



ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE

WELDING & WELDED STRUCTURES

| | | | | | |
|--------------------|----------------|----------------|---------------------|------------------|----------------|
| God. 68 Vol. 68 | Br. 2 No. 2 | 49-96 49-96 | Beograd Belgrade | Srbija Serbia | 2023. 2023. |
|--------------------|----------------|----------------|---------------------|------------------|----------------|

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

Dr Zoran Odanović, dipl.ing.

duzs011@gmail.com, odanovic@ptt.rs

Tehnički urednik / Technical Editor

Branislav Lukić, dipl.ing

Redakcijski odbor / Editorial Board

Dr Nenad Radović, dipl.ing.

Dr Radomir Jovičić, dipl.ing.

Dr Srđan Bulatović, dipl.ing.

Miloš Pavlović, dipl.ing.

REDAKCIJA I MARKETING / EDITORIAL OFFICE AND MARKETING



Vesna Jović
Grčića Milenka 67, I sprat
11000 Beograd



Tel / Fax + 381 (11) 2420-652
(10-16h)



Duzs011@gmail.com.rs
www.duzs.org.rs

UREĐIVAČKI ODBOR / PUBLISHING COUNCIL

Dr Vencislav Grabulov, dipl.ing, (predsednik)

Prof.dr Vukić Lazić, dipl.ing.

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

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

Prof. dr Dragoslav Dobraš, dipl.ing. (BiH, Republika Srpska)

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

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

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

Dr Horia Dascau, dipl.ing. (Rumunija)

CIP - 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 Zoran Odanović. – Vol. 41, no. 1
(1996)- . - Beograd : DUZS - Društvo za unapređivanje
zavarivanja u Srbiji, 1996-. (Beograd : VIS studio).-29 cm

Tromesečno. Je nastavak: Zavarivač = 0513-8523
ISSN 0354-7965 = Zavarivanje i zavarene konstrukcije
COBISS.SR-ID 105396743

CENE I NARUDŽBINA ZA 2023.

Cena pojedinačnog broja 825,00 dinara

Godišnja pretplata 2500,00 dinara

Tekući račun: 325-9500600002588-46

PRICE AND ORDER

Annual subscription: EUR 100

Account No. RS35325960160000041546

OTPVRS22 (VOJVOĐANSKA BANKA AD)

IBAN RS35325960160000041546

ŠTAMPA / PRINTED

“VIS STUDIO” d.o.o.

Bulevar Arsenija Čamojevića 123, Beograd

Tiraž: 400 kom.

SADRŽAJ

CONTENTS



NAUKA • ISTRAŽIVANJE • RAZVOJ

SCIENCE • RESEARCH • DEVELOPMENT

51

TERMIČKA BARIJERA U ZAVARENIM SPOJEVIMA
UGLJENIČNIH ČELIKATHERMAL BARRIER IN WELDED JOINTS OF
CARBON STEELS*Oleksandr M. Savitskyi, Mychailo M. Savitskyi, Darko Bajić, a, V.N. Vashchenko*

NAUKA • ISTRAŽIVANJE • RAZVOJ

SCIENCE • RESEARCH • DEVELOPMENT

61

OCJENA SKLONOSTI KA KRTOM LOMU
ZAVARENOG SPOJAASSESSMENT OF THE PRONE TO BRITTLE
FRACTURE OF A WELDED JOINT*Mersida Manjgo, Meri Burzić, Mirza Manjgo, Tomaž Vuherer*

PRAKSA

PRACTICE

71

SANACIJA RADNOG KOLA CENTRIFUGALNE
PUMPE OD CIRKONIJUMAREPAIR OF CENTRIFUGAL PUMP WORKING
WHEEL MADE OF ZIRCONIUM*Mića Đorđević, Dragan Đorđević, Vladimir Đorđević*

PRAKSA

PRACTICE

86

KARAKTERISTIKE MIG ZAVARIVAČKOG
LEMLJENJA

CHARACTERISTICS OF MIG BRAZE WELDING

Zoran Karastojković, Milan Miladinov, Miroslav Miladinov

STANDARDIZACIJA I KVALITET

STANDARDIZATION & QUALITY

92

POSTOJEĆE STANJE STANDARDA U OBLASTI
ZAVARIVANJA U SRBIJI
DEO IISTANDARDS IN WELDING IN SERBIA – STATE OF
ART
PART II*Aleksić Boško, Simonović Dejan*

VESTI

NEWS

70

VESTI - OSNIVAČKA SKUPŠTINA BIH DRUŠTVA ZA ZAVARIVANJE

80

VESTI - REPUBLIČKO TAKMIČENJE MLADIH ZAVARIVAČA

83

VESTI - MEĐUNARODNO NAUČNO-STRUČNO SAVETOVANJE - SBZ 2023

96

MARKETING



Oleksandr M. Savitskyi¹, Mychailo M. Savitskyi¹, Darko Bajić^{2, a}, V.N. Vashchenko¹

TERMIČKA BARIJERA U ZAVARENIM SPOJEVIMA UGLJENIČNIH ČELIKA

THERMAL BARRIER IN WELDED JOINTS OF CARBON STEELS

Originalni naučni rad / Original scientific paper

Rad primljen / Paper received:

August 2022.

Rad prihvaćen / Paper accepted:

February 2023.

Ključne reči: termička barijera, zavarljivost ugljeničnih čelika, pogonska energija zavarivanja, toplotna provodnost

Adresa autora / Author's address:

¹ E.O. Paton Electric Welding Institute, NAN Ukraina, 11, Kazymyr Malevych St., Kyiv, 03150, Ukraine

² University of Montenegro, University of Montenegro, Faculty of Mechanical Engineering, Džordža Vašingtona bb., 81000 Podgorica, Montenegro

Email: ^adarko@ucg.ac.me

Keywords: thermal barrier, weldability of carbon steels, welding heat input, thermal conductivity

Rezime

Pri zavarivanju ugljeničnih čelika dio metala zone uticaja toplote neposredno uz kupku vara doživljava austenitnu transformaciju, koja se karakteriše kombinacijom minimalne toplotne provodnosti i visokog toplotnog kapaciteta. Ova zona predstavlja termičku barijeru i sprečava transfer toplote iz kupke vara u osnovi metal. Pored toga, ova zona je sposobna da akumulira i da određen vremenski period zadržava značajnu količinu toplote. U fazi zagrijavanja, ova barijera ima pozitivan uticaj na formiranje zavarenih spojeva, a u fazi hlađenja izaziva negativan efekat – formiranje toplih ili hladnih prslina, pregrijavanje i krtost metala. Negativan uticaj termičke barijere na metal zavarenih spojeva povećava se sa povećanjem sadržaja ugljenika i legirajućih elemenata u čeliku, a takođe i sa povećanjem unosa topline u zavareni spoj.

Trenutno, efikasno sredstvo za smanjenje negativnog utjecaja termičke barijere na metal zavarenih spojeva je smanjenje unosa toplote u zavarene spojeve i njihovo periodično hlađenje. Maksimalna efikasnost se postiže u slučaju kombinacije ove dvije tehnike.

Abstract

When welding carbon steels, a part of the metal of the heat affected zone directly next to the weld bath undergoes austenitic transformation, which is characterized by a combination of minimal thermal conductivity and high thermal capacity. This zone represents a thermal barrier and prevents heat transfer from the weld bath to the base metal. In addition, this zone is able to accumulate and retain a significant amount of heat for a certain period of time. In the heating phase, this barrier has a positive effect on the formation of welded joints, and in the cooling phase it causes a negative effect - the formation of hot or cold cracks, overheating and brittleness of the metal. The negative influence of the thermal barrier on the metal of welded joints increases with the increase of carbon content and alloying elements in steel, and also with the increase of heat input into the welded joint.

Currently, an effective means of reducing the negative impact of the thermal barrier on the metal of welded joints is to reduce the heat input to the welded joints and their periodic cooling. Maximum efficiency is achieved in the case of a combination of these two techniques.

Rad je u izvornom obliku objavljen u Zborniku radova sa 32. Savetovanja sa međunarodnim učešćem „Zavarivanje 2022“ održanog na Tari, Srbija od 12. do 15. oktobra 2022. godine



1. Uvod

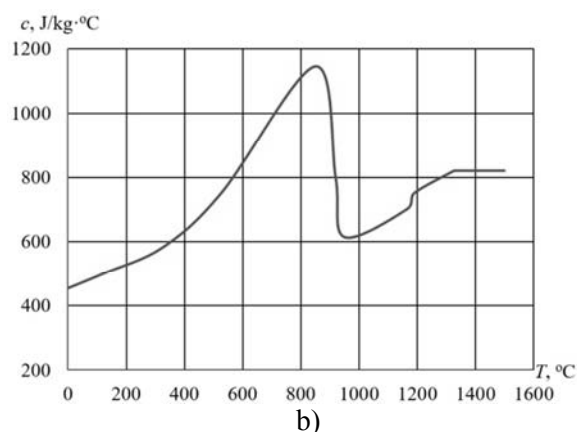
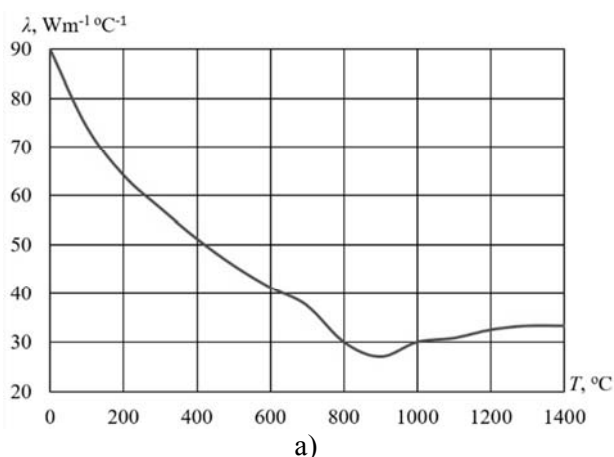
Osnovni konstrukcioni materijal našeg vremena je ugljenični čelik. To je uslovljeno nizom faktora, kao što su relativna niska cijena i tehnološki usavršena proizvodnja ugljeničnih čelika i konstrukcija na njihovoj osnovi. Osim toga, povećanjem sadržaja ugljenika i legirajućih elemenata u čelicima, povećavaju se njihove karakteristike čvrstoće i osjetljivost na termičko djelovanje [1, 2].

Sklonost ugljeničnih čelika da formiraju visokokvalitetne zavarene spojeve ocjenjuje se nizom pokazatelja koji karakterišu njihovu zavarljivost. Glavni pokazatelji zavarljivosti su sklonost stvaranju toplih i hladnih prslina, kao i povećanje krtosti (krtom lomu) [3 - 5].

Otpornost na formiranje toplih prslina ocjenjuje se pomoću indeksa HCS (hot cracking susceptibility), a otpornost na formiranje hladnih prslina ocjenjuje se prema ekvivalentu ugljenika CE [5]. Sklonost ka pregrijavanju i krtom lomu zavarenog spoja ocjenjuje se prema proračunskom

indeksu tvrdoće HVmax. Navedeni pokazatelji ukazuju da povećanje sadržaja ugljenika i brojnih legirajućih elemenata u čelicima pogoršava njihovu zavarljivost. Međutim, ovi parametri za procjenu pokazatelja zavarljivosti ugljeničnih čelika uzimaju u obzir samo njihov hemijski sastav. Rezultati istraživanja [6, 7] ukazuju da je zavarljivost ugljeničnih čelika neposredno povezana s njihovim termofizičkim stanjem (toplotna provodnost) i postepeno se pogoršava srazmjerno njenom smanjuju.

Na slici 1 prikazane su krive promjene koeficijenta toplotne provodnosti željeza i njegovog toplotnog kapaciteta u zavisnosti od temperature zagrijavanja. Krive pokazuju da kada se postigne temperatura austenitne transformacije (911°C), željezo karakteriše kombinacija minimalne toplotne provodnosti (sl. 1a) i maksimalnog toplotnog kapaciteta (sl. 1b). Dalje povećanje temperature zagrijavanja je praćeno blagim povećanjem toplotne provodnosti u kombinaciji s visokim toplotnim kapacitetom.

