zaobići ako se visokomodulni i visokočvrsti nemetalni neorganski materijali proizvode i primjenjuju kao niti ili kratka vlakna. Niti se definišu kao beskonačno duga vlakna.



Kada se u užem smislu govori o polimerima ojačanim vlaknima, često se spominju samo niti i kratka vlakna. Ove vrste vlakana danas se posebno primjenjuju u građevinarstvu.

Kod vlakana beskonačne dužine vlaknasti se materijali isporučuju ne samo pojedinačno u obliku niti već i u obliku višenitnih potpuno sintetičkih vlakana (multifil) ili višenitnih vlakana s oblogom (garn-oblik) ili u obliku višenitnih strukova (rovings). Rovings su redovno užad, tj. konopci s 1 000 – 10 000 elementarnih vlakana.

Postoje izotropna, anizotropna, neorganska i organska vlakna.

Neke od najraširenijih vrsta vlakana su:

- tekstilna staklena vlakna (kratko-staklena vlakna od E-, A-, S-stakla)
- ugljenična (karbonska) vlakna (ugljenik HM, HST)
- aramidna vlakna (aramid HM, M)
- borna vlakna (bor).

3.2.2. Usmerenost vlakana

Ojačivači mogu biti raspoređeni na različite načine. Jednosmerno usmerenje kontinuiranih vlakana može se primeniti za izradu proizvoda kod kojih se žele postići bolja mehanička svojstva u jednom smeru. Na taj način dolaze do izražaja anizotropna svojstva kompozita. Kod ortogonalnih višesmernih i kratkih slučajno usmerenih vlakana kompoziti imaju izraženija izotropna svojstva. Od vlakana se mogu izraditi tkanine ili trake. Slojevi traka mogu se različito usmeravati.

3.2.3. Vrste vlakana

Staklena vlakna. Staklena vlakna se izrađuju izvlačenjem rastopljenog stakla kroz male otvore u

alatima od platine, i to od dve vrste stakla: (1) E-staklo (2) S-staklo. E-staklo ima relativno dobru zateznu čvrstoću i modul elastičnosti, najviše se koriste za izradu dugih - neprekidnih vlakana. S-staklo ima veću vrednost specifične čvrstoće i krutosti od E-stakla, ali je znatno skuplje.

Ugljena vlakna. Ugljena vlakna izrađuju se procesom hemijskog razlaganja na povišenim temperaturama dugih vlakana poliakrilnitrída (PAN). Ugljena vlakna sadrže oko 93-95%C, dok grafitna vlakna sadrže 99%C. Ugljena vlakna imaju malu gustinu i visoke vrednosti specifične čvrstoće i krutosti. U odnosu na staklena vlakna znatno su skuplja.

Aramidna vlakna (KEVLAR). Aramidna vlakna su aromatični poliamidni polimeri ojačani benzolovim prstenom. Zbog svoje male gustine ova vlakna imaju najveću specifičnu čvrstoću i krutost u odnosu na druga vlakna (sl.13.7). Pod opterećenjem ona se pre kidanja prvo plastično deformišu. Otporna su na zamor. Svojstva aramidnih vlakana sa porastom temperature preko 100°C jako se smanjuju.

Borna vlakna. Borna vlakna sastoje se od bora koji se nanosi (postupkom napanavanja) na vlakna volframa, prečnika 0.01mm. Obzirom da je osnova ovih vlakana volfram, ona imaju veliku gustinu, ali visoke vrednosti zatezne i pritisne čvrstoće, modula elastičnosti i otporna su na visoke temperature.

Žice kao vlakna relativno velikog prečnika, takođe se koriste za ojačavanje kompozita. Žica kao ojačavajući materijal koristi se kod radijalnih automobilskih guma. Materijali koji se koriste za žice su: čelik visoke čvrstoće, molibden i volfram.

Materijal	Gustina g/cm ³	Zatezna čvrstoća N/mm ²	Modul elastičnosti N/mm ² x10 ³	Specifična čvrstoća mx10 ⁴	Specifična krutost mx10 ⁶	Tačka topljenja °C
E-staklo	2.55	3447	72.3	13.7	2.89	< 1725
S-staklo	2.50	4481	86.8	18.2	3.54	<1725
SiO ₂	2.19	5860	72.3	27.2	3.35	1728
Al ₂ O ₃	3.95	2068	379.2	5.3	9.78	2015
Ugljenik, HS*	1.90	3000	241.3	16.0	12.9	3700
Ugljenik, HM**	1.90	2000	344.7	10.7	18.4	3700
BN	1.90	1380	89.6	7.3	4.8	2730
Bor	2.36	3448	379.2	14.8	16.3	2030
B ₄ C	2.36	2275	482.6	9.8	20.8	2450
SiC	4.09	2068	482.6	5.1	12.0	2700
TiB ₂	4.48	103	510.2	0.23	11.6	2980
W	19.4	4000	406.8	2.1	2.1	3410
Polietilen	0.97	2585	117.2	27.1	12.3	147
Najlon	1.14	828	2.75	7.4	0.24	249
Kevlar	1.44	4480	124.1	19.8	8.7	500

*Vlakna visoke čvrstoće

** Vlakna visokog modula

Tabela 2. Fizičko-mehanička svojstva ojačavajućih vlakana



4. KOMPOZITI S POLIMERNOM MATRICOM

Najraširenije i daleko najjeftinije polimerne smole su poliesteri i vinil esteri. Prvenstveno se primjenjuju kod staklenim vlaknima ojačanih kompozita

Epoksidne smole znatno su skuplje i često neprikladne za komercijalnu primenu. Primjenjuju se kod polimernih kompozita u vazduhoplovstvu. Imaju bolja mehanička svojstva kao i veću postojanost prema vlazi.

Za visokotemperaturne primene koriste se polimidi čija gornja temperatura dugotrajne primene iznosi oko 230 °C.

Visokotemperaturni plastomeri imaju potencijal za buduću primenu u avioindustriji. Radi se o polietereketonu (PEEK), polifenilensulfidu (PPS), polietereimidu (PEI).

- staklenim vlaknima ojačani polimerni kompoziti;
- ugljeničnim vlaknima ojačani polimerni kompoziti;
- aramidnim vlaknima ojačani polimerni kompoziti;
- ostali vlaknasti materijali za ojačanje.

STAKLENIM VLAKNIMA OJAČANI POLIMERNI KOMPOZITI

Ovaj tip kompozita proizvodi se u najvećim količinama (E-staklo i S-staklo)

Staklo je popularan materijal za ojačavanje iz nekoliko razloga:

- lako se iz rastopljenog stanja izvlači u obliku visokočvrstih vlakana ($d=3$ do $20 \mu\text{m}$); ekonomična proizvodnja staklenim vlaknima ojačanih polimernih materijala; vlakna su relativno čvrsta, kada se ulože (ugrade) u polimernu matricu, dobija se kompozit vrlo visoke specifične čvrstoće;
- hemijski su inertni što daje kompozite korisne za primenu u različitim korozivnim sredinama.

UGLJENIČNIM VLAKNIMA OJAČANI POLIMERNI KOMPOZITI

Prečnici vlakana su od 4 do 10 μm a dostupna su kao kontinuirana i rezana. Uobičajeno su prevučena zaštitnim epoksidnim slojem, što poboljšava vezivanje s polimernom matricom. Imaju najviši specifični modul i najvišu specifičnu čvrstoću; i visoku čvrstoću zadržavaju i pri povišenim temperaturama; otporni su na vlagu i niz rastvarača, kiselina i baza pri sobnoj temperaturi. Postupci proizvodnje vlakana i kompozita koji su relativno jeftini.

ARAMIDNIM VLAKNIMA OJAČANI POLIMERNI KOMPOZITI

Kod njih postoji izuzetan odnos čvrstoća-gustina (iznad onog kod metala).

Komercijalni nazivi dvaju najuobičajenijih su "Kevlar" i "Nomex".

Zatezna čvrstoća i modul elastičnosti je viši od drugih polimernih vlaknastih materijala uz visoku krutost i žilavost, otpornost na udar, otpornost na puzanje i zamor materijala. Otporni su na paljenje i stabilni pri relativno visokim temperaturama; raspon temperatura kod kojih zadržavaju visoka svojstva: od -200 do $200 \text{ }^\circ\text{C}$;

Podložni su degradaciji s jakim kiselinama i bazama, ali su relativno inertni prema drugim rastvaračima i hemikalijama.

OSTALI VLAKNASTI MATERIJALI ZA OJAČANJE

Drugi vlaknasti materijali, kao npr. vlakna bora te vlakna silicijum karbida (SiC) i aluminijum oksida (Al_2O_3), primjenjuju se u daleko manjoj mjeri.

5. KOMPOZITI S METALNOM MATRICOM - MMC

- materijali matrice: superlegure, legure aluminijuma, magnezijuma, titana i bakra
- ojačivači: čestice, kontinuirana i diskontinuirana vlakna i viskeri ($V_o=10$ do 60%)

U osnovi ovi kompoziti imaju svoje dobre i loše osobine i to:

Dobra svojstva:

- vrlo visoka čvrstoća i krutost,
- visoka toplotna i električna provodljivost i mala plastičnost na povišenim temperaturama,
- vrlo dobra otpornost na trošenje,
- vrlo dobra mehanicka i druga svojstva pri visokim temperaturama

Loše strane:

- komplikovana proizvodnja,
- vrlo visoka cena
- nedovoljno podataka o svojstvima materijala,
- još uvek nema dovoljno smernica za konstruiranje
- loša mogućnost reciklaže.

Najčešće su to metali Al, Cu, Mg i Ti i superlegure s karbidnim, oksidnim ili nitridnim fazama.

Al - matrica

Najveći udeo na tržištu

Udeo ojačanja u matrici i do 70 % - čestice, kratka vlakna, kontinuirana vlakna ili nešto deblje niti. Značajno se povećava E do čak 240 GPa, čvrstoća, krutost, otpornost na trošenje, snižava se plastičnost na povišenim temperaturama, i do 70%. Čestice: oksidi, karbidi ili boridi - Al_2O_3 , SiC (najčešće) ili TiB_2 .



Mg – matrica

Mg - mala gustina (oko 1700 kg/m³).

Ojačanje C-vlaknima daje - višu krutost, - višu čvrstoću, - malu plastičnost na povišenim temperaturama, lošu otpornost na koroziju.

Mg-legure s cesticama SiC:

-mala gustina,

-mala plastičnost na povišenim temperaturama, i

-visok modul elastičnosti.

Ti - matrica

• Izuzetno visoka mehanička svojstva, vrlo dobra otpornost pri visokim temp. i otpornost na koroziju.

• Najčešće SiC vlakna - u jednom smeru

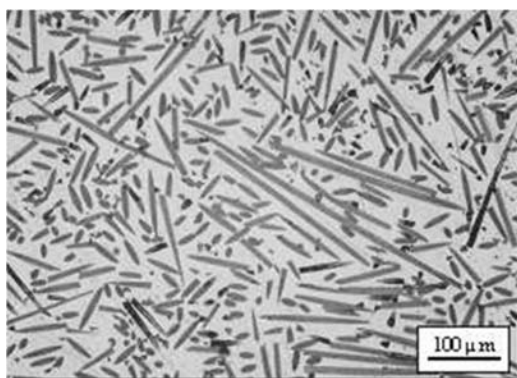
Cu – matrica

Visoka toplotna provodljivost (> 500 W/mK)

Mala plastičnost na povišenim temperaturama, toplotno istezanje (4-7·10⁻⁶/K)

• Cu-matrica s C-vlaknima ili W-vlaknima (za visoke temperature)

• Infiltracija tekućeg Cu između C-vlakana, metalurgija praha i prevlačenje C- vlakana s Cu.

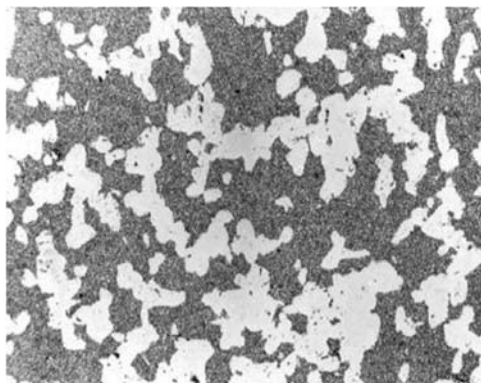


Slika 2. Cu matrica + 44 % C-vlakana

Matrica - superlegure i čelici

Superlegure Ni i Co + Mo, W, Ti i Al a kao ojačanja se koriste vlakna od W, Mo, Ta i Nb.

Primena pri ekstremno visokim temperaturama (i do 1400°C).



Slika 3. Mikrostruktura kompozita nastalog kombinovanje duplex čelika i 30 %Cr₃C₂.



Slika 4. Mikrostruktura nerđajućeg čelika AISI 316 s 20 %Al₂O₃ čestica

6. KERAMIČKI MATERIJALI

Keramički materijali su neorganski, nemetalni materijali koji se sastoje od jedinjenja metalnih i nemetalnih elemenata povezanih jonskim i/ili kovalentnim vezama. Svojstva različitih keramičkih materijala jako se razlikuju što se pripisuje razlikama u vezivanju atoma. Keramički materijali su po pravilu veoma tvrdi i kruti, imaju malu plastičnost, dobri su električni i termički izolatori, otporni su na habanje i koroziju, imaju visoku

temperaturu topljenja. Keramički materijali mogu da se podele u dve grupe: *tradicionalna i industrijska keramika*. Tradicionalna keramika načinjena je od tri osnovne komponente: gline, silicijum dioksida (SiO₂) i feldspata. Ova keramika se koristi za opeke i pločice u građevinarstvu i za elektroizolacioni porcelan kod visokih napona.

Industrijska keramika sastoji se iz čistih ili skoro čistih jedinjenja od kojih su najvažniji Al₂O₃, ZrO₂, WC, SiC i Si₃N₄, B₄C i BN. Industrijska keramika se



koristi u oblasti visokih tehnologija kao što je izrada delova gasnih turbina izloženih visokim temperaturama, svećica motora SUS, prevlaka na čeonim površinama klipa motora SUS i grana izduvnih cevi motora SUS.

Kako keramički materijali imaju malu plastičnost, delovi se izrađuju presovanjem vlažnih čestica ili praha (puđera) u željeni oblik, posle čega sledi sušenje i pečenje, ili livenjem.

6.1. KOMPOZITI S KERAMIČKOM MATRICOM- CMC

Matrice

Oksidna keramika: Al_2O_3 , SiO_2 , mulit ($:Al_2O_3/SiO_2$), Ba-, Li i Ca-aluminosilikati.

Nešto bolja toplotna i hemijska stabilnost.