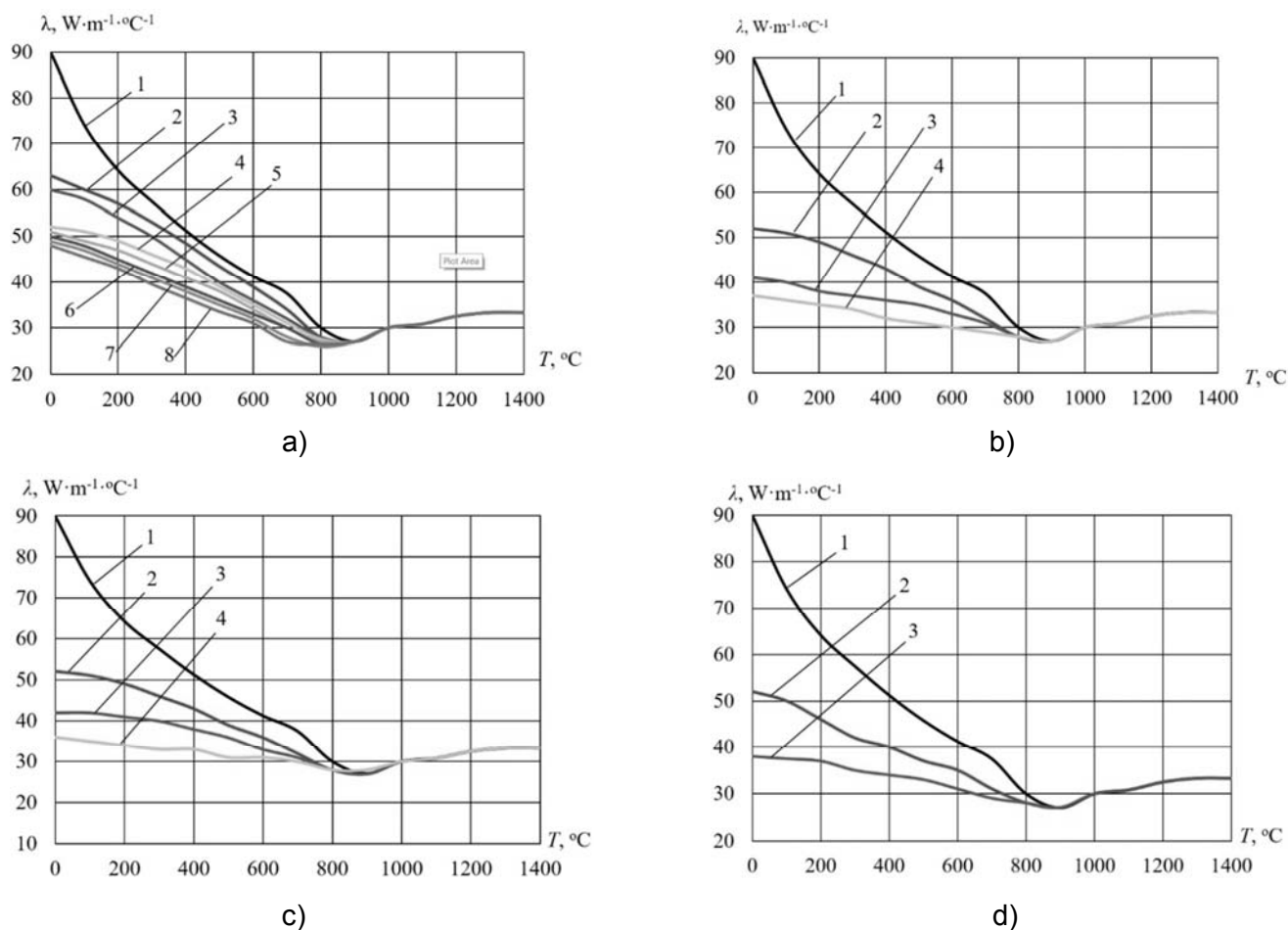


Slika 1. Zavisnost koeficijenta toplotne provodnosti (a) i toplotnog kapaciteta (b) željeza od temperature zagrijavanja [6]

Figure 1. Dependence of the thermal conductivity coefficient (a) and heat capacity (b) of iron on the heating temperature [6]

Na slici 2 date su krive zavisnosti toplotne provodnosti željeza i čelika s različitim sistemima legiranja od temperature zagrijavanja [7]. Ovi podaci pokazuju da sa povećanjem sadržaja ugljenika u čelicima, njihova toplotna provodnost opada (sl. 2a).

Legiranjem čelika sa Mn, Cr, Ni, Si dodatno se smanjuje toplotna provodnost čelika (sl. 2b,c,d). Nakon austenizacije uticaj ugljenika i legirajućih elemenata na toplotnu provodnost čelika se izjednačava, što se objašnjava rastvaranjem primjesa (nečistoća), ugljenika i legirajućih elemenata u austenitu [6, 7].



Slika 2. Uticaj temperature zagrijavanja i legirajućih elemenata na koeficijent toplotne provodnosti čelika [7]:

- a) Ugljenika: 1- čisto Fe; 2- 0,08% C; 3 - 0,1% C; 4 - 0,2% C; 5 - 0,3% C; 6 - 0,4% C; 7 - 0,5% C; 8 - 0,8% C;
 b) Mangana: 1- čisto Fe; 2 – čelik 35 (GOST); 3 – čelik 35Г2 (GOST); 4 – čelik 65Г (GOST);
 c) Hroma i Nikla: 1- čisto Fe; 2 – čelik 20 (GOST); 3 – čelik 20X (GOST); 4 – čelik 20XH3A (GOST);
 d) Silicijuma: 1- čisto Fe; 2 – čelik 28XA (GOST); 3 – čelik 38XC (GOST)

Figure 2. Influence of heating temperature and alloying elements on the coefficient of thermal conductivity of steel [7]:

- a) Carbon: 1- pure Fe; 2- 0.08% C; 3 - 0.1% C; 4 - 0.2% C; 5 - 0.3% C; 6 - 0.4% C; 7 - 0.5% C; 8 - 0.8% C;
 b) Manganese: 1- pure Fe; 2 – steel 35 (GOST); 3 – steel 35G2 (GOST); 4 – steel 65G (GOST);
 c) Chromium and Nickel: 1- pure Fe; 2 – steel 20 (GOST); 3 – steel 20X (GOST); 4 – steel 20HN3A (GOST);
 d) Silicon: 1- pure Fe; 2 – steel 28XA (GOST); 3 – steel 38XC (GOST)

Nakon završetka austenizacije, termofizičko stanje ugljeničnih nelegiranih i legiranih čelika karakteriše minimalna toplotna provodnost i maksimalni toplotni kapacitet. Metal zagrijan na naznačenu temperaturu stvara barijeru širenju toplote. U zavarenom spoju ulogu termičke barijere igra metalna struktura koja je podvrgnuta austenitizaciji. Takvo područje je područje zone pregrijavanja koja direktno okružuje tečnu kupku vara i sprečava odvođenje toplote do osnovnog materijala (OM). U fazi zagrijavanja, termička barijera ima pozitivnu ulogu u formiranju zavarenog spoja. U fazi hlađenja termička barijera sprečava

prenos toplote iz kupke vara na OM, što je praćeno povećanjem vremena zadržavanja tečnog metala u području temperature kristalizacije i povećava vjerojatnoću pojave toplih prslina u metalu šava (MŠ) [6, 7]. Zbog kombinacije minimalne toplotne provodnosti i visokog toplotnog kapaciteta, termička barijera može akumulirati značajnu količinu toplote i zadržati je dugo vremena. To dovodi do pregrijavanja metala, rasta austenitnog zrna i stabilizacije austenita. Posljedica je njegovo lokalno otvrdnjavanje i krtost, kao i stvaranje hladnih prslina i krtog loma. Do stvaranja termičke barijere u metalu zavarenih spojeva dolazi

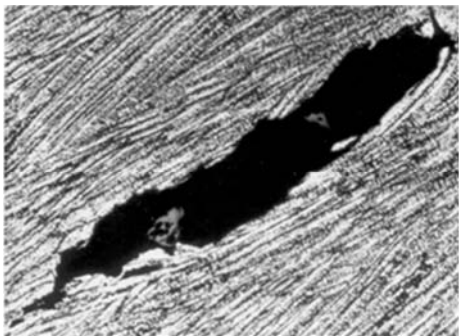


u fazi njihovog zagrijavanja nakon završetka $\alpha \rightarrow \gamma$ transformacije. Njeno postojanje je definisano do trenutka raspada austenita pri hlađenju, tj. do završetka $\gamma \rightarrow \alpha$ transformacije.

2. Eksperimentalni rezultati i diskusija

Proširenje temperaturnog intervala i postojanja termičke barijere, kao i povećanje njene geometrije,

sprečava odvođenje toplote iz kupke vara na OM. Posledica toga je povećanje trajanja postojanja kupke vara u tečnom i čvrsto-tečnom stanju, tj. u temperaturnom opsegu kristalizacije (temperaturni opseg krivosti) [2]. To dovodi do stvaranja toplih prslina u MŠ (sl. 3).

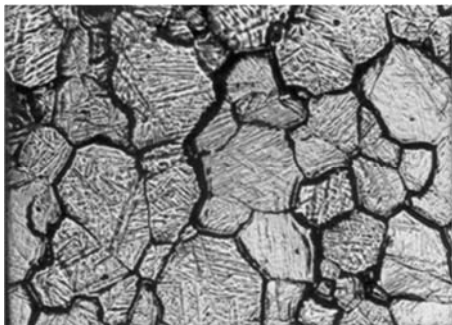


Slika 3. Tople prsline u MŠ zavarenih spojeva ugljeničnih čelika (uvećanje 400 puta)

Figure 3. Hot cracks in WM of welded joints of carbon steel (magnification 400 times)

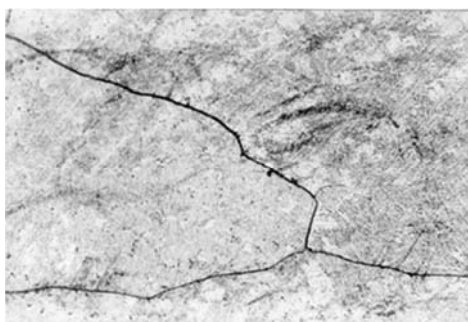
Niska toplotna provodnost i visok toplotni kapacitet toplotne barijere omogućavaju joj da akumulira i dugo zadržava značajnu količinu toplote. Ovo povećava vrijeme zadržavanja metala zone uticaja toplote (ZUT) u području visokih temperatura i doprinosi njegovom pregrijavanju, rastu austenitnog zrna i stabilizaciji austenita. Kao

rezultat javlja se formiranje krupnozrne strukture u naznačenom području (sl. 4) sa značajnim ili dominantnim sadržajem martenzita. Formiranje zakaljive strukture u zavarenim spojevima ili mješovitih struktura s dominantnim sadržajem martenzitne komponente, praćeno je stvaranjem hladnih prslina u metalu spojeva (sl. 5).



Slika 4. Zakaljiva krupnozrna struktura u okološavnim zonama zavarenih spojeva ugljeničnih čelika sa dominacijom martenzita (uvećanje 400 puta)

Figure 4. Quenchable coarse-grained structure in the surrounding zones of welded joints of carbon steels dominated by martensite (magnification 400 times)



Slika 5. Hladne prsline u ZUT-u zavarenog spoja ugljeničnog čelika (uvećanje 240 puta)

Figure 5. Cold cracks in the HAZ of a carbon steel welded joint (magnification 240 times)

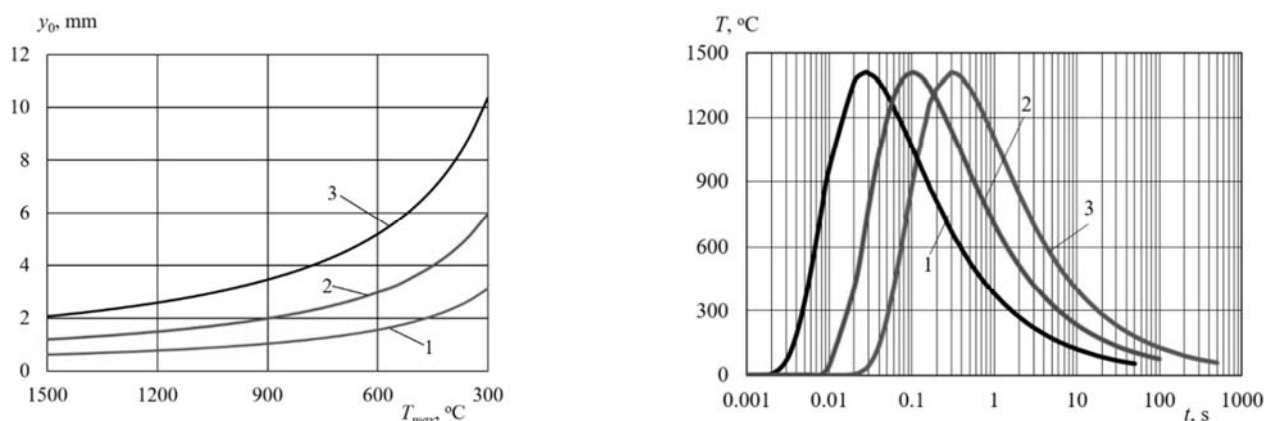


Kako nije moguće izbjeći stvaranje termičke barijere u zavarenim spojevima, potrebno je ograničiti temperaturni interval koji ona pokriva, smanjiti njenu geometriju i vrijeme postojanja. To će smanjiti stepen njenog negativnog uticaja na zavareni spoj. Temperaturni interval pokriven termičkom barijerom određen je temperaturama $\alpha \rightarrow \gamma$ i $\gamma \rightarrow \alpha$ transformacija i maksimalnom temperaturom zagrijavanja (maksimalna temperatura termičkog ciklusa zavarivanja). Temperature $\alpha \rightarrow \gamma$ i $\gamma \rightarrow \alpha$ transformacija zavise od hemijskog sastava zavarivanog čelika. Maksimalne temperature zagrijavanja u čvrstom metalu tokom zavarivanja topljenjem dostižu vrijednosti bliske temperaturama topljenja.

Dimenzije termičke barijere, tj. širina presjeka ZUT-a čiji metal doživljava austenitnu transformaciju i trajanje njegovog postojanja prije

raspada austenita zavisi od količini toplote unešene u zavareni spoj [3, 4, 7-9].

Kako je termička barijera dio zone ZUT-a, smanjenjem geometrije ZUT-a smanjuje se termička barijera. Uticaj unosa toplote na dimenzije ZUT-a može se ocijeniti na osnovu krivih koje odražavaju udaljenost izoterma s različitim fiksnim temperaturama od granice topljenja (sl. 6a) i podataka datih u tabeli 1. Donja temperaturna granica ZUT-a je izoterma s temperaturom od 300°C. Kako se unos toplote zavarivanja smanjuje sa 2162 J/cm na 648 J/cm (faktor 3,3), dimenzije ZUT-a se smanjuju za 3,3 puta - sa 8,31 mm na 2,49 mm. Vrijeme zadržavanja metala na temperaturi iznad 300°C, koje je određeno termičkim ciklusima zavarivanja (sl. 6b) smanjuje se za više od 10 puta (tabela 1). Shodno tome se smanjuju dimenzije termičke barijere i trajanje njenog postojanja.



Slika 6. Dimenzije zone ZUT (a) i termički ciklus (b) pri zavarivanju ugljeničnih čelika sa pogonskom energijom: 1- 648 J/cm, 2- 1140 J/cm, 3- 2162 J/cm

Figure 6. HAZ zone dimensions (a) and thermal cycle (b) when welding carbon steels with energy of: 1- 648 J/cm, 2- 1140 J/cm, 3- 2162 J/cm

Tabela 1. Parametri ZUT-a

Table 1. HAZ parameters

| Pogonske energije zavarivanja, [J/cm] | Dimenzija ZUT-a, [mm] | Vrijeme zadržavanja na temepraturi >300 °C, [s] |
|---------------------------------------|-----------------------|---|
| 2162 | 8,31 | 19,99 |
| 1140 | 4,78 | 6,97 |
| 648 | 2,49 | 1,79 |

Brzina promjene temperature metala tokom zavarivanja upotrebom snažnog izvora toplote pri njegovom kretanju velikom brzinom (zavarivanje tijela velike mase) određena je izrazom [9]:

$$w = 2\pi\lambda \frac{(T - T_H)^2}{q/v} \quad (1)$$

gdje je: w – brzina promjene temperature, T – temperatura pri kojoj se određuje brzina njene promjene, T_H – početna temperatura metala, q – efektivna toplotna snaga električnog luka, v – brzina zavarivanja.

Brzina promjene temperature metala tokom zavarivanja upotrebom snažnog brzopokretnog



linearnog izvora toplote (zavarivanje ploče ograničene debljine) određena je izrazom [9]:

$$w = 2\pi\lambda c\rho \frac{(T - T_H)^3}{[q/(v\delta)]^2} \quad (2)$$

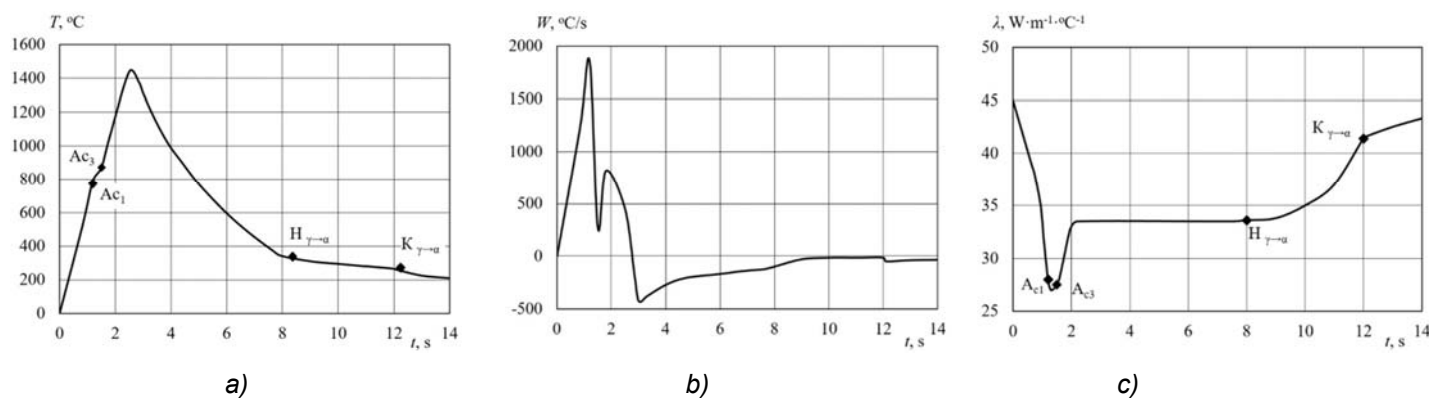
gdje je: w – brzina promjene temperature, T – temperatura pri kojoj se određuje brzina njene promjene, T_H – početna temperatura metala, q – efektivna toplotna snaga električnog luka, v – brzina zavarivanja, δ – debljina zavarivanog metala, λ – koeficijent toplotne provodnosti zavarivanog metala i $c\rho$ – zapreminski toplotni kapacitet zavarivanog metala.

Analiza izraza 1 i 2 omogućava da se utvrdi priroda uticaja pogonske energije zavarivanja (q/v) na brzinu zagrijavanja metala zavarenog spoja. Kako se unos pogonske energije zavarivanja smanjuje, brzina zagrijavanja se povećava. Povećanje brzine zagrijavanja metala neizbježno je praćeno povećanjem temperatura $\alpha \rightarrow \gamma$ i $\gamma \rightarrow \alpha$ transformacija, koje se pomjeraju u područja viših temperatura [7, 11, 12]. Što je veća brzina zagrijavanja, to su više temperature $\alpha \rightarrow \gamma$ i $\gamma \rightarrow \alpha$ transformacija. Iz ovoga proizilazi da je smanjenjem pogonske energije zavarivanja moguće ne samo smanjiti veličinu termičke barijere i trajanje njenog

postojanja, već i smanjiti temperaturni interval koji ona pokriva. Stoga se proces formiranja i eliminacije termičke barijere može kontrolisati.

Na slikama 7 i 8 prikazani su termički ciklusi koji odražavaju zagrijavanje uzoraka ugljeničnog čelika pri prosječnim brzinama od 650 °C/s (sl. 7a) i 2200 °C/s (sl. 8a). Pri tom, maksimalne trenutne brzine zagrijavanja u ovim uslovima dostižu 1854°C/s (sl. 7b) i 11500°C/s (sl. 8b). Oni premašuju trenutne brzine hlađenja.

Poređenje termičkih ciklusa i krivih promjena brzine zagrijavanja i hlađenja metala (sl. 7a,b i sl. 8a,b) pokazuje da povećanjem prosječne i trenutne brzine zagrijavanja, A_{c1} i A_{c3} temperature se povećavaju, kada početna struktura metalna prolazi kroz austenitnu transformaciju i formira se termička barijera. Kada se zagrijavaju prosječnom brzinom od 650°C/s, temperature dostižu vrijednosti 790°C (A_{c1}) i 870°C (A_{c3}) (sl. 7a). Za poređenje temperatura A_{c1} i A_{c3} koristimo čelik 40XH, čiji je hemijski sastav dat u tabeli 2. Povećanje prosječne brzine zagrijavanja metala na 2200°C/s (sl. 8a) praćeno je povećanjem temperatura A_{c1} i A_{c3} na 980°C i 1105°C, respektivno.



Slika 7. Termičko stanje ugljeničnog čelika tipa 40XH, (maksimalna srednja brzina zagrijavanja 650°C/s): a) termički ciklus sa tačkama faznih transformacija; b) kriva promjene trenutnih brzina zagrijavanja i hlađenja metala zavarenog spoja; c) kriva promjene toplotne provodnosti metala

Figure 7. Thermal condition of carbon steel type 40XH, (maximum mean heating rate 650 °C/s): a) thermal cycle with phase transformation points; b) the curve of changes in the instantaneous heating and cooling rates of the metal of the welded joint; c) curve of change in thermal conductivity of metals

Tabela 2. Hemijski sastav čelika 40XH [2]

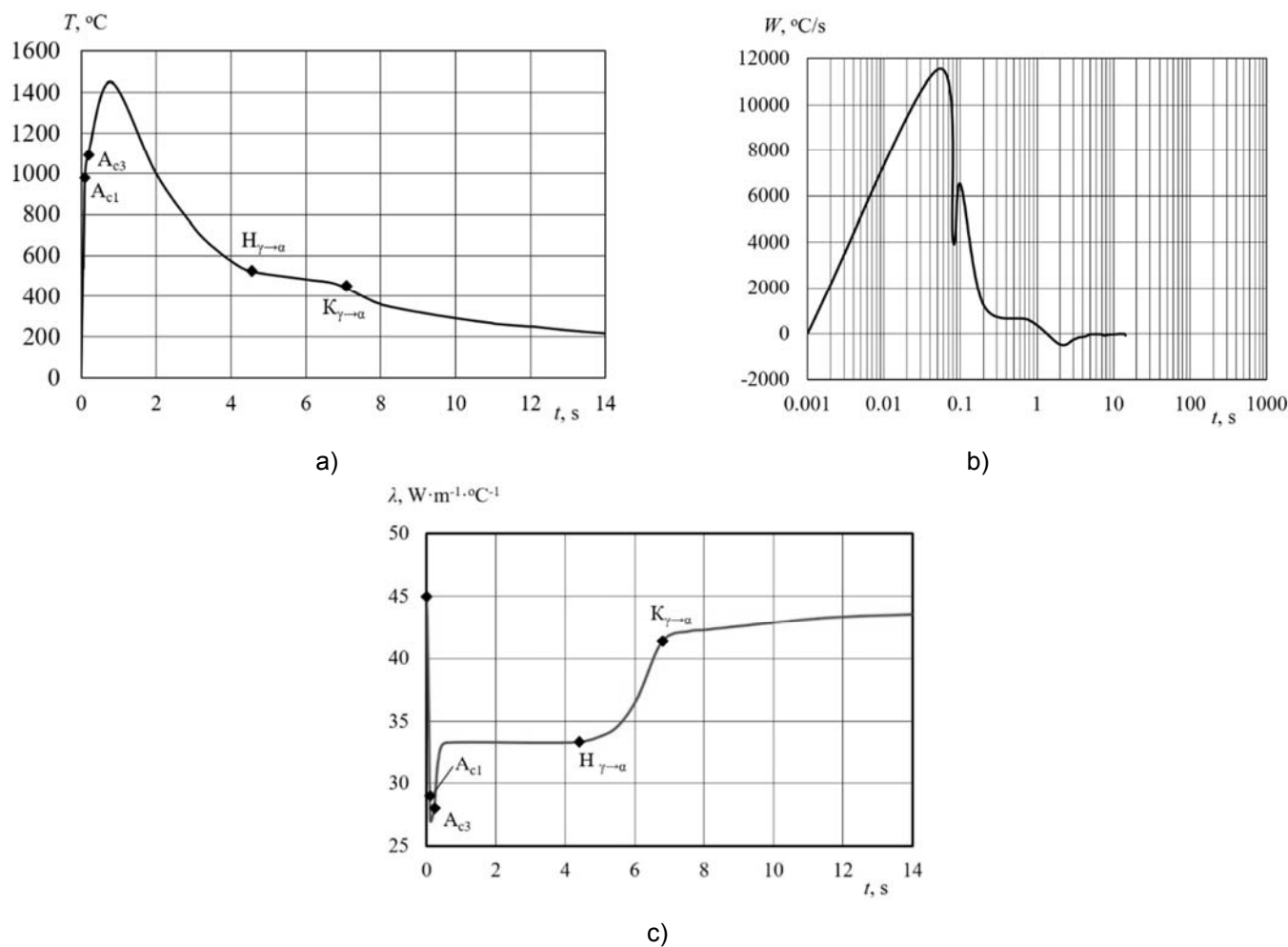
Table 2. Chemical composition of steel 40XH [2]

| Sadržaj elemenata, [maseni udio u %] | | | | | | | |
|--------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|--------|----|
| C | Si | Mn | Cr | Ni | S | P | Cu |
| 0,36-0,44 | 0,17-0,37 | 0,50-0,80 | 0,45-0,75 | 1,00-1,40 | ≤0,035 | ≤0,035 | ≤ |



U uslovima neprekidnog hlađenja, temperature tačka početka ($H_{\gamma \rightarrow \alpha}$) i kraja ($K_{\gamma \rightarrow \alpha}$) raspada austenita takođe rastu sa povećanjem brzine zagrijavanja. Pri srednjoj brzini zagrijavanja od 650°C/s , raspad austenita, a time i eliminacija termičke barijere, odvija se u temperaturnom intervalu od $340 - 265^\circ\text{C}$ (sl. 7a). Povećanje srednje brzine zagrijavanja na 2200°C/s praćeno je pomakom raspada austenita do temperature od $530 - 460^\circ\text{C/s}$ (sl. 8a).