Neoksidna keramika: SiC, Si_3N_4 , BC, AlN itd.

Nešto bolja mehanicka svojstva.

Vrste ojačanja

Diskontinuirana ojačanja: Čestice, viskeri, sečeni komadići vlakana - SiC, Si_3N_4 , BC, TiB_2 , AlN itd.

Daju nešto niža mehanicka svojstva, no mogu se proizvoditi nekim od klasičnih postupaka proizvodnje monolitne keramike (jeftinije).

Kontinuirana vlakna - novije.

Bolja mehanicka svojstva, no dobijaju se složenijim postupcima - skuplje.

Vlakna: Al_2O_3 , mulit ($:Al_2O_3/SiO_2$), C, SiC (najčešće zbog visoke čvrstoće, krutosti i toplotne stabilnosti).

KOMPOZITI SA SiC MATRICOM

Česti su u industrijskoj primeni.

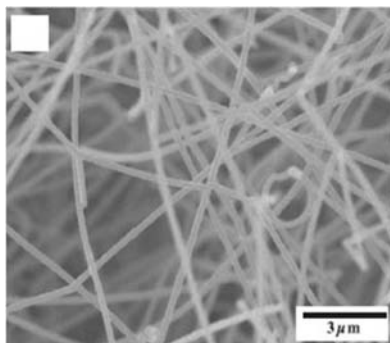
Koriste se kontinuirana SiC ili C-vlakna (novije) - problem prijanjanje matrice i vlakana.

Neka od svojstava su visoka toplotna provodljivost, mala plastičnost na visokim temperaturama, mala masa, vrlo dobra otpornost na koroziju i trošenje.

Otpornost na ekstremno visoke temperature ($1500\text{ }^\circ\text{C}$) - dolazi do stvaranja tankog sloja oksida na površini.

Novije rešenje je ojačanje sa **SiC nanocevičicama** (udeo oko 5 %) što dovodi do značajnog povećanja mehanickih svojstava.

Koriste se monokristalne b-SiC nanocevičice prečnika 30-100 nm pkoje se tretiraju CVI proizvodnim procesom (*Chemical Vapour Infiltration*—hemijska infiltracija u parnoj fazi). Posle toga, svaka nanocevičica je prevučena vrlo tankim ugljeničnim slojem debljine 5 nm.

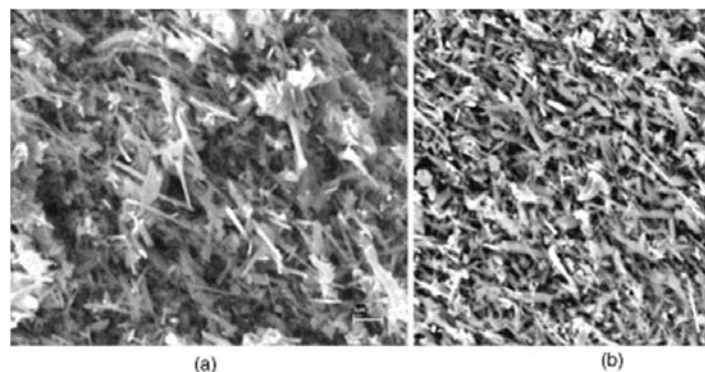


Slika 5. SiC nanocevičice pre infiltracije

KOMPOZITI SA Si_3N_4 MATRICOM

Svojstva su vrlo slična svojstvima SiC. Lošije osobine su to što su manje toplotno stabilne i imaju manju toplotnu provodljivost.

Ojačan sa SiC viskerima postiže vrlo visoku čvrstoću, visok modul elastičnosti, hemijsku inertnost pri visokim temperaturama uz dobru lomnu žilavost.



Slika 6. Mikrostrukture kompozita sa Si_3N_4 matricom i SiC viskerima različitih sastava

Ojačanje TiB_2 česticama dovodi do povišenja vrednosti tvrdoće, čvrstoće, otpornosti na trošenje i električne provodljivosti matrice.

Ojačanje W_2C nanočesticama doprinosi povećanju otpornosti na trošenje

KOMPOZITI S Al_2O_3 MATRICOM

Karakteristike ovog kompozita su visoka čvrstoća i tvrdoća, temperaturna stabilnost, otpornost na trošenje, otpornost na koroziju na povišenim temperaturama, povišena lomna žilavost itd.

Vrlo često se za ojačanje Al_2O_3 matrice koriste Al_2O_3 vlakna. Prevlake na vlaknima su vrlo važne jer se njima znatno smanjuje krtoš. Neke prevlake su ugljenične, BN, CeO_2 , ZrO_2 , itd.

UGLJENIČNA MATRICA

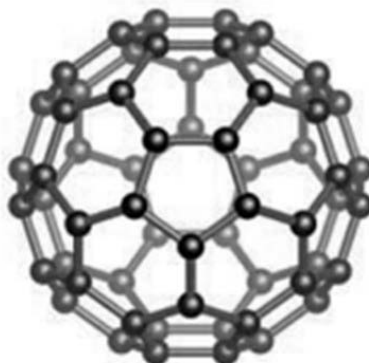
Ekstremni oblici struktura ugljenika su:

grafit - heksagonska dvodimenzionalna rešetka slabe veze između kliznih ravni i

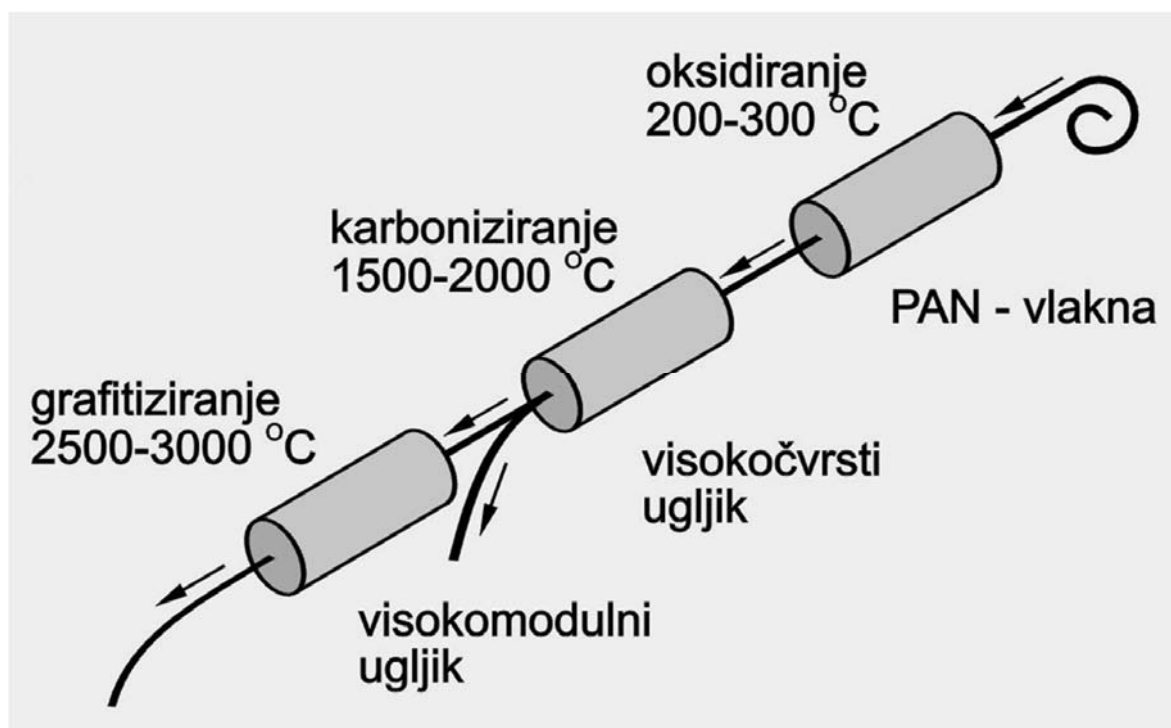
dijamant - jake veze (kovaletne) između atoma
U realnosti su prisutne sve moguće kombinacije između grafita i dijamanta - od kristalnih pa sve do amorfnih struktura

FULERENI I UGLJENIČNE NANOCEVČICE

Fuleren je alotropska modifikacija ugljenika, otkrivena 1985. godine, kada je pukom igrom slučaja laserski sintetizovan molekul C_{60} . Molekul C_{60} gradi kristalnu formu koja po svojoj simetričnosti spada u najviši rang uređenosti. Kao individualni molekul, C_{60} čvršći je od dijamanta, međutim, kada kristališe, kristalna rešetka mu je meka skoro kao kod grafita. Kako C_{60} ima osu petog reda, to su njegova struktura i energetska stanja određena osobinama zlatnog preseka. Iako vrlo stabilan, molekul C_{60} je neočekivano reaktivan, tako da je danas poznato više od 6500 potpuno novih jedinjenja na bazi ovog molekula. Molekul C_{60} ima neslućene mogućnosti primene koje se očekuju u narednim decenijama.



Slika 7. Rešetka fullerena



Slika 8. Proizvodnja ugljeničnih vlakana



SVOJSTVA C/C KOMPOZITA

Osnovna pozitivna svojstva kompozita sa ugljeničnom matricom su:

- Visok modul elastičnosti
- Visoka zatezna čvrstoća koja se ne menja ni pri $>2000\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- Otpornost na puzanje
- Relativno visoka lomna žilavost - širok raspon $20\text{-}100\text{ Nmm}^{3/2}$
- Mala plastičnost na povišenim temperaturama
- Velika toplotna provodljivost - $250\text{-}350\text{ W/mK}$ tako da je mala osetljivost prema toplotnom šoku

Nedostatak je : sklonost oksidaciji pri $> 450\text{ }^{\circ}\text{C}$, pa je zato nužna zaštita od oksidacije: modifikacija matrice dodavanjem različitih inhibitora oksidacije.

Inhibitori mogu biti B, Si, Zr i nanošenje keramičkih prevlaka a to su najčešće višeslojne prevlake karbida, nitrda i oksida Si, Zr, Ta, Al itd.

6.2 STRUKTURA KERAMIČKIH MATERIJALA

Kristalna struktura i dijagrami stanja keramičkih materijala su veoma kompleksni, zato što se keramički materijali sastoje od najmanje dva elementa i to različitih poluprečnika jona. Kao primeri mogu da se navedu strukture Al_2O_3 (2 elementa) i BTiO_3 (3 elementa). Kod Al_2O_3 rešetka je heksagonalna, pri čemu su joni O^{2-} na mestima koja odgovaraju HGP rešeci, a joni Al^{3+} u međuravnima. Kod BTiO_3 rešetka je kubna, pri čemu su joni Ba u čoškovima rešetke, joni O na mestima koja odgovaraju prostorno centriranoj kubnoj rešetci, a joni Ti na mestima koja odgovaraju površinski centriranoj kubnoj rešetci.

Materijal	Gustina gr/cm^3	Zatezna čvrstoća N/mm^2	Svojna čvrstoća N/mm^2	Pritisna čvrstoća N/mm^2	Modul elastičnosti GPa	Tvrdoća HK	Žilavost loma $\text{N/mm}^{3/2}$
Al_2O_3	3,98	207	552	2760	386	2000	170
SiC sinterovan	3,1	172	552	3864	414	2100	136
RBSN *	2,5	138	241	1035	207	2000	103
HPSN **	3,2	552	897	3450	310	-	165
Sialon	3,24	414	966	3450	310	-	309
ZrO_2 (PTZ)	5,8	448	690	1863	207	1100	351
ZrO_2 (TTZ)	5,8	345	793	1725	201	-	391
WC	10-15	-	1030	4500	200	2000	
TiC	5,5	-	1400	3100	310	1800	
BN	3,4	-	725	7000	850	4000	
Dijamant	3,5	-	1400	7000	830	8000	

* RBSN - Si_3N_4 dobijen hemijskom reakcijom

** HPSN - Si_3N_4 dobijen presovanjem na toplo

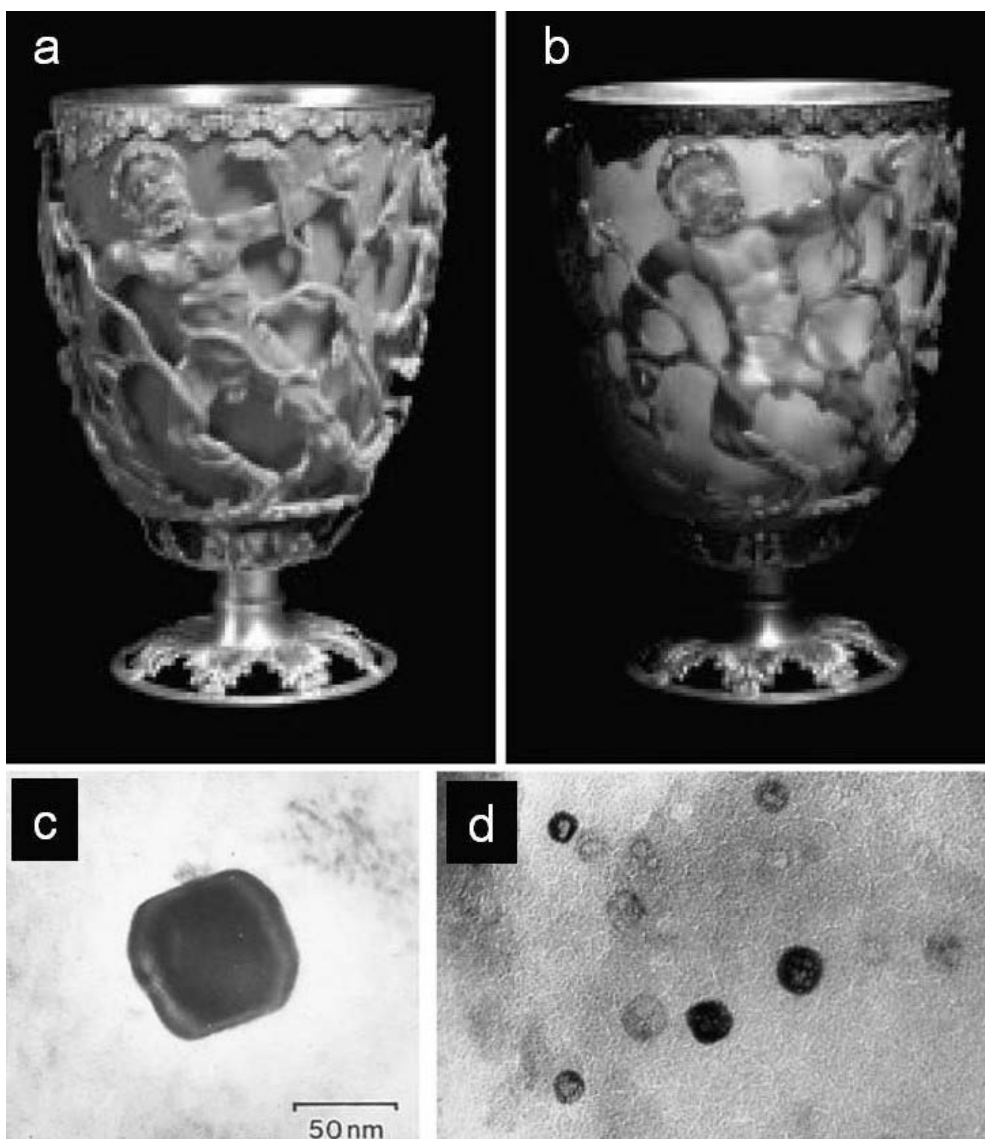
Tabela 3. Fizička i mehanička svojstva nekih keramičkih materijala

Keramički materijali imaju relativno malu gustinu od $3\text{-}5,8\text{ gr/cm}^3$. Ovako niske vrednosti gustine utiču na smanjenje mase delova, a manje su i inercijalne sile pokretnih delova.