Pri prosečnoj brzini zagrijavanja od 650°C/s , termička barijera pokriva temperaturni opseg $790^\circ\text{C} - 1440^\circ\text{C} - 265^\circ\text{C}$ (sl. 7a,c). Sa povećanjem srednje brzine zagrijavanja na 2200°C/s , ovaj interval se smanjuje na $980^\circ\text{C} - 1440^\circ\text{C} - 460^\circ\text{C}$ (sl. 8a,c). Smanjuje se i interval postojanja termičke barijere. U prvom slučaju iznosi 10,8 s (sl. 7a,c), a u drugom slučaju 6,7 s (sl. 8a,c), što je 1,6 puta manje.

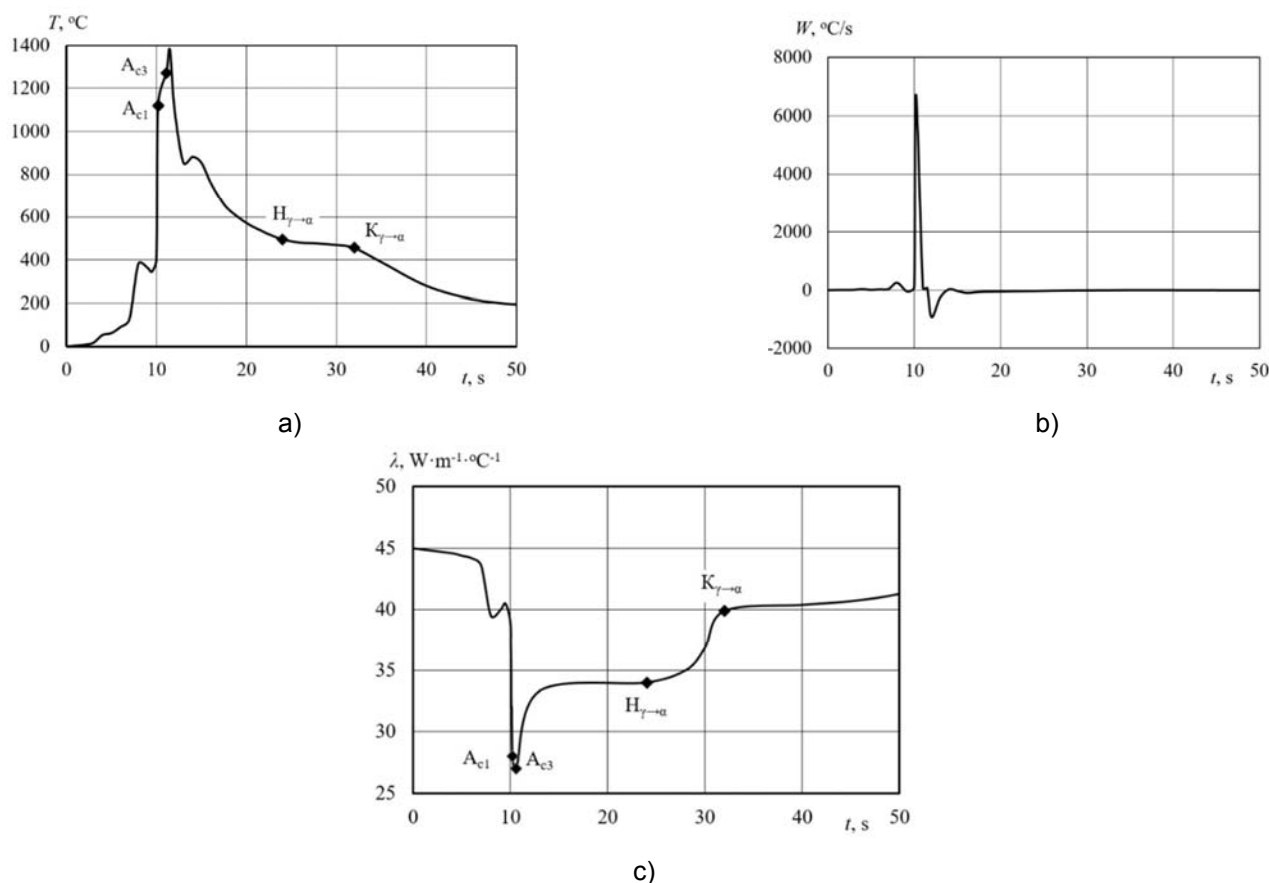


Slika 8. Termičko stanje ugljeničnog čelika tipa 40XH, (maksimalna srednja brzina zagrijavanja 2200°C/s): a) termički ciklus sa tačkama faznih transformacija; b) kriva promjene trenutnih brzina zagrijavanja i hlađenja metala zavarenog spoja; c) kriva promjene toplotne provodnosti metala

Figure 8. Thermal condition of carbon steel type 40XH, (maximum mean heating rate 2200°C/s): a) thermal cycle with phase transformation points; b) the curve of changes in the instantaneous heating and cooling rates of the metal of the welded joint; c) curve of change in thermal conductivity of metals

Brzine zagrijavanja utiču na procese u ZUT-u tokom zavarivanja (sl. 9). Kada se zagrijavaju brzinom od 7000°C/s , temperature A_{c1} i A_{c3} dostižu temperature od 1170°C i 1270°C , respektivno, a temperature raspada austenita (likvidacija termičke

barijere) se povećavaju na 495°C i 455°C , respektivno. U skladu sa termičkim ciklusom (sl. 9a), termička barijera pokriva temperaturni interval $1170^\circ\text{C} - 1400^\circ\text{C} - 455^\circ\text{C}$.



Slika 9. Termičko stanje ugljeničnog čelika tipa 40XH, (maksimalna srednja brzina zagrijavanja $7000^\circ C/s$): a) termički ciklus sa tačkama faznih transformacija; b) kriva promjene trenutnih brzina zagrijavanja i hlađenja metala zavarenog spoja; c) kriva promjene toplotne provodnosti metala

Figure 9. Thermal condition of carbon steel type 40XH, (maximum average heating rate $7000^\circ C/s$): a) thermal cycle with phase transformation points; b) the curve of changes in the instantaneous heating and cooling rates of the metal of the welded joint; c) curve of change in thermal conductivity of metals

Rezultati istraživanja na zavarenim spojevima i simulacijom zavarivačkih uslova zagrijavanja i hlađenja na uzorcima pokazali su da je povećanje brzine zagrijavanja uvijek praćeno pomakom temperature transformacije austenita (A_{c1} i A_{c3}) i temperaturama početka i kraja raspada austenita ($H_{\gamma \rightarrow \alpha}$ i $K_{\gamma \rightarrow \alpha}$) u područje viših temperatura, što dovodi do smanjenja temperaturnog intervala termičke barijere i smanjenja trajanja njegovog postojanja.

Jednačine 1 i 2 pokazuju da se kod zavarivanja povećanje stepena zagrijavanja metala može postići smanjenjem pogonske energije (q/v). Na ovaj način rješava se i problem smanjenja veličine termičke barijere. Međutim, pri konvencionalnim postupcima elektrolučnog zavarivanja postoji donji prag unosa pogonske energije, ispod koje postaje problematično ostvariti zavareni spoj. Smanjenje pogonske energije (unosa toplote) pri konvencionalnim postupcima elektrolučnog zavarivanja ima vrlo ograničenu perspektivu i

moguće je u vrlo uskom intervalu režima zavarivanja.

Ovaj problem se može riješiti korištenjem aktivirajućih topitelja pri zavarivanju sa netopljivom (ATIG) i topljivom (AMIG) elektrodama u zaštitnim gasovima. Ove metode omogućavaju smanjenje unosa pogonske energije (unosa toplote) zavarivanja za 1,8 – 6 puta na račun povećanja sposobnosti penetracije električnog luka za 1,5 – 4 puta u odnosu na konvencionalno elektrolučno zavarivanje u zaštitnim gasovima [13 - 15]. U ovom slučaju, srednja brzine zagrijavanja dostiže $5000 - 6000^\circ C/s$, a trenutni maksimum $25000 - 30000^\circ C/s$.

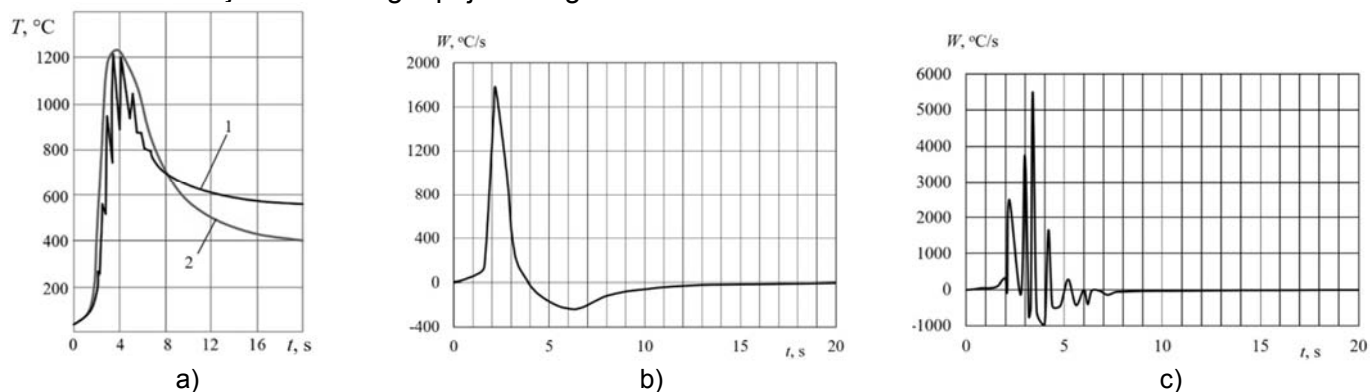
Drugi način za povećanje brzine zagrijavanja i smanjenje rezultirajućeg unosa toplote u zavarene spojeve je njihovo periodično hlađenje. Ova tehnološka metoda omogućava pokretanje pulsirajućih termičkih ciklusa velike brzine u zavarenim spojevima.



Na slici 10 prikazani su termički ciklusi zavarivanja pri istoj toplotnoj snazi električnog luka (q) sa periodičnim hlađenjem (sl. 10a, kriva 1) i bez periodičnog hlađenja (sl. 10a, kriva 2) [16].

Poređenje ovih termičkih ciklusa i postignutih trenutnih brzina zagrijavanja (sl. 10b,c) pokazuje da periodično hlađenje zavarenog spoja omogućava

povećanje trenutnih brzina zagrijavanja metala za nekoliko puta. Prilikom zavarivanja bez periodičnog hlađenja, maksimalna trenutna brzina zagrijavanja je 1760°C/s (sl. 10b), a periodično hlađenje omogućava da se poveća na 5500°C/s (sl. 10c) bez promjene toplotne snage električnog luka (q) (približno 3 puta).



Slika 10. Termičko stanje zavarenog spoja realizovanog bez periodičnog hlađenja i sa periodičnim hlađenjem: a) termički ciklus zavarivanja: 1- sa periodičnim hlađenjem, 2 – bez periodičnog hlađenja [16]; b) trenutne brzine zagrijavanja i hlađenja tokom zavarivanja bez periodičnog hlađenja; c) trenutne brzine zagrijavanja i hlađenja tokom zavarivanja sa periodičnim hlađenjem

Figure 10. Thermal conditions of the welded joint realized without periodic cooling and with periodic cooling: a) thermal welding cycle: 1- with periodic cooling, 2 – without periodic cooling [16]; b) instantaneous heating and cooling rates during welding without periodic cooling; c) instantaneous heating and cooling rates during welding with periodic cooling

Uticaj visokih brzina zagrijavanja tokom pulsirajućih termičkih ciklusa na temperature transformacije austenita (Ac1 i Ac3) i temperature početka i kraja raspada austenita ($\text{H}\gamma \rightarrow \alpha$ i $\text{K}\gamma \rightarrow \alpha$), dimenzije i vrijeme postojanja termičke barijere, kao i na temperaturni opseg koji pokriva slično je kao što se dešava kada se smanji pogonska energija zavarivanja. Periodično hlađenje zavarenog spoja omogućava smanjenje rezultirajućeg unosa toplote u njega zbog periodičnog odvođenja viška toplote.