Tačka topljenja je vrlo visoka od 1900°C (Si_3O_4) do 3120°C (WC), što omogućava visoke radne temperature delova izrađenih od keramičkih materijala. Većina keramičkih materijala ima nisku toplotnu provodljivost, tako da su oni dobri termički izolatori. Veliki koeficijent linearnog širenja i mala toplotna provodljivost mogu prouzrokovati termičke napone. Sklonost ka pojavi prslina se smanjuje sa

smanjenjem koeficijenta linearnog širenja i povećanjem toplotne provodljivosti. Osim toga relativni koeficijent linearnog širenja između keramičkih materijala i metala je veoma važan razlog za korišćenje keramičkih materijala za izradu komponenti toplotnih motora.

Još jedna karakteristika keramičkih materijala je *anizotropija termičkog širenja*, tj. različito termičko širenje u različitim pravcima (do 50%). Ovo je naročito izraženo kod oksidnih keramika. Ovako ponašanje može da uslovi termičke napone i pojavu prslina kod keramičkih komponenti.



Slika 9. Likurgov pehar napravljen u četvrtom veku nove ere u čast pobede Konstantina Velikog 324. godine. Danas se nalazi u Britanskom muzeju u Londonu. Različita boja reflektovane svetlosti – zelena (a) i transmitovane svetlosti – crvena (b), je svojstvo koje potiče od nanočestica legure AuAg koje su dispergovane homogeno u staklu (c). Pored nanočestica legure zlata i srebra nalaze se i nanočestice natrijum – hlorida (d)

7. SPAJANJE KERAMIČKIH I KOMPOZITNIH MATERIJALA

Keramika može da se spaja sa keramikom ili sa metalom difuzijom ili tvrdim lemljenjem. Ovo područje je u fazi razvoja, pa još ne postoje standardi čak ni za određivanje čvrstoće spoja, pa ni za ostale mehaničke osobine.

Osnovni problem u primeni tvrdog lemljenja na keramičke materijale je da se obezbedi dobro kvašenje, jer je keramika po prirodi stvari veoma stabilna struktura koja se teško kvasi tečnim metalima. Tipične vrednosti ugla kvašenja za Al_2O_3 i Si_3N_4 sa nekim uobičajenim lemovima su date u tab. 1, gde se vidi da je uslov za kvašenje (ugao manji od 90) zadovoljen samo kod nekih kombinacija, a da je uslov za dobro kvašenje (ugao manji od 45) zadovoljen samo u jednom slučaju.

Stoga je očigledno da treba preduzeti neke mere da bi se popravilo kvašenje keramike, kao što su npr. prevlačenje površina pre spajanja i legiranje lemovna materijama koje aktiviraju kvašenje.

Najčešće korišćen postupak lemljenja Al_2O_3 je Mo-Mn postupak ili sinterovanje metalnog praha, što je u suštini prevlačenje površine Al_2O_3 prahom koji se sastoji od oksida i metala (Mo-Mn), posle čega se primenjuje sinterovanje na visokim temperaturama (1500°C) u atmosferi vodonika. Na tako pripremljenu površinu se nanosi tanak sloj nikla (tj. boje na osnovi nikal oksida), koja značajno popravija kvašenje Mo-Mn prevlake lemovima kao što su BAg-8 (72Ag-28Cu), BAu-1 (64Cu-36Au) ili BAu-4 (82 Au-18 Ni).

Lemljenje kompozitnih materijala dato je na primeru tvrdog metala. Prilikom hlađenja lema na sobnu temperaturu, dolazi do stvaranja napona usled



skupljanja koji može izazvati stvaranje prslina u tvrdom metalu ili u prelaznoj zoni tvrdi metal/lem. Ovi naponi su direktno proporcionalni solidus temperaturi lema i veličini lemne površine. Radi postizanja kvalitetnih zalemljenih spojeva neophodni su sledeći uslovi:

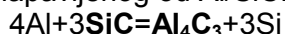
- povećana žilavost nosećeg metala,
- male lemne površine,
- veliki zazor u spoju,
- korišćenje niskotopivih i duktilnih lemova,
- lagano hlađenje na sobnu temperaturu nakon lemljenja.

Kod malih lemnih površina (<100 mm²) preporučuju se zazori između 0,1 i 0,2 mm. Ukoliko su zazori veći od 0,3 mm (popunjavanje zazora ne teče kapilarno, što ne garantuje homogenost spoja) i ukoliko su lemne površine veće, a sastav tvrdog metala uslovljava veće napone u spoju, treba učiniti sledeće:

- postaviti trake ili žice po celoj površini spoja od materijala čija je duktilnost veća od lema koji će se upotrebiti za spajanje (neka vrsta »armiranja« spoja),

-upotrebiti lem sastavljen od višeslojnih traka, gde su uključene i trake za »armiranje«, kao na primer lem u kombinaciji L-Ag49/Cu/L-Ag49

Kod većine postupaka zavarivanja topljenjem treba imati u vidu značajne promene u strukturi koje nastaju kao posledica topljenja i očvršćavanja dodatnog i osnovnog materijala. Ovo je posebno značajno za kompozite sa osnovom od Al legura 2xxx i 7xxx. U nekim slučajevima nivo primarnih legirajućih elemenata može da bude tako visok da izazove njihovu segregaciju po granicama zrna u fazi očvršćavanja. Osim toga, talozi u ZUT mogu da porastu (okrupnu) usled dejstva toplote u metalu šava. Tokom zavarivanja topljenjem kompozita sa matricom od legure koja ojačava termičkom obradom treba imati u vidu pojavu omekšavanja ZUT na isti način kao kod same legure (npr. durala). Drugi, često još bitniji problem, su hemijske reakcije između matrice i vlakna u metalnoj kupki koje mogu da budu nepovratne, kao npr. u slučaju MMC napavljenog od Al/SiC:



pri čemu su kao bold označene komponente u čvrstom stanju, dok je sam Al u tečnom stanju, a Si je rastvoren u tečnom Al. Ova nepovratna reakcija se odigrava na 730°C (ako je sadržaj Si manji od 7%!) ne samo da troši SiC vlakna, nego proizvodi acikularnu komponentu Al₄C₃. Stoga je zavarivanje topljenjem moguće jedino ako se temperatura metalne kupke održava ispod 730°C ili ako je sadržaj Si veći od 7%, što može da se postigne i dodatnim materijalom. Postoje i druge varijante da se ovaj problem reši koje koriste modifikovane

hemijske reakcije uslovljene prisustvom npr. Ti. Priprema žleba u slučaju MMC je znatno teža od pripreme žleba samog metala, jer je ojačanje po pravilu veoma tvrda keramika. Obično se koriste alati sa radnim delom od WC i brzinom rada manjom od 100 m/min, a u slučaju potrebe za bržim radom moraju da se koriste dijamatski alati. Čišćenje površina žleba je veoma bitno, posebno kod MMC na osnovi Al legura, a izvodi se hemijski ili mehanički.

Kontrola unosa toplote je od suštinske važnosti jer bitno utiče na strukturu zavarenog spoja MMC. Ukoliko ova kontrola nije dovoljno efikasna, umesto zavarivanja topljenjem može da se koristi lemljenje ili zavarivanje trenjem. Najčešće korišćeni postupci zavarivanja MMC topljenjem su elektrolučno (posebno TIG i MIG/MAG), lasersko, elektronskim snopom, i elektrotopno zavarivanje. Takođe se često koristi specijalna tehnika elektrolučnog zavarivanja, tzv. pražnjenje kondenzatora, tj. radnog komada koji treba da se zavari, a koji je prethodno "napunjen". Postupci sa velikom gustinom snage (laser, snop) su na prvi pogled veoma privlačni jer proizvode veoma male ZUT, ali se retko koriste jer su temperature u metalnoj kupki izuzetno visoke. Ipak u novije vreme su razvijeni postupci sa preciznom kontrolom unosa toplote koji mogu da prevaziđu ovaj problem. Kod konvencionalnih elektrolučnih postupaka zavarivanja (TIG, MIG/MAG) treba voditi računa o nepovoljnom dejstvu vlakana na luk, koji je često veoma nestabilan. Ovaj problem se rešava smanjenjem dužine luka, odnosno njegovog napona, a takođe i njegovim uronjavanjem u metalnu kupku.

LITERATURA:

1. *Marić, G., MATERIJALI II, predavanja Akademska godina 2012/13, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2013.*
2. <http://www.slideserve.com/kathie/repetitorij-4>
3. <http://www.worldcat.org/title/handbook-of-ceramic-composites/oclc/442596731>
4. Suchanek, W.; Yashima, M.; Kakihana, M.; Yoshimura, M. Hydroxyapatite/ Hydroxyapatite -Whisker Composites without Sintering Additives: Mechanical Properties and Microstructural Evolution. *J. Am. Ceram. Soc.* **1997**, *80*, 2805–2813.
5. Stojanović, Z. „Proučavanje procesa sinteze i svojstava višefaznih oksidnih prahova dobijenih hidrotermalnim procesiranjem“ – doktorska disertacija, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, 2011.



BAKAR I LEGURE BAKRA

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

NASTAVAK IZ PREDHODNOG BROJA

2. deo

ZAVARIVANJE BAKARNIH MATERIJALA

POSTUPCI ZAVARIVANJA

Gasno i ručno elektrolučno zavarivanje obloženom elektrodom (REL) su postupci koji se vrlo dugo uspešno primenjuju za zavarivanje Cu materijala: gasni postupak za tanke materijale i E postupak za

veće debljine i za navarivanje. Kod gasnog zavarivanja neophodan je strogo neutralno podešeni plamen. Topitelj se sastoji od jedinjenja bora sa dodatkom dobro oksidišućeg rastvora soli metala. Topitelj za lemljenje nije uvek pogodan i za zavarivanje.

Tabela 1.

Materijal		Postupak spajanja									
tip	Oznaka	Meko lemljenje	Tvrdo lemljenje	Gasno zavarivanje	Zavarivanje u zaštiti gasa	Ručno elektrolučno zavarivanje	Elektrotoponsko	Hladno zavarivanje pritiskom	Zavarivanje trenjem	Indukciono zavarivanje	Zavarivanje elektronskim snopom
BAKAR	Cu-ETP	1	2	x	3	x	x	2	3	3	3
	Cu-FRHC										
	Cu-FRTP										
	Cu-DHP	1	1	2	1	x	2	2	3	3	2
	Cu-OF	1	2	x	x	x	x	2	3	3	3
	Cu-OFE										
NISKOLEGIIRANI BAKAR	CuS	1	2	x	x	x	x	3	3	3	x
	CuTe										
	CuAg	1	2	3	2	x	3	2	3	3	2
	CuCd	1	2	x	x	x	3	2	3	3	x
	CuBe1-7CoNi	2	2	x	3	3	3	x	3	x	x
	CuCo2Be	2	2	x	3	3	3	x	3	x	x
	CuCr1	2	3	x	3	x	3	x	3	x	x
	CuCr1Zr										
	CuNi2Si	2	2	2	2	3	2	3	3	x	3
	CuNiP	2	2	2	2	x	2	3	3	x	x
	CuSi3Mn1	2	1	2	2	3	1	3	3	x	3
FOSFORNE BRONZE	CuSn2	1	1	3	2	3	2	3	2	2	3
	CuSn4										
	CuSn5										
	CuSn6	1	1	3	2	3	1	3	2	2	3
	CuSn8	1	2	x	3	3	1	3	2	3	3
	CuSn10										
ALUMINIJUMSKE BRONZE	CuAl5	2	3	x	2	2	2	x	3	x	3
	CuAl7										
	CuAl7Fe3Sn										
	CuAl7Si2										
	CuAl8										
	CuAl8Fe3										
	CuAl8Ni3Fe2										
	CuAl8Mn2										
	CuAl10Fe3										
	CuAl8Ni3Fe3										
	CuAl10Ni5Fe4										



Materijal		Postupak spajanja									
tip	Oznaka	Meko lemljenje	Tvrdo lemljenje	Gasno zavarivanje	Zavarivanje u zaštiti gasa	Ručno elektrodočno zavarivanje	Elektrodočno	Hladno zavarivanje pritiskom	Zavarivanje trenjem	Indukciono zavarivanje	Zavarivanje elektronskim snopom
BAKAR-NIKL	CuNi5Fe1Mn	1	2	2	2	2	2	3	2	2	2
	CuNi10Fe1Mn	1	2	x	1	2	2	3	2	2	2
	CuNi20	1	1	3	1	2	2	3	2	2	2
	CuNi20Mn1Fe										
	CuNi25	1	1	2	1	2	2	3	2	2	2
	CuNi30Mn1Fe										
CuNi44Mn1	1	1		1		2	3	2	2	2	
NIKLOVO SREBRO	CuNi12Zn24	1	1	2	3	x	2	3	3	3	x
	CuNi15Zn21										
	CuNi18Zn27	2	1	2	3	x	2	3	3	3	x
	CuNi18Zn20	1	1	2	3	x	2	3	3	3	x
	CuNi20Zn18	2	3	3	3	x	3	3	3	3	x
	CuNi25Zn18										
	CuNi10Zn42Pb2										
	CuNi14Zn44Pb2	2	2	3	3	x	3	3	3	3	x
	CuNi15Zn22Pb1										
CuNi18Zn19Pb1											
MESING	CuZn10	1	1	2	2	x	2	3	2	2	x
	CuZn15										
	CuZn20										
	CuZn28	1	1	2	3	x	2	3	2	2	x
	CuZn30										
	CuZn33										
	CuZn37										
	CuZn40	1	2	2	2	x	2	3	2	2	x
OLOVNI MESING	CuZn9Pb2	1	2	x	x	x	3	3	2	3	x
	CuZn20Pb										
	CuZn34Pb1										
	CuZn36Pb2										
	CuZn36Pb2										
	CuZn36Pb3										
	CuZn38Pb2										
	CuZn39Pb1										
	CuZn39Pb2										
	CuZn39Pb4	1	3	x	x	x	3	3	3	3	x
	CuZn40Pb	1	2	3	3	x	3	3	2	3	x
	CuZn40Pb3	1	2	x	x	x	3	3	2	3	x
	CuZn43Pb1	2	3	x	x	x	3	3	2	3	x
SPECIJALNI MESING	CuZn20Al2	2	2	3	3	x	2	x	2	x	x
	CuZn28Sn1	1	1	2	3	x	2	x	2	3	x
	CuZn30As	1	1	2	2	x	2	x	2	3	x
	CuZn36Pb2As	1	2	x	x	x	3	x	2	3	x
	CuZn38Sn1	1	2	2	3	x	2	x	2	3	x
	CuZn39AlFeMn	1	2	x	3	x	x	x	3	x	x
	CuZn17Al5FeMn	2	2	x	3	x	x	x	3	x	x
	CuZn14AlNiSi										

Objašnjenje: 1 - odlično; 2 - dobro; 3 - zadovoljavajuće; x - ne preporučuje se



Postupci zavarivanja u zaštiti gasa

Primenom postupaka u zaštiti gasa obezbeđuje se smanjenje oksidacije, te uglavnom nema potrebe za korišćenjem topitelja; obezbeđuju se čistiji uslovi zavarivanja kao i šav sa manje poroznosti i uključaka troske. Osim konvencionalnog TIG i MIG, u novije vreme primenjuju se tehnike:

- TIG sa pulsirajućom strujom;
- Plazma postupak;
- MIG postupak sa tankom žicom;
- MIG postupak sa pulsirajućom strujom.

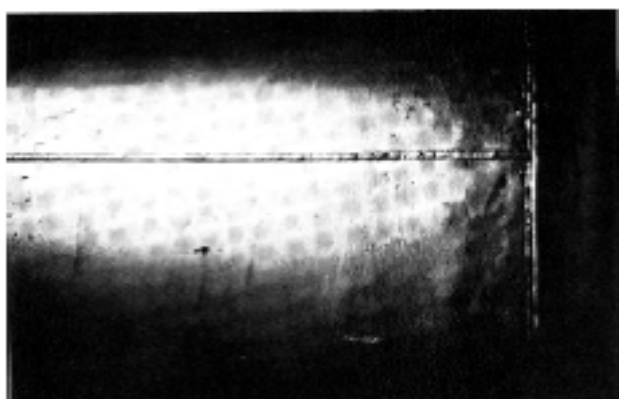
Zaštitni gasovi

Za zavarivanje bakarnih materijala u zaštiti gasa najčešće se koriste argon, helijum i azot. Zaštitni gasovi u klasama kvaliteta za zavarivanje su bez kiseonika i vlage. Korišćenje azota (sl.14, 15) odnosi se na bakar, prema kojem je gas u osnovi inertan. Azot je negoriv gas, bez boje i mirisa, a dobija se razlaganjem iz vazduha. Primena gasne mešavine je posebno u cilju smanjenja temperature predgrevanja, povećanja uvarivanja, brzine zavarivanja, itd. Mešani gas Ar + 15-20% N₂ kod

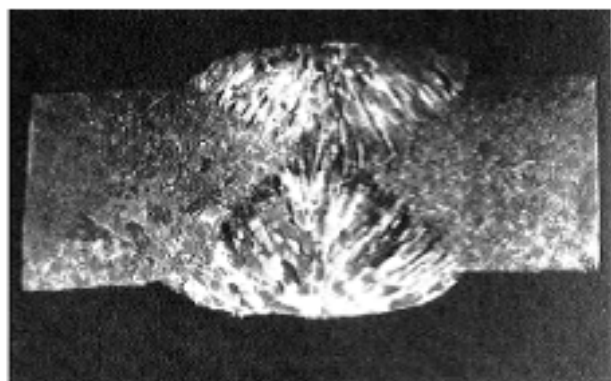
TIG i MIG deluje na snagu luka, a dejstvom luka na topljenje kod MIG zavarivanja utiče na izgled lica šava. Dodatak značajnih količina azota (više od 30%) u argon kod MIG zavarivanja razara uslove prenosa kapi u mlazu.

Zaštitni gasovi kod TIG zavarivanja

Argon je standardni zaštitni gas. On daje najniži napon i samim tim najmanju unetu toplotu za datu struju zavarivanja. Napon je nešto veći za helijum i time daje veću unetu toplotu nego argon. Argon može biti u potpunosti zamenjen, ili može biti korišćen u obliku mešavina sa helijumom radi povećanja unete toplote u cilju smanjenja temperature predgrevanja, posebno kod bakra, ili za povećanje uvarivanja ili brzine zavarivanja. Pri korišćenju helijuma film teško topivog oksida stvara manje problema, i iz tog razloga pri zavarivanju legura kod kojih se stvara teško topivi oksid, npr. aluminijumska bronza ili bakar-hrom, rad sa jednosmernom strujom i primena helijuma je pogodna alternativa radu sa naizmeničnom strujom sa primenom argona. Zbog velikog unosa toplote pri korišćenju helijuma, preporučuje se za zavarivanje bakra većih debljina.



Slika 14. Zavareni spoj na omotaču kalorifera izveden postupkom TIG u zaštiti azota



Slika 15. Obostrano zavareni spoj na bakru izveden postupkom MIG u zaštiti mešavine 70% Ar i 30% He

DODATNI MATERIJALI

Dodatni materijali za REL zavarivanje

Dodatni materijali za E zavarivanje Cu i Cu legura sadrže legirajuće elemente koji snižavaju tačku topljenja i time smanjuju zarobljavanje gasa u metalu šava. Koriste se tipovi legura: S-CuAg (Ag do 1%), S-CuSn, S-CuSn6, S-CuSn12, S-CuZn40Si, S-CuZn39Ag, S-CuZn39Sn, S-CuNi10Fe.

Dodatni materijali za gasno zavarivanje i zavarivanje u zaštiti gasa

Klase bakra i neke njegove legure visoke toplotne provodljivosti, kao na primer aluminijumske bronze, moguće je zavarivati bez dodatnog materijala, uz pažljivu primenu zaštitnog gasa od štetnog uticaja atmosfere na ukupnu zapreminu šava (zaštita i sa podkorene strane šava). Uopšte, generalno je poželjno koristiti dodatne materijale specijalno namenjene za zavarivanje u zaštiti gasa. Kada je moguće, dodatni materijal treba birati tako da bude što bliži po hemijskom sastavu i mehaničkim osobinama osnovnom materijalu. Dodatni materijali



su raspoloživi u obliku šipke za gasno i TIG zavarivanje, i žice za MIG zavarivanje, u standardizovanom opsegu prečnika. Dodatni materijali moraju biti čisti zbog sprečavanja

zaprljanosti, a kod MIG zavarivanja i da se obezbedi dobar električni kontakt sa kontaktorskom cevi pištolja za zavarivanje. Preporuke za izbor dodatnog materijala date su u tabeli 5.

Dodatni materijal	Osnovni materijal	Postupak zavarivanja			
		gasno	TIG	MIG	E
SG-CuAg EL-CuMn2	Čisti Cu Čisti Cu	2	2	1	x
SG-CuSn	Čisti Cu	1	2	2	-
SG-CuSi3	Čisti Cu, CuSi, CuZn Navarivanje na čelik	0	2	2	-
SG-CuSn	CuSn	1	2	2	x
EL-CuSn7	CuSn	1	2	2	x
SG-CuSn12 EL-CuSn13	CuZn	2	1	0	-
SG-Zn 40 Si	CuAl Navarivanje na čelik	0	2	2	-
SG-CuAl8 EL-CuAl9	CuAl Navarivanje na čelik	0	2	2	x
SG-CuAl10Fe	CuAlNi	0	2	2	-
SG-CuAl8Ni2 EL-CuAl9 Ni2Fe	CuAlNi	0	2	2	x
SG-CuAl8Ni5 EL-CuAl9 Ni5Fe	CuAlNi	0	2	2	x
SG-CuMn 13 Al 7 EL-CuMn14 Al	Otporno na slanu vodu CuAl	0	2	2	-
SG-CuNi 10 Fe EL-CuNi 10 Mn SG-CuNi 30 Fe EL-CuNi 30 Mn	CuNi	0	2	2	x
0-nepovoljan; 1-povoljan; 2-preporučuje se; x-primenjuje se bez bližeg specificiranja; -ne primenjuje se					

Tabela 5. Primeri za moguće postupke i povoljne dodatne materijale za različite Cu materijale.

OBLIKOVANJE SPOJA I PRIPREMA

Oblik žljeba se bira za svaki spoj ponaosob, zavisno od sledećih faktora:

- vrste legure;
- debljine osnovnog materijala, odnosno spoja;
- postupka zavarivanja;
- položaja zavarivanja i pristupačnosti spoju;
- tipa spoja, sučeoni ili ugaoni;

- kada se javlja krivljenje (distorzija) i kada se zahteva kontrola;
 - zahtevane kontrole profila uvarivanja zavara;
 - sa ekonomskog aspekta potrošnje dodatnog materijala i gubitka metala pri pripremi žljeba.
- Na slici 16. date su preporuke za uobičajene sučeone spojeve.



Debljina u mm	Priprema žljeba	Broj prolaza
-	bez priprema (1 žljeb)	-
- 1,5	sa povrnutim ivicama	- 1
-	bez priprema (1 žljeb)	-
- 3	- Zazor u korenu 0 - 1,5 mm	- 1
- 6	jednostrani V	- 1-2
-	- Zazor u korenu 0 - 1,5 mm	-
-	jednostrani U	-
-	- Zazor u korenu 0 - 1,5 mm	-
-	- Visina zazora 1,5 mm	-
- 12	jednostrani V	- 2-4
-	- Zazor u korenu 0 - 1,5 mm; Visina zazora 1,5 - 3 mm	-
-	jednostrani U	-
- 18	jednostrani V	- 4-8
-	- Zazor u korenu 0 - 1,5 mm; Visina zazora 1,5 - 3 mm	-
-	dvostrani U	-
- 24 i više	dvostrani V	- 10 ili više sa obe strane
-	- Zazor u korenu 0 - 1,5 mm; Visina zazora 1,5 - 3 mm	-

Slika 16. Primeri pripreme žljeba bakarnih materijala

Čišćenje pre zavarivanja i između slojeva

Čišćenjem pre zavarivanja moraju se ukloniti svi tragovi oksida, prljavštine i masnoće. Obično je dovoljno četkanje površine zavarivanja četkom od bronzane žice sve dok se ne pojavi čist metal. Uklanjanje masnoće je odmaščivanjem naftom ili alkoholom. Posle svakog prolaza neophodno je četkanje radi uklanjanja oksidnog filma nastalog tokom zavarivanja.

Tehnike pritezanja i podloške

Cilj ovih operacija je da se obezbedi sigurno pozicioniranje spajajućih delova, spreči preveliko krivljenje prilikom zavarivanja i da se obezbedi kontrolisano provarivanje korenog zvara. Za odgovarajuće pozicioniranje zazora u korenu žljeba, posebno kod dugačkih kružnih i podužnih šavova, koriste se pokretne stege, koje se mogu se pomerati duž spoja, kako napreduje zavarivanje. Oblik trna stezača zavisi od zahteva predgrevanja, debljine i tipa spoja. U slučaju kada je pristupačna korena strana spoja, kontrolisano provarivanje je primenom pogodno ožljebljenje podloške od bakra,

običnog (mekog) ili nerđajućeg čelika, čije stapanje se sprečava nanošenjem premaza od koloidnog grafita ili odgovarajućih jedinjenja. Za obezbednje ravnomernog provara zajedno sa metalnom koriste se i keramičke podloške za smanjenje brzine odvođenja toplote iz zone spoja. Kada je ograničena pristupačnost, mogu da se koriste integralne metalne podloške od materijala kompatibilnog sa spajajućim materijalom, tako da postaju integralni deo spoja. Korektna saosnost spoja i zazora u korenu obezbeđuje se pripojima koji treba da budu izvedeni na isti način kao i glavni šav, tj. sa korektnom ispunom, temperaturom predgrevanja itd. Pripoji moraju da budu očišćeni kako bi se omogućilo njihovo potpuno stapanje sa prvim zavarom glavnog šava.

Temperatura predgrevanja i međuslojna temperatura

Kada se bakar zavaruje u zaštiti argona, stvaranje i održavanje tečljive zavarivačke kupke bez predgrevanja je mnogo komplikovanije, posebno kod većih debljina materijala. Korišćenjem gasnih mešavina argon-helijum, argon-azot ili čisti helijum



ili azot umesto argona, značajno se može smanjiti temperatura predgrevanja. Kod većine bakarnih legura, čak i kod većih debljina nije neophodno predgrevanje, jer je toplotna provodljivost mnogo manja nego kod bakra. Ako je predgrevanje neophodno, temperature su reda veličine 150°C. Sa metalurškog gledišta, često je poželjno izbegavanje nepotrebnog zagrevanja. Međuslojne temperature moraju da budu ograničene, i ako je potrebno, posle svakog sloja treba omogućiti potrebno vreme da se zona zavarivanja ohladi, kako bi se sprečilo preterano zagrevanje.

Razlog kontrolisanja međuslojne temperature je što većina legura bakra gubi plastičnost u području 400°C do 700°C. Zato, gde god je to moguće, zagrevanje treba svesti na lokalizovanu zonu, i smanjiti držanje materijala u kritičnom temperaturnom opsegu.

Parametri zavarivanja

Podaci o radnim parametrima (tabele 6-13) služe samo kao smernice. Stvarni radni parametri zavarivanja moraju se odrediti eksperimentalno za svaki spoj.