3. Zaključak

Negativan uticaj termičke barijere na formiranje, strukturu i svojstva zavarenih spojeva manifestuje se u povećanju vjerovatnoće pojave toplih prslina u metalu šava, pregrijavanju i zakaljivosti (očvršćavanju) metala zone uticaja toplote, što je praćeno povećanjem njene krtosti i stvaranjem hladnih prslina.

Negativan uticaj termičke barijere na metal zavarenih spojeva povećava se s povećanjem sadržaja ugljenika i legirajućih elemenata u čelicima.

Dakle, smanjenje temperaturnog intervala koji pokriva termička barijera, smanjenje njene dimenzije i perioda postojanja može se izvršiti na dva načina - smanjenjem pogonske energije (toplotnog unosa) zavarivanja ili periodičnim hlađenjem kupke vara. Ove tehnološke metode umanjuju negativan učinak termičke barijere na metal zavarenog spoja do te mjere da sprečavaju nastanak toplih i hladnih prslina u njemu, kao i pojavu krtog loma. Kombinacijom ove dvije tehnološke metode postiže se maksimalna efikasnost.

Nemoguće je spriječiti stvaranje termičke barijere u zavarenim spojevima ugljeničnih čelika, već je jedino moguće oslabiti njegovo negativno djelovanje na metal smanjenjem temperaturnog intervala koji pokriva, smanjenjem njene dimenzije i vremena postojanja.

Efikasna sredstva za smanjenje negativnog uticaja toplotne barijere na metal zavarenih spojeva su smanjenje unosa pogonske energije zavarivanja (toplote zavarivanja) i periodično hlađenje zavarenih spojeva. Maksimalna efikasnost se postiže kombinacijom ove dvije tehnike.



3. Conclusion

The negative influence of the thermal barrier on the formation, structure and properties of welded joints is manifested in the increase of the probability of the appearance of hot cracks in the weld metal, overheating and quenching (hardening) of the heat-affected zone metal, which is accompanied by an increase in its brittleness and the formation of cold cracks.

The negative impact of the thermal barrier on the metal of welded joints increases with the increase in the content of carbon and alloying elements in steels.

Literatura / References

[1] Гуляев, А. П., *Металловедение*, М. (1966), *Металлургия*, Москва

[2] Сорокин, В. Г., Волосникова, А. В., Вяткин, С. А. [и др.], под ред. Сорокина, В. Г., (1989), *Марочник сталей и сплавов*, М.: *Машиностроение*, Москва

[3] Патон, Б. Е. (1974), *Технология электрической сварки плавлением*, М.: *Машиностроение*, Москва

[4] Акулов, А. И., Бельчук, Г. А., Демянцевич, В. П. (1977) *Технология и оборудование сварки плавлением*, М.: *Машиностроение*, Москва,

[5] Ромашкин, А. Н. *Свариваемость сталей*. <http://steelcast.ru/weldability>.

[6] Савицкий, О. М. (2015) *Теплофізичний стан вуглецевих сталей та його вплив на формування теплового бар'єру при локальній термічній дії*, *Металознавство та обробка матеріалів*, 3, 28–34.

[7] Савицкий, О. М., Савицкий, М. М., (2017), *Особенности влияния теплопроводности на схильність сталей до утворення зварних з'єднань*, *Металознавство та обробка матеріалів*, 3, 40–47.

[8] Рыкалин, Н. Н., Пугин, А. И., (1959), *Тепловые процессы при сварке плавлением*, *Профиздат*, Москва

It is impossible to prevent the creation of a thermal barrier in welded joints of carbon steel, but it is only possible to decrease its negative effect on the metal by reducing the temperature interval it covers, by reducing its size and time of existence.

Effective means to reduce the negative impact of the thermal barrier on the welded joints metal are the reduction of the input of welding energy (welding heat) and periodic cooling of the welded joints. Maximum efficiency is achieved by combining these two techniques.

[9] Фролов, В. В., (1988), *Теория сварочных процессов*, М.: *Высшая школа*, Москва

[10] Багрянский, К. В., Добротина, З. А., Хренов, К. К., (1976), *Теория сварочных процессов*, К.: *Вища школа*, Киев

[11] Гриднев, В. Н., Мешков, Ю. Я., Ошкадеров, С. П., Трефилов, В. И., (1973), *Физические основы электротермического упрочнения стали*, К.: *Наукова думка*, Киев

[12] Savytsky, O. M., Savytsky, M. M., Shkrabalyuk, Yu. M., Vuherer, T., Bajic, D. R., (2016), *The influence of electric arc activation on the speed of heating and the structure of metal in welds*, *Thermal Science*, 20 1. 239–246.

[13] Savytsky, O. M., Savytsky, M. M., Bajic, D., (2017) *Efficiency of the application fluxes in shielded arc welding*, *Tehnicki vjesnik*, 24, 4, 975–980.

[14] Savytsky A.M., Savytsky M.M., Bajic D., (2016), *MIG/MAG zavanje primjenom aktivirajućeg topitelja*, *Zbornik radova savetovanje zavarivanje 2016*, *Srebrno jezero*, Srbija, Septembar 14-17, 82–90.

[15] Savitskij, M. M., Savitskij, A. M., Bajic, D., Blečić, Z., *MIG welding technology using activating fluxes*, (2004), *Zavarivanje i zavarene konstrukcije*, 1, pp. 10–14.

[16] Макара, А. М., Мосендз М. А., (1971), *Сварка высокопрочных сталей*, К.: *Техніка*, Киев



Mersida Manjgo ^{1,a}, Meri Burzić ², Mirza Manjgo ³, Tomaž Vuherer ³

ASSESSMENT OF THE PRONE TO BRITTLE FRACTURE OF A WELDED JOINT

OCJENA SKLONOSTI KA KRTOM LOMU ZAVARENOG SPOJA

Original scientific paper / Originalni naučni rad

Paper received / Rad primljen:

October 2022.

Paper accepted / Rad prihvaćen:

January 2023.

Author's address / Adresa autora:

¹ "Džemal Bijedić", University of Mostar, Faculty of Mechanical Engineering, Univerzitetski Kampus 88104, Mostar, Bosnia and Herzegovina

² University of Beograd, Faculty of Mechanical Engineering, Serbia

³ University of Maribor, Faculty of Mechanical Engineering, Slovenia

Email: ^a mersida.manjgo@unmo.ba

Keywords: tensile strength, crack energy initiation, crack energy propagation

Ključne reči: zatezna čvrstoća, energija stvaranja prslina, energija širenja prslina

Abstract

Welded structures place increasing demands on the level of increased resistance to fracture. A large number of fractures of welded structures, which occur during exploitation at a stress level below of the allowable, indicates the danger of brittle fracture. The assessment of brittle fracture susceptibility was analyzed by testing SharpY specimens, and the total impact energy, components of total impact energy (crack energy initiation and crack energy propagation) were used as parameters in the analysis.

1. Introduction

Steel NIOMOL 490K is intended for the production of welded structures exposed to dynamic load and low temperature, which is why, in addition to sufficient strength, it must also have good toughness. The successful application of this steel depends on the degree of deterioration of the base metal properties during welding [1]. The heat affected zone (HAZ) and the weld metal (WM) can be places of reduced toughness with a transient brittleness temperature shifted to higher temperatures.

The paper was published in its original form in the Proceedings of the 32nd Conference with international participation "Welding 2022" held in Tara, Serbia from October 12 to 15, 2022.

Rezime

Zavarene konstrukcije postavljaju sve veće zahtjeve u pogledu nivoa povećane otpornosti prema lomu. Veliki broj lomova zavarenih konstrukcija, do kojih dolazi u toku eksploatacije pri nivou napona nižem od dozvoljenog, ukazuje na opasnost od pojave krtog loma. Ocjena sklonosti ka krtom lomu je analizirana ispitivanjem SharpY epruveta, a kao parametri u analizi su korišteni ukupna energija udara, komponente ukupne energije udara (energija stvaranja i energija širenja prslina).

The problem is how to assess the toughness in critical areas of the welded joint, i.e. in HAZ. The standard procedure for determining the impact toughness of welded joints is to test Charpy V specimens with a notch tip placed in the WM and in different areas of the HAZ. Impact energy, as an integral value in the Charpy bending test, allows comparison of different materials in terms of their response to impact load. Instrumented testing allows the separation of energy required to initiate a crack and to propagate a crack [2]. Thanks to this data, it is possible to estimate how the location of the notch affects the impact characteristics and the plasticity of the material. Also, it is possible to determine the energy required to create and the energy required to propagate the crack which



allows a better understanding of the crack resistance of the test material.

2. Experiment

Steel NIOMOL 490K belongs to the group of microalloyed steels with molybdenum, yield strength min. 490 MPa and guaranteed transient

brittleness temperature at -60°C produced in "Železarna ACRONI" Jesenice [3]. The chemical composition of the tested steel is given in Table 1, and the basic mechanical properties in Table 2.

Table 1. Chemical composition of the tested batch of NIOMOL 490K steel

Tabela 1. Hemijski sastav ispitivane šarže čelika NIOMOL 490K

| Chemical composition, mass. [%] | | | | | | |
|---------------------------------|------|------|-------|-------|-------|------|
| C | Si | Mn | P | S | Al | Cr |
| 0,10 | 0,41 | 0,57 | 0,008 | 0,002 | 0,042 | 0,53 |

Table 2. Mechanical properties of tested steel NIOMOL 490 K

Tabela 2. Mehaničke osobine ispitivanog čelika NIOMOL 490 K

| Direction of examination | Yield stress $R_{p0,2}$ [MPa] | Tensile strength, R_m [MPa] | Elongation, A [%] | Impact energy, ISO-V, [J] |
|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------|---------------------------|
| L-T | 576 | 694 | 28,1 | 242, 248, 263 |
| T-L | 571 | 699 | 22,8 | 245, 248, 255 |

Two welding technologies were used for welding the test specimens: MMA procedure with EVB Ni Mo electrode, manufactured by ACRONI Jesenice, and MAG procedure with VAC 60 Ni wire,

manufactured by ACRONI Jesenice. Electrode diameter for MAG procedure was $\varnothing 1.2$ mm, and for MMA procedure was $\varnothing 3.25\text{-}\varnothing 4$ mm. The chemical composition of the additional material is given in Table 3, and the mechanical properties in Table 4.

Table 3. Chemical composition of filler materials in mass. [%]

Tabela 3. Hemijski sastav dodatnih materijala u masenim [%]

| Welding process | Filler material | C | Si | Mn | Ni | Mo | S | P |
|-----------------|-----------------|------|------|-------|------|------|--------|--------|
| MAG | VAC 60Ni | 0.08 | 0.80 | 1.5 | 1.10 | | <0.025 | <0.025 |
| MMA | EVBNiMo | 0.06 | 0.45 | 1.150 | 2.5 | 0.40 | | |

Table 4. Mechanical properties of filler materials

Tabela 4. Mehanička svojstva dodatnih materijala

| Welding process | Filler material | Yield stress $R_{p0,2}$ [MPa] | Tensile strength, R_m [MPa] | Elongation A, [%] | Impact energy, [J] | | |
|-----------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------|--------------------|-------|-------|
| | | | | | 20°C | -20°C | -40°C |
| MAG | VAC 60 Ni | 440 -510 | 560 -630 | 22 - 30 | | | > 47 |
| MMA | EVBNiMo | >510 | 580-710 | >22 | | >47 | >47 |

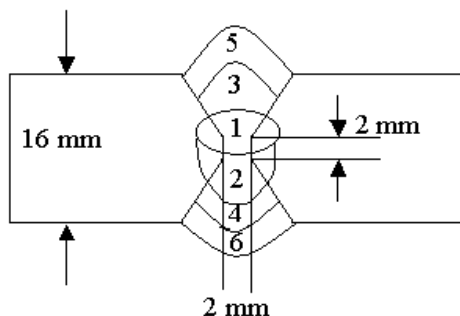


Figure 1. Welding passes of NIOMOL 490K steel
Slika 1. Prolazi pri zavarivanju čelika NIOMOL 490K

As the coefficient of thermal conductivity is important for the calculation of the thermal cycle, for the tested material it is $\lambda = 0.38 \text{ [W / cm}^\circ\text{C]}$, and the coefficient of thermal utilization of the heat source $\eta = 0.6\text{--}0.7$ [5]. By simulating the HAZ, the

cooling time is $\Delta t_8 / 5 = 10\text{s}$. Based on these data, the optimal heat input was calculated. The optimal welding parameters for the MMA and MAG process are shown in Table 5.