Debljina (mm)	Predgrevanje (°C)*	Prečnik W elektrode (mm)	Prečnik žice (mm)	Prečnik mlaznice (mm)	Zaštitni gas					
					Argon		Azot		Helijum	
					Jačina struje (A)	Protok gasa (l/min)	Jačina struje (A)	Protok gasa (l/min)	Jačina struje (A)	Protok gasa (l/min)
1-5	bez	1,6-2,4	1,6	9,5	80-130	4-6	-	-	70-90	6-10
3	bez	2,4-3,2	1,6	9,5-12	120-240	4-6	-	-	180-220	6-10
6	Do 400	3,2-4,8	3,2	12-18	220-350	6-8	220-260	12-16	200-240	10-15
12	400-600	4,8	3,2-4,8	12-18	330-420	8-10	240-280	14-20	260-280	10-15
> 12	500-700	4,8	3,2-4,8	12-18	740	8-10	250-300	14-20	280-320	12-20

*Temperature mogu biti znatno manje u zaštiti azota ili helijuma

Tabela 6: Uobičajeni radni parametri za TIG zavarivanje sučeonih spojeva na bakru (Jednosmerna struja; elektroda na minus polu; zaštitni gasovi: argon; helijum i azot)

Debljina (mm)	Predgrevanje (°C)	Jačina struje (A)	Napon luka (V)	Brzina dotura žice (m/min)	Protok gasa (l/min)
6	bez	240-320	25-28	6,5-8,0	10-15
12	do 500	320-380	26-30	5,5-6,5	10-15
18	do 500	340-400	28-32	5,5-6,5	12-17
24	do 700	340-420	28-32	5,5-6,5	14-20
> 24	do 700	340-460	28-32	5,5-6,5	14-20

Tabela 7: Uobičajeni radni parametri za MIG zavarivanje sučeonih spojeva bakra (Prečnik dodatnog materijala 1,6 mm; zaštitni gas argon)

Debljina (mm)	Prečnik W elektrode (mm)	Prečnik žice (mm)	Prečnik mlaznice (mm)	Protok gasa (l/min)	Jačina struje (A)
1,5	3,2	1,6	9,5-12	5-8	100-130
3	3,2	2,4	9,5-12	5-8	120-160
6	3,2	3,2	12-18	8-10	200-300
9	3,2	3,2-4,8	12-18	8-10	250-300
12	3,2	3,2-4,8	12-18	8-10	270-330

Tabela 8: Uobičajeni radni parametri za TIG zavarivanje sučeonih spojeva silicijumske bronzne (Naizmenična struja; bez predgrevanja; zaštitni gas argon)

Debljina (mm)	Jačina struje (A)	Napon luka (V)	Brzina dotura žice (m/min)	Protok gasa (l/min)
6	250-320	22-26	6,0-8,5	9-14
9	300-330	22-26	6,0-8,5	9-14
12	300-330	24-28	6,0-8,5	14-20
>12	330-400	26-28	6,0-8,5	14-20

Tabela 9: Uobičajeni radni parametri za MIG zavarivanje sučeonih spojeva silicijumske bronzne (Prečnik dodatnog materijala 1,6 mm; bez predgrevanja; zaštitni gas argon)



Debljina (mm)	Prec.W elektrode (mm)	Precnik žice (mm)	Precnik mlaznice (mm)	Protok gasa (l/min)	Jacina struje (A)
1,5	3,2	1,6	9,5-12	5-8	100-130
3	3,2	3,2	9,5-12	5-8	180-220
6	3,2	3,2	12-18	8-10	280-320
9	3,2	3,2-4,8	12-18	8-10	320-400
12	3,2	3,2-4,8	12-18	8-10	360-420

Tabela 10: Uobicajeni radni parametri za TIG zavarivanje suceonih spojeva aluminijumske bronz (Naizmenična struja; predgrevanje maksimalno 150°C; zaštitni gas argon)

Debljina (mm)	Jacina struje (A)	Napon luka (V)	Brzina dotura žice (m/min)	Protok gasa (l/min)
6	280-320	26-28	4,5-5,5	9-12
9	300-330	26-28	5,5-6,0	9-12
12	320-350	26-28	5,8-6,2	12-17
18	320-350	26-28	5,8-6,2	12-17
24	340-400	26-28	5,8-6,2	12-17
> 24	360-420	26-28	6,0-6,5	12-17

Tabela 11: Uobicajeni radni parametri za MIG zavarivanje suceonih spojeva aluminijumske bronz (Precnik dodatnog materijala 1,6 mm; bez predgrevanja; zaštitni gas argon)

Debljina (mm)	Precnik W elektrode (mm)	Precnik žice (mm)	Precnik mlaznice (mm)	Protok gasa (l/min)	Jacina struje (A)
1,5	3,2	1,6	9,5-12	8-10	100-140
3	3,2	3,2	9,5-12	8-10	140-200
6	3,2	3,2-4,8	12-18	9-12	180-260
9	3,2	3,2-4,8	12-18	9-12	260-320
12	3,2	3,2-4,8	12-18	9-12	320-400

Tabela 12: Uobicajeni radni parametri za TIG zavarivanje suceonih spojeva bakar-nikl legura (Naizmenična struja; predgrevanje maksimalno 150°C; zaštitni gas argon)

Debljina (mm)	Jacina struje (A)	Napon luka (V)	Brzina dotura žice (m/min)	Protok gasa (l/min)
6	270-330	22-28	4,5-5,5	9-14
9	300-360	22-28	5,5-6,0	9-14
12	350-400	22-28	5,5-6,0	9-14
18	350-400	24-28	5,5-6,0	14-24
24	350-400	26-28	5,5-6,0	14-24
> 24	370-420	26-28	6,0-6,5	14-24

Tabela 13: Uobicajeni radni parametri za MIG zavarivanje suceonih spojeva bakar-nikl legura (Precnik dodatnog materijala 1,6 mm; predgrevanje maksimalno 150°C; zaštitni gas argon)

Opšta pravila pri zavarivanju topljenjem bakarnih materijala

- Skladištenje i rad sa Cu materijalima odvojiti od drugih metala zbog rizika od korozije.
- Koristiti odvojene alate za Cu i čelik.
- Površine žljeba i bliska okolina (oko 50mm sa obe strane šava) moraju biti čiste i suve zbog rizika od pora u metalu šava.
- Zbog velikih gubitaka toplote mora se primeniti bilo predgrevanje, bilo zavarivanje većim jačinama struje ili istovremeno oboje.
- Zbog velikih termičkih dilatacija postoji rizik od krivljenja, zbog toga je potrebna posebna priprema spoja i određeni redosled zavarivanja.
- Kod TIG zavarivanja, u cilju uklanjanja oksida i njihovog ponovnog nastajanja, treba koristiti i topitelje.
- Tokom zagrevanja Cu materijala stvara se značajno obojenje. Česti su i prelazi čvrsto/tečno. Zato je teško ostvariti zavarivačku kupku, odnosno postići zahtevani oblik šava.



ZAVARIVANJE ODLIVAKA OD BAKARNIH LEGURA

Zavarivanje se uglavnom izvodi iz sledećih razloga:

- ispravljanja grešaka livenja i mašinske obrade;
- reparature delova oštećenih tokom eksploatacije;
- spajanja livenih prirubnica, ogrankaka, cevnih nastavaka i sl.;
- izrade kompleksnijih komponenata od jednostavnijih livenih komada ili kombinacijom valjanih i livenih komponenti.

Stalni zahtev za komponentama opreme koje rade u kritičnim uslovima, uz variranje veličine i kompleksnosti oblika, i koje moraju da ispune zahteve kontrole (radiografsko kontrolisanje), može da bude razlog da se kod odlivaka zahteva zavarivanje.

Izbor postupka i tehnike zavarivanja

Zbog uvek prisutnog rizika od uključaka troske i topitelja pri ručnom elektrolučnom, odnosno gasnom zavarivanju, sem za reparature malog obima preporučuju se postupci u zaštiti gasa. Posebna primena TIG ili MIG postupka u svim varijantama zavisi od pristupačnosti spoja i drugih faktora, kao i kod valjanih proizvoda.

Oblikovanje žljeba i priprema za zavarivanje

Osnovni princip uspešnog zavarivanja odlivaka je da se utvrdi njegova homogenost. Gasna poroznost ili usahline odlivka mogu veoma značajno da utiču na kvalitet zavarenog spoja. Zato je dobra priprema kojom se uklanjaju sve metalurške greške livenja od najvećeg značaja. Za praćenje pripremnih radova potrebno je korišćenje neke od tehnika ispitivanja bez razaranja. Obično se koristi ispitivanje penetrirajućim tečnostima. Za oblikovanje žljeba koristi se obrada brušenjem i glodanjem.

U slučaju reparaturnog zavarivanja površina sa greškama se uklanja sve do zdravog metala, a tako stvoreni žleb se mora popuniti zavarivanjem, što u slučaju većih dimenzija podrazumeva rizik od preterane količine unete toplote i krivljenja i nepoželjnih metalurških efekata. Konačni oblik žljeba ili uklonjenog defektnog materijala treba da je takav da omogući pristup elektrodi u koren žljeba, jer je potpuno uvarivanje korena najbitnije za zadovoljavajuće rezultate reparature. Pre početka zavarivanja moraju se ukloniti svi tragovi opiljaka, prljavštine, masti i penetrata.

Predgrevanje i međuslojna temperatura

U cilju sprečavanja krivljenja i vrućih prslina glavni zahtev je održavanje unete toplote na minimumu, ali uz ostvarivanje zadovoljavajućeg stapanja. U odlivcima su češća ukrućenja i neravnomernija struktura u odnosu na valjane proizvode, tako da su pri zavarivanju podložniji termičkim naponima. Za sve legure predgrevanje se mora držati na minimumu, i idealno je da ne pređe temperaturu 150-200°C. U mnogo slučajeva, predgrevanje je potrebno samo radi sušenja, odnosno uklanjanja vlage. Iz sličnih razloga međuslojna temperatura mora se održavati na što nižem nivou, i u jednom prolazu ne sme se deponovati velika količina metala šava.

Izbor dodatnog materijala

Pri izboru dodatnog materijala mora se voditi računa o sledećem:

- Dodatni materijal mora da ima potpuno odgovarajuću korozionu otpornost kao i odlivak ukoliko je namenjen za rad u korozionim uslovima. Ako je potrebno da se koristi manje legiran dodatni materijal, on treba da je katoda u odnosu na osnovni metal, kako bi se na dodirnim površinama spoja sprečila glavanska korozija.
- Metal šava dodatnog materijala treba da ima odgovarajuće mehaničke osobine u odnosu na osobine odlivka.
- Dodatni materijal treba da sadrži dezoksidante kako bi obezbedio dezoksidaciju metala šava.
- Boja dodatnog materijala u odnosu na boju osnovnog može da bude važan zahtev.

LEMLJENJE BAKARNIH MATERIJALA

LEMLJENJE BAKRA

Bakar je veoma korišćen konstrukcijski materijal u konstrukcijskim rešenjima spajanja delova lemljenjem. Kod visokih zahteva osobina spoja koristi se dezoksidisan bakar u nekoliko vrsta kvaliteta.

Meko lemljenje bakra

Najčešće se primenjuje u elektronskoj industriji za lemljenje provodnika i štampanih kola, kao i u proizvodnji raznih elemenata u elektronici. Pre lemljenja potrebno je izvršiti mehaničko, hemijsko ili elektrohemijsko čišćenje površine. Na dobru lemljivost, odnosno kvašenje površine lemom, može se računati samo na sveže pripremljenim



površinama lemljenja. Zato proizvođači konstrukcionih delova za elektroniku zaštićuju površinu delova prevlakom Sn ili Sn-Pb (L-SnPb60) debljine 4-8 μm (tab. 14), nanesenom galvanskim ili

toplim postupkom. Ovako zaštićeni delovi imaju dobru lemljivost do 18 meseci, pri skladištenju na temperaturama od 10 do 25 °C, i bez posebne PVC ambalaže.

Podloga	Vrsta međusloja (ako postoji)	Minimalna debljina (μm)	
		međusloj	spoljni sloj
Cu	bez	-	5
Cu-Sn(kalajna bronza)	bez	-	5
Cu-Zn (mesing) ili	Cu ili	2	5
Cu-Ni-Zn	Ni	1	3
Cu-Ni (monel)	bez	-	4

Tabela 14: Vrste i debljine elektrolitičkih prevlaka od Sn ili legure Sn-Pb, na podlozi različitih materijala

Za meko lemljenje bakarnih delova najbolji su lemovi na bazi kalaja, sa sadržajem od 50 do 63% Sn, ali se upotrebljavaju i lemovi sa nižim sadržajem Sn, i sa drugim legirajućim elementima u kojima je mala rastvorljivost bakra, kao L-PbCd17,5 i L-PbSn12SbBi5. Za mehanizovano lemljenje potapanjem, lemovi L-Sn63Pb i L-Sn60Pb zadovoljavaju najviše zahteve dobre lemljivosti, kratko vreme i nisku temperaturu lemljenja, uz primenu topitelja tipa F-SW 31 do F-SW 34 (DIN 8511, deo 2). Za lemljenje delova na tanke bakarne prevlake, kao što su štampane ploče, uspešno se koristi lem L-Sn60PbCu. U elektronskoj industriji, pored pomenutih višenamenskih lemova, upotrebljavaju se i meki lemovi sa izrazito niskim električnim otporom: S-Sn60Pb36Ag4 i S-Sn50Pb32Cd18 (oznake prema ISO 9453).

Izbor topitelja

Izbor vrste topitelja zavisi od prethodne pripreme površina za lemljenje i mogućnosti naknadnog čišćenja ostataka topitelja nakon lemljenja. Kada je moguće jednostavno pranje delova nakon lemljenja, upotrebljavaju se agresivniji topitelji tipa F-SW11 do F-SW13, odnosno F-SW21 do F-SW28. U tom slučaju zahtevi za prethodnom dobrom pripremom nisu visoki. Na mestima gde čišćenje ostataka topitelja nije izvodljivo, a ostaci topitelja koroziono utiču na osnovni materijal, upotrebljavaju se topitelji tipa F-SW31 i F-SW32, na bazi kalofonijuma rastvorenog u alkoholima, ketonima i etrima. Topitelj se nanosi na mesto spoja direktno na površinu lemljenja, pre i za vreme lemljenja ili zajedno sa lemom, kada je lem u obliku punjene žice ili u obliku paste, praktično pomešan sa topiteljem.