Table 5. Parameters of welding processes

Tabela 5. Parametri postupaka zavarivanja

| Base material | Welding process | Electrode | Average voltage, [V] | Average current, [A] | Welding rate, [cm/min] | Heat input [kJ/cm] |
|---------------|-----------------|-----------|----------------------|----------------------|------------------------|--------------------|
| NIOMOL 490 K | MMA | EVb Ni Mo | 28 | 300 | 32 | 15-17 |
| | MAG | VAC 60Ni | 24 | 180 | 20 | 12-15 |

Tensile testing of butt welded joints is defined by standard EN 895: 2008 - Butt welded joints on metallic materials - transverse tensile test [6]. In addition to testing butt-welded joints by transverse and longitudinal tension, this standard also envisages testing of weld metal specimens, i.e. determination of tensile properties of weld metal.

The results of the tensile properties of the butt - welded joints of the butt - welded joint are given in Table 6, and for the tubes extracted from the weld metal are given in Table 7.

Table 6. Results of tensile tests of welded joint specimens

Tabela 6. Rezultati ispitivanja zateznih osobina uzoraka zavarenih spojeva

| Welding process | Filler material | Heat input [kJ/cm] | Tensile properties | |
|-----------------|-----------------|--------------------|-----------------------------|-------------------|
| | | | Welded joint, R_m , [MPa] | Place of fracture |
| MMA | EVb Ni Mo | 15 - 17 | 664 | Base material |
| MAG | VAC 60 Ni | 12-15 | 671 | Base material |

Table 7. Results of tensile properties of weld metal specimens

Tabela 7. Rezultati zateznih osobina uzoraka metala šava

| Welding process | Filler material | Yield stress $R_{p0,2}$, [MPa] | Tensile strength R_m , [MPa] | Elongation A, [%] |
|-----------------|-----------------|---------------------------------|--------------------------------|-------------------|
| MMA | EVb Ni Mo | 548 | 650 | 21 |
| MAG | VAC 60 Ni | 484 | 627 | 24 |



Hardness testing was done according to standards EN 1043-1 and EN 1043-2 [7]. The Vickers method HV 10 was used. The measurement was performed on WOLPERT - V-TESTOR 2. The load was 100 N, and the magnification was 100x.

The scheme of measuring points with graphically displayed hardness values for MMA and MAG procedure is given in Figure 3, the measured hardness values are also given in Table 8.

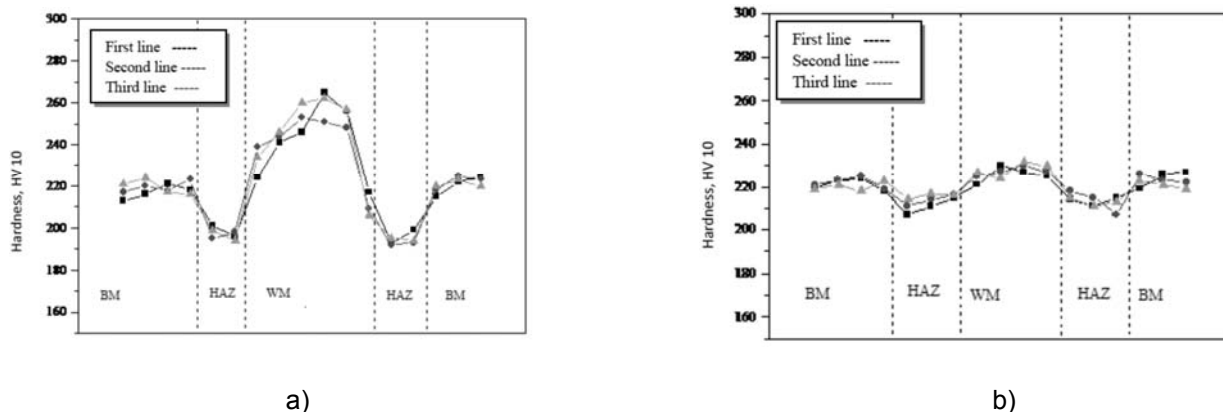


Figure 3. Changes of hardness values in weld cross section for: a) MMA welding process, b) MAG welding process
Slika 3. Promene vrednosti tvrdoće u poprečnom preseku zavarenih spojeva za: a) postupak zavarivanja - MMA, b) postupak zavarivanja - MAG

Table 8. Results of measured hardness

Tabela 8. Rezultati izmerene tvrdoće

| Base metal | Welding process | Filler material | Heat input [KJ/cm] | Hardness [HV 10] | | |
|-------------|-----------------|-----------------|--------------------|------------------|---------|---------|
| | | | | BM | HAZ | WM |
| Niomol 490K | MMA | EVb Ni Mo | 15–17 | 200-225 | 190-200 | 240-265 |
| | MAG | VAC 60 Ni | 11– 15 | 200-224 | 200-215 | 195-230 |

Impact tests of specimens extracted from welded plates were performed in order to determine the total impact energy (i.e., impact toughness). The test procedure itself is defined by EN 875 [8] standards, including the shape and size of the tube

as well as the position of the notch V2, Figure 4. The tests were performed at room temperature, at -20°C and -60°C on an instrumented WOLPERT 300 J Charpy pendulum.

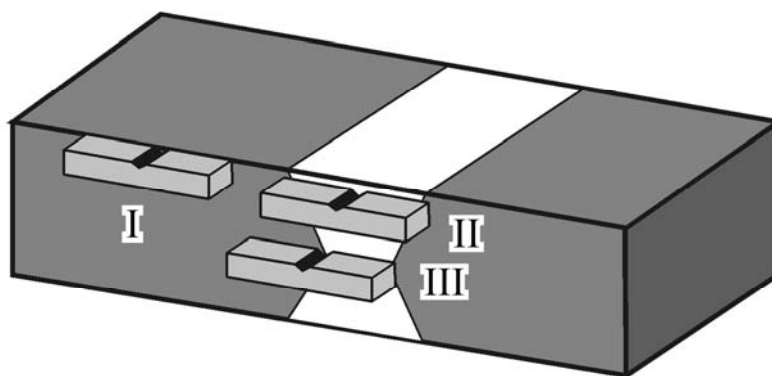


Figure 4. Scheme of extraction of Charpy specimens from the welded joint

Slika 4. Šema isecanja Šarpi uzoraka iz zavarenog spoja

The results of impact tests for notched specimens in BM are given in Table 9, for notched specimens in WM for MMA welding procedure in Table 10, for V-notched specimens in WM for MAG welding procedure in Table 11, for test specimens

with V- notch in the HAZ for the MMA welding procedure in Table 12. and the V-notched specimens in the HAZ for the MAG welding procedure in Table 13.

Table 9. Results of impact tests of V-notched specimens in BM

Tabela 9. Rezultati ispitivanja energije udara uzoraka sa V-zarezom u OM

| Mark specimens | Test temperature, [°C] | Total impact energy, A_{uk} , [J] | Crack initiation energy A_i , [J] | Crack propagation energy A_p , [J] |
|----------------|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| BM-1 | 20 | 264 | 68 | 196 |
| BM-2 | -20 | 155 | 60 | 95 |
| BM-3 | -60 | 116 | 55 | 59 |

Table 10. Results of impact tests of V-notched specimens in WM for MMA procedure

Tabela 10. Rezultati ispitivanja energije udara uzoraka sa V-zarezom u MŠ za MMA proces

| Mark specimens | Test temperature, [°C] | Total impact energy, A_{uk} , [J] | Crack initiation energy A_i , [J] | Crack propagation energy A_p , [J] |
|----------------|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| WM-1 | 20 | 204 | 59 | 196 |
| WM-2 | -20 | 139 | 53 | 86 |
| WM-3 | -60 | 105 | 48 | 57 |

Table 11. Results of impact tests of V-notched specimens in WM for MAG procedure

Tabela 11. Rezultati ispitivanja energije udara uzoraka sa V-zarezom u MŠ za MAG postupak

| Mark specimens | Test temperature, [°C] | Total impact energy, A_{uk} , [J] | Crack initiation energy A_i , [J] | Crack propagation energy A_p , [J] |
|----------------|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| WM-1 | 20 | 168 | 49 | 119 |
| WM-2 | -20 | 118 | 43 | 75 |
| WM-3 | -60 | 55 | 38 | 17 |



Table 12. Results of impact tests of V-notched specimens in HAZ for MMA procedure

Tabela 12. Rezultati ispitivanja energije udara uzoraka sa V-zarezom u ZUTu za MMA proces

| Mark specimens | Test temperature, [°C] | Total impact energy, A_{uk} , [J] | Crack initiation energy A_i , [J] | Crack propagation energy A_p , [J] |
|----------------|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| HAZ-1 | 20 | 162 | 55 | 107 |
| HAZ-2 | -20 | 101 | 48 | 43 |
| HAZ-3 | -60 | 46 | 35 | 11 |

Table 13. Results of impact tests of V-notched specimens in HAZ for MAG procedure

Tabela 13. Rezultati ispitivanja energije udara uzoraka sa V-zarezom u ZUT za MAG proces

| Mark specimens | Test temperature, [°C] | Total impact energy, A_{uk} , [J] | Crack initiation energy A_i , [J] | Crack propagation energy A_p , [J] |
|----------------|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| HAZ-1 | 20 | 172 | 58 | 114 |
| HAZ-2 | -20 | 109 | 51 | 58 |
| HAZ-3 | -60 | 68 | 44 | 24 |

The dependence of the total impact energy, E_{uk} , on the test temperature and the notch incision site

is given in the diagram in Figure 7, for the notched specimens in BM, WM and HAZ.

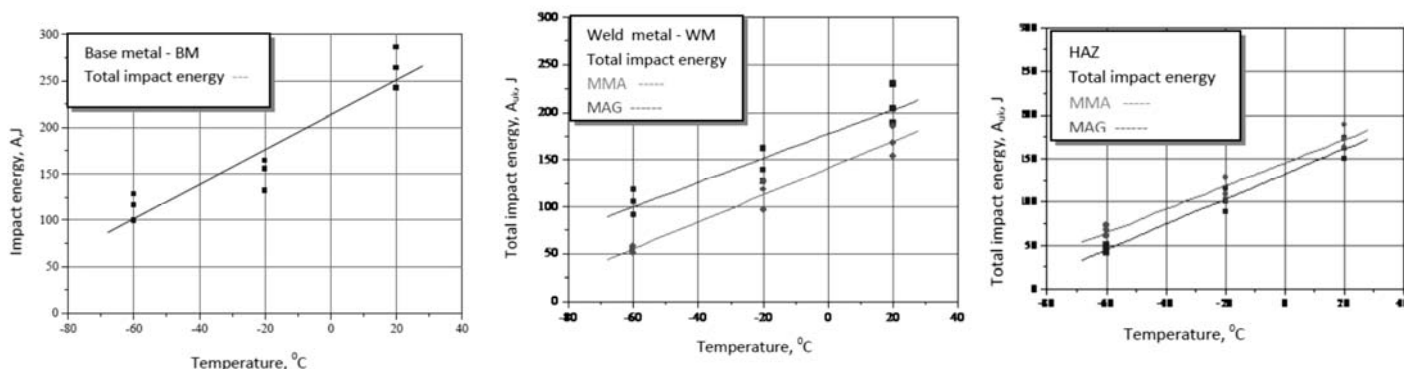


Figure 7. Dependence of E_{uk} on test temperature for V-notched tubes in BM, WM and HAZ

Slika 7. Zavisnost E_{uk} od ispitne temperature za cevi sa V-zarezom u OM, MŠ i ZUT

Based on the measurement of the total impact energy (impact toughness), in most cases, it is not possible to find out how the work spent on elastic and plastic deformation of the sample until the crack is formed decreases with temperature. This fundamental lack of impact toughness can to some extent be overcome by dividing the impact

toughness by the crack generation energy E_i , and the crack propagation energy or fracture energy E_p .

The influence of the test temperature and the location of the V-notch on the values of the crack initiation energy E_i , and the crack propagation energy E_p are shown in the diagram, Figure 8.