Tvrdo lemljenje bakra

Bakar se veoma uspešno tvrdo lemi. Problemi mogu da nastanu u slučajevima kada se spajaju delovi velikih gabarita i velike mase, i kad se spaja sa delovima od materijala znatno lošije toplotne

provodljivosti i malog toplotnog izduženja. U oba slučaja preporučuje se lemljenje u pećima sa zaštitnim gasom ili u vakuumu. Na ovaj način se obezbeđuje konstantna temperatura duž celog izduženje materijala, kao i kontrolisano hlađenje nakon lemljenja. Za spajanje delova velike mase i gabarita, ako na raspolaganju nema odgovarajuća veličina peći, upotrebljava se postupak lemljenja gasnim plamenom sa više gorionika koji ravnomerno zagrevaju ceo spoj. U slučaju spajanja sa materijalom lošije toplotne provodljivosti primenjuje se postupak lemljenja u bloku, između bakarnih zagrevanih ploča. Time se eliminiše pregrevanje delova od materijala lošije toplotne provodljivosti i omogućava ravnomerno razlivanje lema po površinama lemljenja elemenata spoja. Pri izboru postupka treba uzeti u obzir kvalitet bakra, kao osnovnog materijala, u odnosu na sadržaj kiseonika. Pri sadržaju kiseonika $>0,02\%$ i zagrevanju u atmosferi bogatoj vodonikom (plamen ili redukujući zaštitni gas), može doći do pojave *vodonične bolesti* i nastanak oštećenja tipa prslina, poroznosti ili interkristalne korozije. Veličine oštećenja zavise od temperature i vremena lemljenja. Zato se kod lemljenja bakra i nekih legura bakra sa negarantovano niskim sadržajem kiseonika primenjuje indukcioni postupak (kratko vreme lemljenja) ili lemljenje u vakuum pećima. Nedeoksidsisan bakar ipak može da se lemi i plamenom, ali lem mora da ima nisku temperaturu topljenja, kao na primer L-Ag40Cd, a gorionik mora da bude dovoljno velik, da se što brže dostigne temperatura topljenja lema. Kod delova velike mase preporučuje se zagrevanje acetilensko-kiseoničkim plamenom. Upotrebom dezoksidsisanog bakra (SE-Cu, SW-Cu, SF-Cu) *vodonična bolest* ne nastaje, bez obzira na primenjen postupak lemljenja.



Izbor lema

Za lemljenje bakra upotrebljavaju se lemovi sa tačkom topljenja ispod 950°C. Zbog visoke toplotne provodljivosti i sklonosti bakra ka porastu zrna na visokim temperaturama, preporučuju se lemovi sa tačkama topljenja između 610 i 750°C. I pored ovog ograničenja, paleta raspoloživih leмова za spajanje bakra je velika. Posebno su značajni lemovi na bazi bakra i fosfora (L-CuP6 do L-CuP8, L-Ag2P do L-Ag15P). Upotrebljavaju se za lemljenje bez zaštitne atmosfere i bez upotrebe topitelja. Pri lemljenju se dodatni materijal ne sme direktno izlagati plamenu, da ne nastane prebrzo sagorevanje fosfora, te da rastop ne ostane bez zaštite. Ovi lemovi se najčešće koriste u slučajevima kada je isključena upotreba topitelja, zbog nemogućnosti uklanjanja ostatka nakon lemljenja, a prvenstveno, zbog niske cene i jednostavnosti u rukovanju. Nedostatak im je što su spojevi manje ili više krti. Ne upotrebljavaju se za spojeve koji mogu da dođu u dodir sa sumporom, koji hemijski reaguje sa fosforom i razara spoj. Primenom fosfornih leмова sa dodatkom srebra dobijaju se manje krti spojevi, odnosno spojevi boljih mehaničkih osobina. Lemovi na bazi Cu-Ag-P (DIN 8513, deo 2) se koriste za spojeve delova izloženih većim opterećenjima ili termičkim naprezanjima usled temperaturnih promena. Uz upotrebu topitelja bakar se uspešno lemi sa lemovima na bazi srebra sa sadržajem cinka, kadmijuma, kalaja ili nikla (DIN 8513, deo 3). Odgovorni delovi od bakra, delovi sa bakarnim prevlakama, kao i kombinacije bakar-čelik, leme se u zaštitnoj atmosferi ili u vakuumu sa lemom L-Ag72, ili lemovima koji sadrže druge plemenite metale, ali ne i cink, odnosno kadmijum. U vakuumu tanki oksidni slojevi na bakarnim delovima sublimiraju i ostavljaju čist osnovni materijal, pri čemu srednja temperatura isparavanja bakaroksida zavisi od veličine vakuuma. Lemljeni spojevi, u odnosu na osnovni materijal, imaju manju korozionu otpornost prema raznim hemijskim sredstvima. Mikrostruktura spoja je krupnija i dendritske građe, pa time i nepovoljnija u odnosu na strukturu osnovnog materijala.

LEMLJENJE LEGURA BAKRA

Lemljivost bakarnih legura pri istim uslovima je lošija od lemljivosti čistog bakra i pogoršava se sa povećanjem sadržaja legirajućih elemenata. Ukoliko sadržaj legirajućih elemenata nije veći od 5%, a u legiranju ne učestvuju Si, Al, Mn, Cr i Be, lemljivost je neznatno lošija.

Ograničenja u izboru leмова su naročito uočljiva kod mekog lemljenja, pri zahtevanim nižim temperaturama, kraćem vremenu lemljenja i sa topiteljima tipa F-SW31 do F-SW34. Da bi se poboljšala lemljivost uz primenu standardnih leмова, (primer u elektronici za primenu CuSn6, CuZn30 ili CuZn37) na površine se prethodno nanosi sloj lema L-Sn60Pb, postupkom karatkotrajnog uranjanja u rastop (uz topitelje F-SW31 do F-SW34 trajanje postupka je oko 3 s) ili se nanosi galvanska prevlaka.

Legure Cu-Zn

Kod lemljenja legura Cu-Zn (mesinzi), cink iz osnovnog materijala difunduje ka zagrejanoj površini i smanjuje lemljivost. Za poboljšanje lemljivosti na površine lemljenja se nanosi galvanska prevlaka bakra, nikla ili nikl-kalaja, čija je uloga da spreči difuziju cinka u lem. Mesinzi sa dodatkom aluminijuma (CuZn37Al1; CuZn40Al1; CuZn40Al2), u međusobnom spoju ili u spoju sa drugim neželjeznim materijalima, uspešno se leme lemovima na bazi srebra sa nižom tačkom topljenja, pri čemu se dobijaju kvalitetni spojevi otporni na udarna opterećenja. Spajanjem ove vrste mesinga sa čelikom nastaju krta jedinjenja aluminijuma i železa (železoaluminidi), pa je spoj osetljiv na udare. U tom slučaju preporučuje se pre lemljenja nanošenje na čelične elemente prevlake od nikla, pri čemu nikl predstavlja difuzionu branu. Za specijalne mesinge sa sadržajem aluminijuma (uslovi korišćenja za morsku vodu) koriste se Ag lemovi sa sadržajem nikla (L-Ag50CdNi; L-Ag49; L-Ag56InNi). Cu-Zn legure sa sadržajem cinka >37%, kao i fosfor i silicijum bronz, pri lemljenju su sklone toplim prslinama.

Legure Cu-Sn

Za legure Cu-Sn (bronz), za dobru lemljivost kod mekog lemljenja uranjanjem preporučuje se prethodno kalaisanje. Aluminijumske bronz, i pored primene specijalnih topitelja imaju loše kvašenje. Za meko lemljenje preporučuju se lemovi L-SnA.



Šušta Ljubomir¹, Šteković Željko²

PRIMENA KERAMIČKIH PODLOŠKI ZA JEDNOSTRANO ZAVARIVANJE SUČEONIH „V“ SPOJEVA

APPLICATION OF CERAMIC BACKING FOR SINGLESIDE WELDING OF „V“ WELDED JOINTS

Stručni rad / Professional paper

UDK / UDC: 621.791.052.4

Rad primljen / Paper received:

Januar 2016.

Adresa autora / Author's address:

¹ Šušta Ljubomir *dip. ing spec. za zavarivanje, prethodno zaposlen u brodogradilištu Beograd.*

² Šteković Željko *dip. ing, EWE, prethodno zaposlen u brodogradilištu Beograd.*

Ključne reči: zavarivanje, keramička podloška, brodograđevinski čelik, sučeoni žljeb

Key words: welding, ceramic backing, shipbuilding steels, butt groove

Uvod

Brodogradilište Beograd je 2000 god. započelo izradu serije od 8 komada lučkih remorkera za zapadno - evropsko tržište kompaniju Damen – Holandija.

Od tada se u brodogradilištu velika pažnja posvećuje poboljšanju tehnologije zavarivanja kao jednoj od najbitnijih aktivnosti u izradi brodskih elemenata, površinskih i zapreminskih sekcija, kao i finalnoj montaži.

U brodskom trupu (spoljna oplata, opločenje dvodna, glavna paluba, uzdužni i poprečni montažni spojevi) čest problem predstavlja KORENI ZAVAR.

Koreni zavar u sučeonom spoju se mora izdubiti i zatim ponovo zavarivati. Žljebljenje korenog zavara kod „V“ spoja u zatvorenom prostoru obavlja se gasnim postupkom. Žljebljenje korenog zavara kod V spoja na otvorenom prostoru obavlja se Arcair postupkom (ugljena elektroda), a zatim mehanički, brušenjem stranica žljeba. To je kao i zavarivanje mukotrpan posao.

Da bi se izbeglo žljebljenje korenog zavara iz sučeonog spoja, pri zavarivanju se primenjuje KERAMIČKA PODLOŠKA.

Kako bi se efikasno primenila keramička podloška pri zavarivanju u brodskom trupu i čeličnoj

konstrukciji, potrebno je upoznati specifičnosti i mogućnosti njene primene, kao i tehniku zavarivanja, što je i svrha ovog rada.

U nastavku će se razmatrati efikasnost primene keramičkih podloški pri zavarivanju jednostranih sučeonih V spojeva.

VRSTE KERAMIČKIH PODLOŠKI I NJIHOVE PRIMENE;

Dogovorom između, tehnologa zavarivanja Brodogradilišta Beograd i tehnologa ELKA D.D Elektrokeramika–Arandelovac, pristupilo se izradi keramičkih podloški odgovarajućeg tipa. U brodogradilištu Beograd obavila se obuka zavarivača na podloškama ELKE kao i kvalifikacija tehnologije zavarivanja kod broskog registra.

Za potrebe brodogradilišta, po uzorcima koji su bili na raspolaganju, proizvođač keramičkih podloški je izradio podloške za sledeće zazole odnosno rastojanja: Crtež br. 001, za zazole (4 – 6) mm; Crtež br. 002, za zazole (7 – 12) mm.

Podloške su izrađene u dužinama od 150 mm tako da su s donje strane imaju utore (zareze) po kojima se mogu prelomiti da bi se dobile dužine od po (20, 50) mm za upotrebu pri zavarivanju na zakrivljenim površinama, kao npr. spoljne oplata broda.

PRIPREMA ZA ZAVARIVANJE;

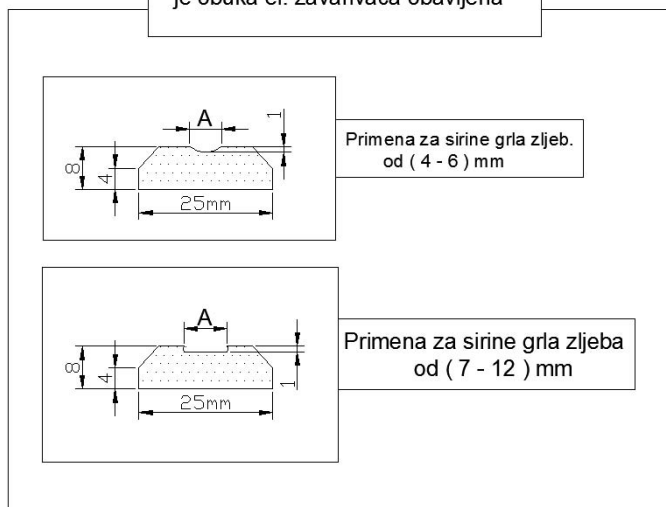
Osnovni materijal na kojem su se obavljala zavarivanja, je materijal brodograđevinskog kvaliteta A i B kategorije, debljina od S (7 – 15) mm, dužina (300, 500, 1000) mm Priprema stranica žljeba na pločama za zavarivanje obavljala se gasnim postupkom, uz dopunsko mehaničko brušenje stranica žljeba. Kao dodatni materijal za zavarivanje, korišćena je obložena elektroda,

komercijalne oznake EVB-50 proizvođača Železare Jesenice prečnika $d=(3,25 - 4)$ mm. Položaji zavarivanja ploča pri obuci zavarivača bili su: PA-horizontalni, PF-vertikalni, i PC – horizontalno-vertikalni.

Rastojanje (zazor) između ploča na kojim se obavljala obuka zavarivača bili su: (4, 6, 9, i 12) mm. crtež br.003.



Modeli keramičkih podloški na kojim je obuka el. zavarivaca obavljena



Primena za sirine grla zljeb. od (4 - 6) mm

Primena za sirine grla zljeba od (7 - 12) mm

Crtež br. 001 i Crtež br. 002

BRODOGRADILISTE „ Beograd ” praktična obuka obavljena u školskoj radionici						
TEHNIKA RADA PRI ZAVARIVANJU PLOČA NA KERAMIČKIM PODLOSKAMA						
BROJ ZLJEBA	Praktični primeri koji su korisni pri obuci el. zavarivaca	Dim. elektrode \varnothing	Poloz. ploče	Param. zavariv.		Napomena
				Napon V	Struja A	
1		3,25	PA	18-20	115-130	Pri popuni zljeba, elektrodi treba njihtati napred nazad
2		3,25	PA	20-22	125-140	Pri popuni zljeba, elektrodi treba njihtati tako da elektr. luk prolazeci s jedne stranece na drugu
3		4	PA	22-24	135-150	Popuna zljeba se izvodi tako da se elektroni luk održava na prednjem delu rastopine, elektrodom njihtamo po rastopini od jedne na druge stranice zljeba.
4		4	PA	22-24	140-160	Ukoliko je grlo zljeba veće od 9 mm, zavari se izvode u slojevima (gusenica) koje polazemo jedan do drugog uzduž zljeba.

Crtež br.003



TEHNIKA RADA PRI ZAVARIVANJU PLOČA NA KERAMIČKIM PODLOŠKAMA

Obuka zavarivača izvodila se u školskoj radionici brodogradilišta.

Pri obuci el. zavarivača uočeni su bitni momenti za kvalitetno izveden koreni zavar u ploči i to;

- Uvežbanost zavarivača
- Zazor kod žljeba u pločama
- Pomaci u ravnosti između limova (ploča) ~ 1mm.
- Odgovarajući dodatni materijal

Zavarivač treba da bude tako uvežban da u toku zavarivanja zna da odredi odgovarajuće parametre i vremenske intervale kod zadržavanja na krajevima i zadržavanja na nastavcima.

Pri zavarivanju ploča korišćena je istosmerna struja zavarivanja preko ispravljača kod kojih je moguće podešavanje struje u toku rada preko daljinskog regulatora, tako da nije bio potreban uređaj za topli start.

Zavarivači koji su obučavani na zavarivanju korenog zavara prethodno je trebalo da zavare približno 10 m zavara kao vežbu na više probnih ploča. Tek nakon toga bili su spremni da izvrše zavarivanje uz zadovoljavajući kvalitet bez primedbe.

Posebnu pažnju pri zavarivanju korena u V spoja treba obratiti pri izvođenju nastavaka. Poželjno je odmah nakon prekida zavarivanje nastaviti što pre,

dok je mesto nastavka još zagrejano. Na taj način izbegava se opasnost nastojanja kratera u nastavku zavara.

Ukoliko se mesto nastavka u korenu zavara ohladilo, zavarivanje treba započeti tako da ga električnim lukom zagrejemo i rastopimo.

To se postizalo tako što se električni luk uspostavi na korenom zavaru, s kojeg se odstrani šljaka približno (20 – 25) mm od mesta nastavka.

Zatim se elektrodom niže od stranice do stranice žljeba tako da se zagreje i rastopi mesto nastavka kako bi se dobio zavareni spoj bez kratera u korenom zavaru.

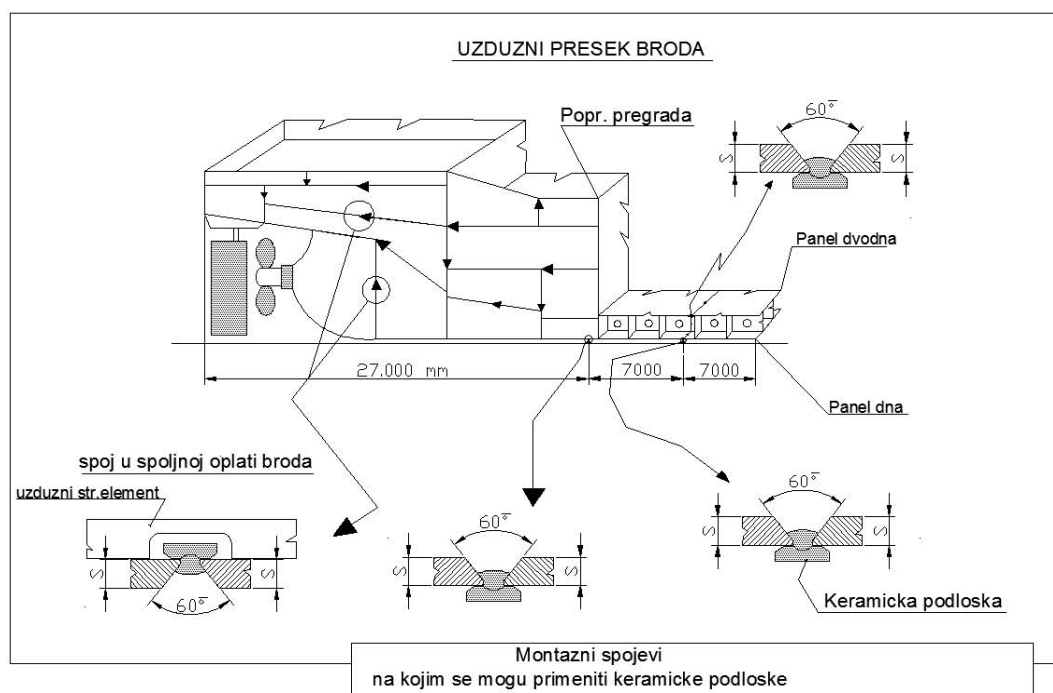
Kontrola kvaliteta izvedenog korenog zavara u ploči, osim vizuelne kontrole, redovno se proveravala i radiografskim ispitivanjem.

Na osnovu vizuelne i radiografske kontrole korenog zavara, kod zavarenih ploča, može se zaključiti da su koreni zavari u sučeonom V spoju kod kojih je koren izveden keramičkom podloškom zadovoljio zahteve.

Potrebno je još jednom pomenuti neophodnost kvalifikacija postupaka zavarivanja kod brodskih registara. Uz ovakvu kvalifikaciju verovatno bi primena ovog postupka u našoj brodogradnji bila masovnija.

Moguća primena keramičkih podloški na spojevima kod trupa broda:

- Oplate broda – krma, tovarni prostor i pramac.
- Poprečnom preseku broda (montažni spojevi – stikovi).





Zaključak

Zavarivanje jednostrano na sučeonom V spoju uz pomoć keramike na brodskoj konstrukciji je moguće. Ovim postupkom dobija se na efikasnosti, kao i humanizaciji rada zavarivača u zatvorenom prostoru. Kao efikasna, ova tehnika zavarivanja može se vrlo široko primenjivati u našoj zavarivačkoj praksi.

Keramičke podloške su posebno podesne za zavarivanje u otežanim uslovima rada. Stoga je potrebno upoznati specifičnosti njihove primene radi povećanja ekonomičnosti zavarivanja.

Koreni zavar postavljen je u jednostranom V spoju, koji se zavaruje na keramičkoj podloški, te je na taj način eliminisano žljebljenje i ponovo zavarivanje u nepovoljnim uslovima.

Kvalitet zavarenih spojeva u kombinaciji u potpunosti zadovoljava traženi kvalitet zavarenih spojeva u brodskoj konstrukciji.

LITERATURA :

1. Beara. Lj.: Efikasnost primjene keramičkih podloga pri zavarivanju, Fakultet strojarstva i brodogradnje – Zagreb.
2. Praktično iskustvo instruktora praktične obuke u holandskim brodogradilištima
3. Katalog fabrike elektroda, Elga AB Boh 277, SE – 433 25 Partille, Sweden

Program : Međunarodno takmičenje zavarivača „Arc Cup“, Peking, jun 2016

2016 (4th) Beijing "Arc Cup" International Welding Competition Invitation

2016 (第四届) 北京“嘉克杯”国际焊接技能大赛 邀请函

Hosted by: State-owned Assets Supervision and Administration Commission of the State Council of P.R. of China (SASAC)
Organized by: Organizing Committee of "Arc Cup" International Welding Competition
International Welding & Surfacing Association
International Additive Manufacturing & Remanufacturing Alliance
Beijing ARC Xinxing Science & Technology Co., Ltd.

Date : 18th June – 23rd June, 2016
Location : Beijing, China

主办单位: 中国国务院国有资产监督管理委员会
承办单位: 国际焊接技能大赛组委会 (Arc Cup)
国际焊接及表面工程协会
国际增材制造及再制造协会
北京嘉克新兴科技有限公司

时间: 2016年6月18日 - 23日
地点: 中国·北京

Organizing Committee of "Arc Cup" International Welding Competition

Founded by: American Welding Society (AWS)
Belorussian Welding Society (BWS)
Bulgarian Welding Society (BWS)
Germany GSI SLV
International Welding & Surfacing Association (IWSA)
Korea Welding Industry Cooperative (KWIC)
Mongolian Material Science & Welding Society (MMSWS)
Shipbuilding Institute of Polytechnic Surabaya - Indonesia (SHIPS)
Singapore Welding Society (SWS)
Ukrainian Welding Society (UWS)
Asian Welding Federation (AWF, supporter)
International Institute of Welding (IIW)

2016 (4th) Beijing "Arc Cup" International Welding Competition Schedule

I. Date and location
Beijing, China June 18th to June 23rd, 2016

II. Welding processes
1. Common processes
1) Robot Welding
2) Shielded Metal Arc Welding (111/SMAW)
3) Gas Metal Arc Welding (135/GMAW)
4) Gas Tungsten Arc Welding (141/GTAW)
5) Oxygen Fuel Gas Welding (311/OFW)
6) Finished-product Welding (111SMAW/135GMAW/141GTAW/136FCAW)

2. Welding performance:
1) Advanced welding equipment/welding robot performance
2) Advanced welding skill performance (advanced welding techniques, welding methods, welding materials, welding design and welding structure etc.)
3) Special welding skill performance (including ultrathin test piece welding, high-precision welding, fast welding, pressurized welding, underwater welding, special material welding etc.)

III. Qualifications of Competitors
1. Common processes
1) Age: 18 years old-35 years old
2) With high welding skills
2. Welding performance
1) With special welding skills
2) No limit on performance processes and number of competitors
3) Self-provided welding equipment, working suit, model, test pieces and welding materials for the performance.

IV. Priorities for foreign competitors
1. The First Place winner of the national-wide competition will be given reimbursement for their round trip flight tickets and be provided with accommodation for free during the competition.
2. The Second Place winner and the Third Place winner of the national-wide competition will be given reimbursement for their single trip flight ticket and be provided with accommodation for free during the competition.
3. Accommodation will be provided for free to all overseas competitors, one team leader and one jury during the competition.

V. Sponsorship
Support and sponsorship from welding equipment and materials manufacturers are welcome.
To encourage sponsorship for the foreign teams, advertising and propaganda services for free will be provided by the Organizing Committee to the sponsors.

VI. Rewards
1. Team prizes: Gold, silver and bronze team prizes will be set, and trophy and certificate will be issued.
2. Individual prizes: individual Gold, silver and bronze prizes will be set, and bonus (or award) and certificate will be issued.
3. Young Welder Prizes: individual Gold, silver and bronze prizes for single process will be set, and medal, award and certificate will be issued.
4. Student Prizes: individual Gold, silver and bronze prizes for single process will be set, and medal, award and certificate will be issued.
5. Individuals with excellent achievements for single process from central enterprises will be entitled "China's Central Enterprises Technical Expert" and "China's Central Enterprises Young Technical Expert" by SASAC of the State Council.
6. Special Prizes
Special prizes including "The Best Performance", "The Best Works" will be set, and medal and certificate will be issued.
7. Performance Prizes
Performance Prizes will be set accordingly, and certificates will be issued.
8. Excellent Welder Prizes
Several "Excellent Welder Prizes" will be set and all competitors have the equal chance to win the prize.
9. The total value of awards will be up to 200,000 RMB.
Address: The Fundamental Industrial Training Center of Tsinghua University, Haidian District, Beijing, China



MINIMALNI ZAHTEVI ZA OBRAZOVANJE, OBUKU, POLAGANJE ISPITA I SERTIFIKACIJU EVROPSKOG ZAVARIVAČA ZA ALUMINOTERMIJSKO ZAVARIVANJE (EAW)

Program obuke

EAW kurs sastoji se od teorijskog dela i praktične obuke, kao što je prikazano u Tabeli 1. Oba modula

su podeljena u podmodule gde je za svaki dat preporučeni broj časova nastave.

Modul	Podmodul	Preporučeni broj časova
1. Teorijsko obrazovanje	1. Zdravlje, bezbednost i okruženje	7
	2. Izrada koloseka	1
	3. Materijali i njihovo ponašanje pri zavarivanju	8
	4. Primena aluminotermijskog zavarivanja na šinama	1
	Teorijski ispit	1
	Ukupno modul 1	40
2. Praktična obuka	1. Aktivnosti pre zavarivanja	77
	2. Aluminotermijsko zavarivanje	
	3. Aktivnosti posle zavarivanja	
	4. Varijante zavarenih spojeva	
	Praktični test	3
	Ukupno modul 2	80
Ukupno kurs		120

Tabela 1. Delovi koji čine kurs uključujući i polaganje ispita

1.1. Zdravlje, bezbednost i okruženje

Cilj: Interpretirati opasnosti po zdravlje i bezbednost vezane za zavarivanje i postupke izrade. Odgovornost zavarivača u odnosu na zdravlje i bezbednost okom zavarivanja spojeva na šinama koloseka

Obim:

- Uvod u zahteve bezbednosti i zdravlja
- Rizici od električne opreme
- Sredstva za ličnu zaštitu
- Rizici od gasova, dimova i para pri korišćenju gasnog i mehaničkog rezanja
- Sprečavanje požara i kontrola/ izlaznih agenasa
- Prva pomoć
- Rukovanje i transport boca u zoni koloseka
- Mere pri gasnom rezanju u zoni rizika od požara i eksplozije u blizini koloseka
- Mere pri gasnom rezanju na mostovima sa otvorenim vagonima i u tunelima
- Rizik usled aluminotermijske opreme i operacija (vlažan kalup za livenje, vlažna porcija za zavarivanje, rukovanje sa delovima šljake, zavarivanje na mestima gde postoji rizik od požara i eksplozije)
- Rizik povezan sa pomoćnim operacijama (mehaničko rezanje, brušenje itd.)

- Nivo buke i zaštita uha
- Standardi i regulativa
- Zaštita radnog mesta u odnosu na kretanje vozova
- Ručno rukovanje teškom zavarivačkom i pomoćnom opremom
- Razmatranje delovanja zavarivačkog otpada na životnu sredinu

Očekivani rezultati:

1. Opisati rizike vezane za postupke zavarivanja i opremu, uključujući transport gasova i drugih potrošnih materijala u saglasnosti sa regulativom i objavljenim uputnim dokumentima
2. Interpretirati regulativu vezanu za zdravlje i bezbednost u odnosu na pomenute rizike
3. Razumevati rizike i ocenu rizika vezane za operaciju zavarivanja
4. Opisati procedure za bezbedan rad u cilju ispunjenja zahteva
5. Korektno korišćenje zaštitnih uređaja
6. Prepoznavanje i razumevanje relevantne dokumentacije o bezbednosti
7. Razumevanje mera za sprečavanje požara, zagađenja okoline



1.2 Izrada koloseka

Cilj: Opisati efekte i ograničenja kada se zavaruje železnička infrastruktura

Obim:

- Metode izgradnje, održavanja i reparature železničkih koloseka zavarivanjem
- Osnovno znanje o projektu zavarivanja koloseka
- Različiti tipovi konstrukcija železničkih koloseka (na pr. pragovi, suišan teret, trupci itd.)
- Uzroci i efekti termičkog širenja i skupljanja
- Ograničenja lokacija zavarenih spojeva

Očekivani rezultati:

1. Opisati faze konstrukcije železničkog koloseka, uključujući zatezanje šina
2. Znati i interpretirati relevantne standarde za izradu, specifikacije i dokumenta
3. Korektno opisivanje mera kontrole kretanja toplote pri zavarivanju

1.3 Materijali i njihovo ponašanje pri zavarivanju

1.3.1. Osnove metalurgije

Cilj: Razumevanje osnova metalurgije čelika, pojava vezanih za zagrevanje i hlađenje i mehaničkih osobina u odnosu na čelik za šine

Obim:

- Legirajući elementi (uticaj ugljenika i mangana na čelik za šine)
- Sastav čelika za šine
- Cilj i događanja pri termičkoj obradi šina
- Fenomen kaljenja i relevantni faktori
- Ispitivanje sa razaranjem (ispitivanje zatezanjem, ispitivanje tvrdoće)
- Koncepti krtoćeg i duktilnog ponašanja