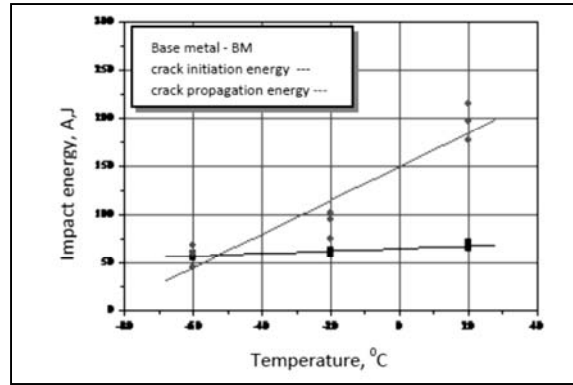


Figure 8. Relationship of crack initiation energy, A_i , and crack propagation energy, A_p in total impact energy, A_{uk} in the base metal

Slika 8. Odnos energije inicijacije prsline, A_i i energije širenja prsline, A_p u ukupnoj energiji udara, A_{uk} u osnovnom metalu

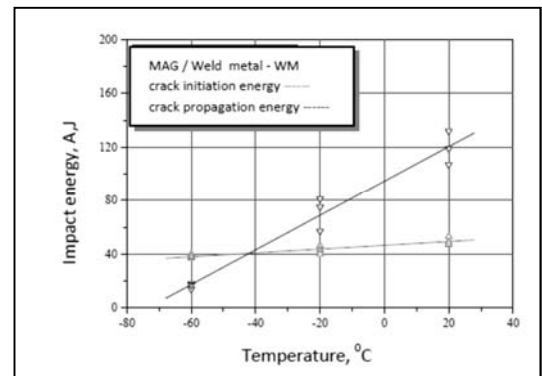
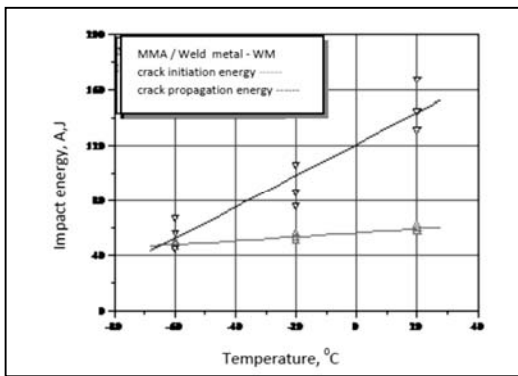


Figure 9. Relationship of crack initiation energy, A_i , and crack propagation energy, A_p in total impact energy, A_{uk} for weld metals for MMA and MAG welding process

Slika 9. Odnos energije inicijacije prsline, A_i i energije širenja prsline, A_p u ukupnoj energiji udara, A_{uk} za metale šavova za MMA i MAG procese zavarivanja

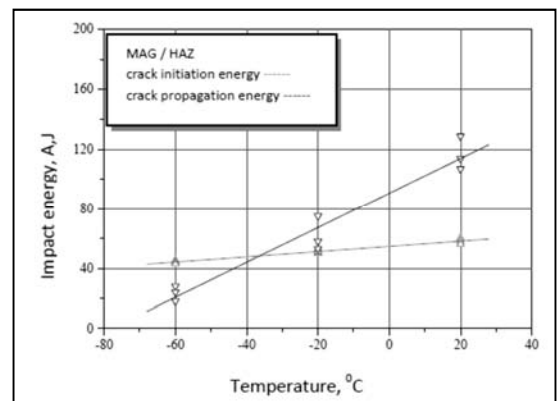
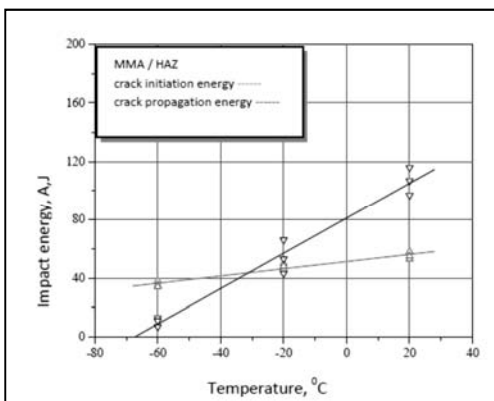


Figure 10. Relationship of crack initiation energy, A_i , and crack propagation energy, A_p in total impact energy, A_{uk} in HAZ for MMA and MAG welding process

Slika 10. Odnos energije inicijacije prsline, A_i i energije širenja prsline, A_p u ukupnoj energiji udara, A_{uk} u ZUTu za MMA i MAG procese zavarivanja

3. Conclusion

Based on the obtained results we can conclude:

The tensile test results of the welded joint, Table 6, indicate that all tested tubes cracked in the base

material, the strength of the weld metal is higher than the strength of the base material. The obtained tensile strength values range from 664MPa for samples where the MMA welding



process was used and 671MPa for samples where the MAG welding process was used.

By testing the specimens taken out of the WM, it can be seen that the test results of the test specimens in the MMA welding process are 5 to 15% better than in the test specimens of the MAG welding process. Elongation shows a slightly different dependence. Namely, it increases with the MAG procedure and amounts to 24%, compared to the MMA procedure where the obtained values are on average 21%.

The results of cross-sectional hardness measurements, Table 8, indicate different properties of BM, WM and HAZ. Weld metal, WM, has the highest value of hardness since the strength of the weld metal is higher than the strength of the base material. Slightly lower measured hardness is in BM, and HAZ has the lowest measured hardness value.

Comparing the results obtained by MMA and MAG welding process, it can be seen that the joint obtained by MAG welding process has better toughness, which shows higher resistance to cracking and higher fracture toughness.

Based on the results of impact tests, Tables 9 - 13, it can be concluded that the heterogeneity of the structure accompanied by different mechanical properties of individual areas of the welded joint

3. Zaključak

Na osnovu dobijenih rezultata možemo zaključiti:

Rezultati ispitivanja zatezanja zavarenog spoja, tabela 6, pokazuju da su sve ispitivane cevi napukle u osnovnom materijalu, čvrstoća metala šava je veća od čvrstoće osnovnog materijala. Dobijene vrednosti zatezne čvrstoće se kreću od 664MPa za uzorke gde je korišćen MMA proces zavarivanja, i 671MPa za uzorke gde je korišćen MAG proces zavarivanja.

Ispitivanjem uzoraka izvađenih iz MŠ-a može se videti da su rezultati ispitivanja uzoraka u procesu MMA zavarivanja za 5 do 15% bolji u odnosu na ispitne primerke MAG procesa zavarivanja. Izduženje pokazuje nešto drugačiju zavisnost. Naime, raste kod MAG procesom i iznosi 24%, u poređenju sa MMA procesom gde su dobijene vrednosti u proseku 21%.

Rezultati merenja tvrdoće poprečnog preseka, tabela 8, ukazuju na različita svojstva OM, MŠ i ZUTa. Metal šava, MŠ, ima najveću vrednost tvrdoće jer je čvrstoća metala šava veća od čvrstoće osnovnog materijala. Nešto niža izmerena

affects the values of the total impact energy. This especially refers to the obtained values of the total impact energy in the HAZ, which are about 8 to 12% lower than the obtained values for BM and WM. These differences are also related to the chosen welding technology. Namely, slightly higher value of the total impact energy has V-notched tubes in WM and HAZ in MMA procedure compared to MAG welding process.

The greatest influence on the values of the total impact energy, as well as on the components, energy of crack formation and crack propagation energy, then, on the fracture mechanism and the appearance of fracture surfaces has the test temperature, because it is closely related to plastic properties of the tested material. The decrease in temperature favours the formation of a brittle state and is particularly pronounced in this type of steel and welded joint as a typical heterogeneous structure. The total impact energy, Euk decreases with decreasing test temperature successively from room temperature to -60 °C in all groups of specimens (WM, HAZ, BM). The influence of the test temperature is greatest in V-notched specimens in WM, because the heterogeneity of the structure is greatest here.

tvrdća je u OM, a ZUT ima najmanju izmerenu vrednost tvrdoće.

Upoređujući rezultate dobijene MMA i MAG postupkom zavarivanja, vidi se da spoj dobijen MAG postupkom ima bolju žilavost, što pokazuje veću otpornost na pucanje i veću žilavost loma.

Na osnovu rezultata ispitivanja energije udara, tabele 9 - 13, može se zaključiti da heterogenost konstrukcije praćena različitim mehaničkim svojstvima pojedinih područja zavarenog spoja, utiče na vrednosti ukupne energije udara. Ovo se posebno odnosi na dobijene vrednosti ukupne energije udara u ZUTu, koje su za oko 8 do 12% niže od dobijenih vrednosti za OM i MŠ. Ove razlike se odnose i na izabranu tehnologiju zavarivanja. Naime, nešto veću vrednost ukupne energije udara imaju cevi sa V-zarezom u MŠ i ZUTu kod MMA procesa u odnosu na MAG proces zavarivanja.

Najveći uticaj na vrednosti ukupne energije udara, kao i na komponente, energiju nastanka prsline i energiju širenja prsline, zatim na mehanizam loma i izgled površina loma ima temperatura ispitivanja, jer je usko povezana sa plastičnim svojstvima ispitivanog materijala.



Smanjenje temperature pogoduje formiranju krto stanja i posebno je izraženo kod ovog tipa čelika i zavarenog spoja kao tipične heterogene strukture. Ukupna energija udara, Euk, opada sa opadanjem ispitne temperature sukcesivno od sobne

temperature do -60°C u svim grupama uzoraka (OM, ZUT, MŠ). Uticaj ispitne temperature je najveći kod uzoraka sa V-zarezom u MŠ, jer je heterogenost strukture najveća ovde.

References / Literatura

[1] Manjgo, M., Medjo, B., Milović, L., Rakin, M., Burzić, Z., & Sedmak, A. (2010). Analysis of welded tensile plates with a surface notch in the weld metal and heat affected zone. *Engineering Fracture Mechanics*, 77(15), 2958-2970.

[2] V.Grabulov, Z.Burzić, M.Burzić, S. Perković, M.Manjgo, (2017): Testing of Impact properties of Welded Joints by notched and precracked specimens, 9. Int. Scientific professional Conf. SBW 2017, Engineering Technologies in Manufacturing of Welded Constructions and Products, Slavonski Brod, 25.-27.10.2017.

[3] High Strength Low Alloyed Steels, ACRONI Jesenice

[4] JUS C.T3.030 - Tehnika varenja metala. Oblici i dimenzije žlebova za zavarivanje čelika topljenjem

[5] Hrivnjak I. (1982), Zavarljivost čelika, IRO "Građevinska knjiga" Beograd

[6] EN 895: (2008), Welded butt joints in metallic materials - Transverse tensile test

[7] EN 1043-1: (2012): Destructive tests on welds in metallic materials - Hardness testing - Part 1: Hardness test on arc welded joints i EN 1043-2: Destructive tests on welds in metallic materials - Hardness test - Part 2: Micro hardness testing on welded joints

[8] EN 875 (1995): Destructive Tests on Welds in Metallic Materials - Impact Tests - Test Specimen Location, Notch Orientation and Examination

Članstvo u strukovnoj asocijaciji DUZS

je referenca za Vaš profesionalni status

Članarina za 2023. godinu je 3500,00 dinara

Uplatom članarine stičete pravo na beneficirane cene pretplate časopisa (strana MARKETING)

Tekući račun DUZS: 325-9500600002588-46

Informacije



+ 381 (11) 2420-652 (10-16 h)



duzs011@gmail.com

www.duzs.org.rs



OSNIVAČKA SKUPŠTINA BiH DRUŠTVA ZA ZAVARIVANJE

Osnivačka Skupština BiH Društva za zavarivanje održana je 23.12.2022. godine u Tuzli, u prostorijama Instituta za zavarivanje d.o.o. Tuzla. Na osnivačkoj Skupštini prisustvovalo je 48 članova iz cele Bosne i Hercegovine. Skupštinom je predsedavao prof.dr.Sead Pašić.

Na osnivačkoj Skupštini su izabrani organi Društva: Upravni odbor, Predsednik Skupštine, Sekretar, a za predsednika Društva jednoglasno je izabran Namik Džibrić - IWE. Skupštini se obratio putem video linka dr. Vencislav Grabulov, koji je u ime Društva za unapređivanje zavarivanja u Srbiji i DUZS CertPers-a (Nominovanog tela za ovlašćivanje u oblasti obrazovanja kadrova u zavarivanju po pravilima Međunarodnog instituta za zavarivanje) pozdravio prisutne i pozeleo uspešan rad BiH Društva za zavarivanje.

U međuvremenu je izvršena i registracija Društva kod Ministarstva pravde BiH u skladu sa pozitivnim zakonskim propisima čime je nastavljen kontinuitet rada Društva za zavarivanje.

Jedna od prvih, a u ovom trenutku i najvažnija aktivnost BiH Društva za zavarivanje je orgnaizacija naučno - stručnog skupa. Društvo je počelo sa pripremama naučno – stručne konferencije, koja je planirana da se održi u Sarajevu od 25. do 27.10.2023. godine pod nazivom "ZAVARIVANJE SPAJA". To bi bila 2. konferencija sa međunarodnim učešćem. Uskoro treba očekivati i prvi informativni poziv za učešće i dostavu radova. Ova vest bi trebalo da bude i poziv svim zainteresovanim da se pripreme i planiraju da dođu u BiH i Sarajevo, grad sa posebnom energijom.

Domaćini i organizatori ovog skupa uz pozdrave poručuju da su dobrodošli svi koji su na bilo koji način uključeni u zavarivačku zajednicu ili su deo iste.



Radno predsedništvo Skupštine, Predsedavajući osnivačke Skupštine prof.dr Sead Pašić



Deo prisutnih na osnivačkoj Skupštini BiH Društva za zavarivanje



Prof dr Sead Avdić se obraća Skupštini

Autori vesti: Sead Avdić i Vencislav Grabulov



Mića Đorđević^{1,a}, Dragan Đorđević¹, Vladimir Đorđević¹

SANACIJA RADNOG KOLA CENTRIFUGALNE PUMPE OD CIRKONIJUMA

REPAIR OF CENTRIFUGAL PUMP WORKING WHEEL MADE OF ZIRCONIUM

Stručni rad / Professional paper

Rad primljen / Paper received:

Juli 2022.