Očekivani rezultati:

1. Opisati osobine čelika
2. Razumeti efekte termičke obrade i brzine hlađenja

1.3.2 Metalurgija zavarivanja i struktura zavarenih spojeva

Cilj: Razumeti nastajanje različitih metalurških struktura unutar aluminotermiski zavarenog spoja i uključene uticajne faktore vezane za čelik za šine

Obim:

- Termički ciklus
- Predgrevanje
- Brzina hlađenja
- Struktura zavarenog spoja
- Metal šava
- Očvršćavanje metala šava
- Mešanje
- Zona uticaja toplote (ZUT)

Očekivani rezultati:

1. Razumevanje efekta predreivanja zavarenih spojeva na šinama
2. Naziv i glavni delovi zavarenog spoja
3. Identifikacija efekata parametara zavarivanja na termički ciklus i rezultujuće termičke napone

1.3.3. Šine

Cilj: Opisati probleme pri zavarivanju uz fundamentalne aspekte čelika korišćenih za šine

Obim:

- Tip profila šina i klase čelika (EN 13674)
- Čelici za šine, klasifikacija, označavanje, mere trošenja (habanja) šina i ograničenja
- Označavanje minimalne zatezne čvrstoće i /ili tvrdoće preko oznaka na valjanim šinama
- Rezanje šina i priprema spoja
- Gasno rezanje na CWR (kontinualno zavarenim šinama)
- Proizvodnja i stvaranje ravne linije i S i C (manevrisanje i ukrštanje)
- Postupci zavarivanja šina
- Zavarljivost čelika za šine zavisno od defekata šina (na pr. proizvodnja i saobraćaj)

Očekivani rezultati:

1. Identifikovanje različitih tipova šina i klase čelika i profila korišćenjem valjaoničkih oznaka i mere trošenja (trenja)
2. Procena osetljivosti na nastajanje prslina prema referenci hemijskog sastava čelika
3. Identifikacija postupaka zavarivanja zavisno od različitih faktora koji loše utiču na zavarljivost
4. Opisati korektnu proceduru za gasno rezanje CWR
5. Identifikacija osobina čelika za šine
6. Razumevanje potrebe za termičkom obradom šina pre gasnog rezanja
7. Imati osnovno znanje o proizvodnji ravne linije i S i C.
8. Imati osnovno znanje o lomovima usled proizvodnje i saobraćaja



1.4. Primena aluminotermijskog zavarivanja na šinama

1.4.1. Principi aluminotermijskog zavarivanja

Cilj: Razumeti principe aluminotermijskog zavarivanja

Obim:

- Principi aluminotermijskog zavarivanja
- Hemijska reakcija pri aluminotermijskom zavarivanju
- Primena aluminotermijskog postupka u zavarivanju šina
- Isporučioc postupka aktivni u Evropi i principi svake varijante postupka

Očekivani rezultati:

1. Razumevanje principa aluminotermijske hemijske reakcije
2. Razumevanje principa aluminotermijskog zavarivanja šina
3. Razumevanje varijanti glavnih isporučioaca postupka

1.4.2. Postupci rezanja šina

Cilj: Primena postupaka rezanja za pripremu zazoraz šava (gasno i mehaničko rezanje) i pripadajuća oprema, rimene, procedure i uobičajeni problemi

Obim:

- Mehaničko i gasno rezanje:
 - Principi i ograničenja
 - Oprema (uključujući gasove koji se korister za gasno rezanje)
 - Parametri i tehnika
 - Rezanje šina
 - Sprečavanje nesrećnih slučajeva i oštećenja
 - Dužnosti i kompetenosti operatera za rezanje

Očekivani rezultati:

1. Prepoznavanje gasne opreme i objašnjenje principa gasnog rezanja
2. Znati kako koristiti (uključujući komplet, ispitivanje, podizanje i spuštanje), i staranje o opremi i pomoćnim uređajima
3. Objasniti ograničenja gasnog rezanja, na pr. potreba za predgrevanjem
4. Uporediti mehaničko i gasno rezanje
5. Identifikovati glavne aktivnostikoje se sprovode tokom rezanja šina (mehaničko i gasno)

1.4.3. Primena aluminotermijskog zavarivanja prema postupku isporučioaca (treba ponoviti za svakog dodatnog isporučioaca, ako se zahteva)

Cilj: Primeniti principe aluminotermijskog postupka zavarivanja i pripadajuće opreme, primene i procedure, naglašavanje glavnih faza i operacija

Sadržaj:

- Oprema za postupak aluminotermijskog zavarivanja (predgrevanje i metalna roba)
- Potrošni materijali za zavarivanje, priprema zazoraz za zavarivanje, tolerancije i priprema
- Horizontalno, vertikalno i bočno podešavanje
- Postavljanje i kitovanje (lepljenje) kalupa
- Montirati metalne delove za zavarivanje (uključujući i klinove od šljake)
- Predgrevanje zavarenog spoja (gorionik za predgrevanje, podešavanje gorionika, pritisak gasa, podešavanje plamena, vreme predgrevanja, posmatranje predgrevanja)
- Priprema i punjenje lonca
- Paljenje zavarivačke porcije
- Praćenje aluminotermijske reakcije (vreme gorenja porcije, vreme ulivanja, vreme čekanja)
- Uklanjanje metalnih delova i praćenje vremena čekanja
- Odsecanje
 - Različite tehnike:
 - Korišćenje, rukovanje i skladištenje kalupa i zaptivnog materijala za zavarivanje
 - Korišćenje, rukovanje i skladištenje zavarivačkih porcija i šipki za paljenje
 - Lonci za višekratnu upotrebu
 - Sistemi lonaca za jednokratnu upotrebu
 - Tipični defekti, nastanak i faktori

Očekivani rezultati:

1. Identifikovati korektnu opremu, potrošne materijale, parametre i procedure za izvođenje normalnih spojeva i spojeva sa širokim zazorom
2. Razumevanje detaljnih koraka za stvaranje aluminotermijski zavarenih spojeva korišćenjem specifičnih procesa
3. Znanje o sprečavanju defekata korektnom kontrolom procesa
4. Znanje o korišćenju i brizi o opremi (predgrevanje i metalni delovi) i potrošnim materijalima
5. Identifikovati dobru i lošu praksu u zavarivanju i skladištenju i transportu opreme za zavarivanje i ostale opreme



1.4.4 Brušenje završenih zavarenih spojeva

Cilj: Objasniti postupak brušenja šina, opremu i procedure i probleme vezano za to.

Obim:

- Principi brušenja šina
- Oprema i pomoćni uređaji (alat za brušenje) za brušenje šina
- Uticaj temperature šina na operaciju brušenja
- Procedure za brušenje šina (grubo brušenje, fino brušenje)
- Provera visine i položaja strane

Očekivani rezultati:

1. Izabrati korektnu opremu i materijal za brušenje
2. Razumevanje radnih temperatura
3. Identifikacija korektnih tolerancija koje treba postići

1.4.5. Odstupanja i greške pri zavarivanju

Cilj: Objasniti greške koje se najčešće javljaju pri izvođenju zavarivanja šina

Obim:

- Metalurške greške
- Odstupnja procesa
- Nedovoljno predgrevanje
- Greške tokom rada (pre, tokom, i posle zavarivanja)
- Geometrijski nedostaci
- Kriterijum prihvatljivosti
- Kontrola i ispitivanje zavarenih spojeva
- Označavanje zavarenih spojeva
- Tipični dokumenti, procedure i specifikacije u upotrebi

Očekivani rezultati:

1. Razumeti uobičajene tipove odstupanja i grešaka pri zavarivanju, na pr. prsline, poroznost, kalup van centra, naponi u koloseku, neodgovarajuće predgrevanje, uključci peska, vlaga
2. Razumeti i primeniti kriterijum prihvatljivosti defekta
3. Identifikovati aktivnosti koje se preduzimaju posle odbacivanja zavarenih spojeva
4. Razumevanje dokumentacije koju kompletira zavarivač

1.4.6. Primena elektrolučnog zavarivanja za reparaturu i gradnju šina

Ovo nije deo koji se uči ali mora biti uključen u priručni materijal

Obim:

- Oprema i pomoćni uređaji za elektrolučno zavarivanje pri reparaturi i gradnji šina (generatori za zavarivanje, obložene elektrode itd)
- Procedure za reparaturu i gradnju

1.4.7. Ostali postupci spajanja

- Ovo nije deo koji se uči ali mora biti uključen u priručni materijal

Obim:

- Zatvoreno elektrolučno zavarivanje šina (princip, parametri, polje primene i ispitivanje)
- Sučeono varničanjem zavarivanje šina (princip, parametri, polje primene i ispitivanje)
- Adheziono spajanje šina (princip, parametri, polje primene i ispitivanje)

2 Praktična obuka

2.1. Aktivnosti pre zavarivanja

Cilj: Priprema radnog mesta, pravljenje zazora i podešavanje krajeva šina u saglasnosti sa uputstvom isporučioaca i pravilima nacionalne železnice

Obim:

- Provera i korišćenje ličnih zaštitnih sredstava
- Raspoloživost relevantnom dokumentacijom
 - Uputstvo o procesu
 - Specifikacija praktičnog testa
 - Kriterijum prihvatljivosti zavarenog spoja
- Vezano za šine koje se zavaruju
 - Identifikovati klasu i profil
 - Merenje istrošeni glave šine
 - Provera prisustva defekata
- Izbor, postavljanje i provera pogodnosti:
 - Merne opreme
 - Opreme za gasno rezanje/predgrevanje
 - Defekata na opremi za mehaničko rezanje
- Pravljenje zazora za zavarivanje (žleb)
 - Mehaničkim rezanjem
 - Gasnim rezanjem
 - Čišćenje krajeva šina
- Podešavanje spoja šina
 - Gubljenje fiksiranosti šina
 - Podešavanje visine i strane krajeva šina

**Očekivani rezultati:**

1. Korektna priprema mesta za zavarivanje
2. Bezbedno i korektno korišćenje opreme za mehaničko rezanje (uključujući izbor, inspekciju i montažu abrazivnih diskova)
3. Bezbedno i korektno korišćenje opreme za gasno rezanje
4. Korektno podešavanje krajeva šina

2.2. Aluminotermijsko zavarivanje

Cilj: Izvođenje aluminotermijski zavarenih spojeva u saglasnosti sa uputstvom isporučioaca i sa pravilima nacionalnog železničkog autoriteta

Obim:

- Priprema za zavarivanje
 - Predgrevanje lonca (samo ako je za višekratnu namenu)
 - Izbor kalupa
 - Podešavanje držača kalupa
 - Podešavanje, obezbeđivanje i zaptivanje (kitovanje) kalupa
 - Postavljanje klinova šljake i obloge za zaštitu od prskanja
- Priprema lonca za zavarivanje (samo za jednokratnu upotrebu)
 - Postavljanje i podešavanje lonca
- Izvođenje zavarivanja
 - Predgrevanje krajeva šine
 - Ubacivanje peščanog jezgra
 - Podešavanje lonca i paljenje zavarivačke porcije
 - Praćenje aluminotermijske reakcije i procesa livenja
 - Uklanjanje lonca, klinova šljake i zaštitnika od prskanja

Očekivani rezultati:

1. Kompetentno i potpuno sprovođenje aluminotermijskog zavarivanja šine, korišćenjem standardnih kalupa i stepenskih kalupa
2. Primeniti dobru praksu u sprovođenju zavarenih spojeva
3. Korektno sprovođenje uputstva isporučioaca

2.3 Aktivnosti posle zavarivanja

Cilj: Uklanjanje viška materijala, brušenje, inspekcija i označavanje u saglasnosti sa uputstvom isporučioaca i nacionalnim železničkim autoritetom

Obim:

- Uklanjanje viška materijala i brušenje
 - Razdvajanje kalupa i uklanjanje viška (gudve) na glavi
 - Sečenje viška materijalasa glave šine
 - Grubo brušenje (ako je primenljivo)
 - Kontrola glave i gaznih ivica
 - Uklanjanje gudvica
 - Fino brušenje, čišćenje zavarenog sloja
- Inspekcija i označavanje
 - Saosnost koloska i geometrija šava
- Defekti pri zavarivanju
 - Vizuelna kontrola šava
 - Označavanje šava

Očekivani rezultati:

1. Sprovesti sve provere pre početka na mašini za brušenje šina i razumeti korektno korišćenje
2. Brusiti šine do zahtevanog standarda
3. Verifikovati saosnost i geometriju koloseka posle zavarivanja i brušenja
4. Vizuelno kontrolisati zavareni spoj i odlučiti o primenljivosti za rad, pre napuštanja radnog mesta
5. Označiti zavareni spoj i završiti svu potrebnu dokumentaciju pre napuštanja radnog mesta

2.4 Varijante zavarenog spoja

Cilj: Rad sa različitim tipovima spojeva (ako je prihvatljivo od strane železničkog autoriteta)

Obim:

- Prelazni spojevi (različiti profili šina)
- Široki zazori
- Trodelni kalupi
- Alternativne metode predgrevanja

Očekivani rezultati:

1. Kompetentno i potpuno izvođenje zavarenih spojeva šina po pomenutim varijantama

Praktični ispit (za jednu varijantu procesa i jednog isporučioaca)

ČASOPIS ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE

Cenovnik oglasnog prostora u četiri uzastopna broja 2016

	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), 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 2016

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

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

INDEKS OGLAŠIVAČA

ADVERTISERS INDEX

REFIT INŽENJERING

YASKAWA SLOVENIJA

HONEX

ELIMP

ZAVOD ZA ZAVARIVANJE

MESSER

KEMPER GmbH

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

WELD-ING

TERMOPROCES

- | | |
|---|---------------|
| 1. ČLANARINA DUZS za 2016. godinu | 3.500 dinara |
| Članovima DUZS GRATIS godišnje izdanje časopisa "ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE" | |
| 2. ČASOPIS "ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE" - 2016. godina u slobodnoj prodaji (u cene je uračunat PDV 10%): | |
| ▪ cena pojedinačnog broja..... | 825 dinara |
| ▪ godišnja pretplata za 1 komplet brojeva godišnjeg izdanja..... | 2.500 dinara |
| 3. ČASOPIS - stari brojevi (u cene je uračunat PDV 10%) | |
| a) u slobodnoj prodaji: | |
| ▪ cena pojedinačnog broja za 2014. godinu | 500 dinara |
| ▪ cena pojedinačnog broja za prethodne godine..... | 250 dinara |
| b) beneficirane cene za članove DUZS: | |
| ▪ cena pojedinačnog broja za 2015. 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 |