Rad prihvaćen / Paper accepted:

Januar 2023.

Ključne reči: navarivanje, legure Zr, radno kolo

Rezime

Cirkonijum i legure cirkonijuma imaju svoju glavnu primenu u hemijskoj industriji kao konstrukcioni materijal otporan na koroziju, obzirom da pokazuje odličnu otpornost u većini agresivnih sredina, kao što su organske i neorganske kiseline, rastvori soli, jake alkalije i neki rastopi soli. Neki od važnijih delova opreme u hemijskoj procesnoj industriji u kojima se cirkonijum i njegove legure koriste obuhvataju isparivače, rezervoare, reaktorske posude, pumpe, ventile i cevi. Imajući uvidu značaj i visoku cenu takvih delova, reparaturno zavarivanje zauzima značajno mesto u održavanju takve opreme.

U ovom radu je prikazana tehnologija reparaturnog navarivanja radnog kola centrifugalne pumpe u pogonu za proizvodnju sirćetne kiseline, koje je izrađeno od livene legure zirconiuma Zr 702. U okviru istraživanja izvršena je analiza osnovnog i dodatnog materijala za proces reparaturnog navarivanja, definisani su oprema, parametri i uslovi navarivanja. Radi provere predložene tehnologije izvršena su probna navarivanja i na osnovu dobijenih dobrih rezultata izvršeno je i reparaturno navarivanje radnog kola centrifugalne pumpe. Kvalitet obavljene reparaure proveren je vizuelnom kontrolom i kontrolom penetrantima i konstatovano je da navar zadovoljava nivo kvaliteta prema standardu SPRS EN ISO 5817 "B". Kao potvrda dobro definisane tehnologije i uspešno izvedene reparaure, je činjenica da je reparirano radno kolo u procesu proizvodnje već 8 godina.

Adresa autora / Author's address:

¹Tehweld d.o.o. Loznica
Italijanskih dobrovoljaca 7
15300 Loznica, Srbija

Email: ^a tehweld@yahoo.com

Keywords: surfacing, Zr alloys, working wheel.

Abstract

Zirconium and zirconium alloys have their main application in the chemical industry as a corrosion-resistant construction material, since it shows excellent resistance in most aggressive environments such as organic and inorganic acids, salt solutions, strong alkalis and some molten salts. Some of the more important pieces of equipment in the chemical process industry where zirconium and its alloys are used include evaporators, tanks, reactor vessels, pumps, valves and piping. Considering the importance and high cost of such parts, repair welding occupies a significant place in maintaining such equipment.

This paper presents the technology of repair welding of the centrifugal pump working wheel in the plant for the production of acetic acid. It is made of cast zirconium alloy Zr 702. Within the framework of the research, an analysis of the basic and filler material for the repair welding process was performed, and welding parameters and conditions were defined. In order to verify the proposed technology, trial welding was performed and based on the good results obtained, repair welding of the working wheel of the centrifugal pump was performed. The quality of the performed repair was checked by visual control and penetrant control, and it was found that the surfaced layer meets the quality level according to the SPRS EN ISO 5817 "B" standard. The fact that the repaired working wheel has been in the production process for 8 years, is a proof of well-defined technology and successfully performed repairs.



1. Uvod

Radno kolo centrifugalne pumpe u pogonu za proizvodnju sirćetne kiseline izrađeno je od livenog materijala, legure zirkonijuma Zr 702, koja je definisan standardom ASTM B752 Gr.702 [1]. Zbog radnih uslova dolazi do erozije glavčine radnog kola. Da bi se ista sačuvala, na glavčinu se navlači habajući prsten izrađen od legure zirkonijuma 705. Pošto je u toku višegodišnje eksploatacije došlo do značajnih oštećenja usled korozije na glavčini, nije više mogao da se i dalje navlači habajući prsten. Usled toga, moralo se pribeći navarivanju pohabane površine glavčine i mašinskoj obradi na zadatu meru. Osnovne karakteristike i radni uslovi radnog kola su:

Materijal radnog kola: Zirconium 702

Dimenzije radnog kola: Ø 394 x 115

Dimenzije rukavca za obradu: Ø 168,5 x 22

Broj obrtaja: $n = 3600^\circ/\text{min}$

Radna temperatura: $t = 128^\circ\text{C}$

Radna sredina: voda 18%, sirćetna kiselina 79%, jod 2,67%, metil-jodid 0,37%, čvrste čestice radijuma 331 ppm-a.

1.1. Osobine legura Zr 702 i Zr 705

U prirodi je cirkonijum rasprostranjen i često ide u kombinaciji sa hafnijumom. Legura Zr 702 je legura cirkonijuma (Zr) i hafnijuma (Hf), pri čemu je težinski odnos Zr 95,5% - 99,2%, a sadržaj hafnijuma (Hf) je do 4,5%, dok je legura Zr 705 dodatno legirana niobijumom, čime se povećava čvrstoća i plastičnost. Prisustvo hafnijuma u leguri ne utiče bitno na fizičke, mehaničke i korozione osobine. On je nepoželjan u nuklearnim postrojenjima jer ima veliki poprečni presek za apsorpciju termičkih neutrona obzirom da je oko 570 puta veći od zirkonijuma. Čist cirkonijum je znatno skuplji od legura Zr 702 i Zr 705, jer je teško izdvojiti hafnijum, zbog sličnih hemijskih osobina. Cirkonijum se najčešće legira sa kalajem (Sn) i niobijumom (Nb), radi povećanja korozivnih i mehaničkih svojstava i takve legure imaju primenu u nuklearnim elektranama. [2, 3]

Legura Zr 702 je ekonomski isplativa, pa se upotrebljava za izradu delova gde je potrebna dobra otpornost na koroziju u agresivnim sredinama i dobre mehaničke osobine. Tipičan hemijski sastav legura Zr 702 i Zr 705 prikazan je u Tabeli 1, a mehaničke osobine prikazane su u Tabeli 2 [4].

Tabela 1. Tipičan hemijski sastav legura Zr 702 i Zr 705

Table 1. Typical chemical compositions of Zr 702 i Zr 705 alloys

| Legura | Zr+Hf min. | Hf max. | Fe+Cr max. | Sn | H ₂ max | N ₂ max. | C max. | Nb (Cb) | O ₂ max. |
|--------|---------------|------------|---------------|----|-----------------------|------------------------|-----------|---------|------------------------|
| Zr 702 | 99,2% | 4,5% | 0,20% | - | 0,005% | 0,025% | 0,05% | - | 0,16% |
| Zr 705 | 95,5% | 4,5% | 0,20% | - | 0,005% | 0,025% | 0,05% | 2-3% | 0,18% |

Tabela 2. Tipične mehaničke osobine Zr702 i Zr705 legura na sobnoj i na povišenim temperaturama

Table 2. Typical mechanical properties of Zr702 i Zr705 alloys on room and elevated temperatures

| | Sobna temp. | Povišena temp. 93°C | Povišena temp. 149°C | Povišena temp. 204°C | Povišena temp. 260°C | Povišena temp. 316°C | Povišena temp. 371°C |
|--------------------------|----------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Zr 702 | | | | | | | |
| Zatezna čvrstoća, MPa | 468.1 | 364.0 | 303.7 | 229.6 | 200.6 | 197.9 | 156.5 |
| Granica tečenja, MPa | 321.1 | 267.5 | 195.8 | 139.3 | 128.9 | 97.2 | 82.0 |
| Izduženje, % | 28.9 | 31.5 | 42.5 | 49.0 | 49.0 | 40.1 | 44.1 |
| Zr 705 | | | | | | | |
| Zatezna čvrstoća, MPa | 615.0 | 494.7 | 388.9 | 369.3 | 326.1 | 299.7 | 281.0 |
| Granica tečenja, MPa | 506.1 | 390.7 | 272.3 | 261.8 | 195.8 | 190.2 | 173.0 |
| Izduženje, % | 18.8 | 30.5 | 31.7 | 33.0 | 28.9 | 29.0 | 27.8 |



Legura Zr 702 je kao i čist Zr reaktivna (hemijski jaka aktivnost) i poseduje veliki afinitet prema gasovima: O_2 , N_2 , CO_x i H_2 . Zavisnost apsorpcije gasova od temperature prikazana je u Tabeli 3 [3]. Zr se lako vezuje sa kiseonikom. Pri sobnoj temperaturi i kontrolisanom procesu zagrevanja stvara se zaštitni pasivizirani sloj ZrO_2 koji ga štiti od dalje korozije. Pasivizirani sloj stvoren na sobnoj

temperaturi štiti cirkonijum od uticaja svih gasova iz vazduha sve do $200^\circ C$. Pri daljem zagrevanju dolazi do reakcije sa pojedinim gasovima. Ako se proces odvija kontrolisano, brzina oksidacije se povećava, kao i debljina zaštitnog sloja, a povećava se i otpornost na eroziju i koroziju u određenim agresivnim sredinama [4].

Tabela 3. Zavisnosti apsorpcije gasova kod Zr od temperature [5]

Table 3. Dependence of gas absorption in Zr on temperature [5]

| metal | Temperatura reakcije gasa $^\circ C$ | | | | | Temperatura pri oksidaciji $^\circ C$ | | |
|-------|--------------------------------------|-------|-------|--|----------|---------------------------------------|--------------|-----------|
| | H_2 | O_2 | N_2 | Obrazovanje karbida, borida i silicida | H_2O | logaritamskoj | paraboličnoj | linearnoj |
| Zr | > 300 | > 250 | >600 | >1000 | >200-250 | <200 | 200-900 | >900 |

Logaritamska i parabolična oksidacija označava da se proces odvija sporo i da se zaštitni film obrazuje usporeno. Linearna oksidacija znači da proces protiče konstantnom brzinom što dovodi do zasićenja cirkonijuma kiseonikom. Posledica linearne oksidacije je krtost metala [5]. Cirkonijum na temperaturi $865^\circ C$ menja kristalnu strukturu iz heksagonalne, α – modifikacija, u β – modifikaciju sa kubnom kristalnom strukturom, stabilnom iznad $865^\circ C$.

Zbog navedenih osobina sasvim je opravdano što je radno kolo centrifugalne pumpe u pogonu za proizvodnju sirćetne kiseline izrađeno od legure Zr 702.

1.2. Zavarljivost Zr i Zr legura

Cirkonijum i cirkonijumove legure su dobro zavarljive, ali kao i kod svih reaktivnih materijala moraju se preduzeti odgovarajuće mere, kao što je zaštita od uticaja spoljne atmosfere na zavarivačku kupku i na zagrejani deo metala na temperaturama iznad $300^\circ C$. To se ostvaruje zavarivanjem u vakuumu ili u inertnoj atmosferi argona, helijuma ili njihove mešavine. Zaštita može da bude opšta, u komorama - u zvonu - Slika 2 ili lokalna uz primenu naprava - alata, „tragova“ za dodatnu zaštitu metala šava i ZUT-a, što je prikazano na Slici 3. Debljine ispod 12 mm zahtevaju i tercijalnu zaštitu, odnosno zaštitu korene strane, alatom koji je prikazan na Slici 4.



Slika 2. Komora za zavarivanje dimenzija 450 x 450 x 600mm

Figure 2. Welding chamber with dimensions 450 x 450 x 600mm



Slika 3. Alat – trag za sekundarnu zaštitu metala šava i ZUT-a

Figure 3. Tool - trace for secondary protection of weld metal and HAZ



Slika 4. Alat za zaštitu korena vara

Figure 4. Weld root protection tool

Pri zavarivanju je vrlo važna brzina hlađenja, od temperature fazne transformacije kristalne rešetke $\beta \rightarrow \alpha$ (865 °C) do neke temperature kada je kristalna struktura završila svoje formiranje. Ako je brzina hlađenja velika, pojaviće se β struktura koja je tvrda i krta i koja može da izazove pojavu hladnih prslina. Ako je vreme hlađenja predugo, stvoriće se krupnozrnasta struktura, widmanštetenova (widmanstälten) struktura. Ona ima povećanu tvrdoću i krtost, što takođe izaziva pojavu hladnih prslina. Optimalna brzina hlađenja je negde između minimalne i maksimalne vrednosti, a to se može izračunati preko relacija za vreme hlađenja, $t_{9/3}$ ili korišćenjem nomograma ili TTT dijagrama [6-9].

Čistoća je preduslov za kvalitetno izvedeno zavarivanje. Čistoća podrazumeva čistoću osnovnog metala, dodatnog materijala i okoline, kao i svih stvari koje dolaze u dodir i učestvuju u stvaranju šava.

Posebna pažnja se mora obratiti na moguću pojavu poroznosti i prslina nakon zavarivanja. Poroznost nastaje usled unosa vodonika u kupku iznad granice rastvorljivosti zajedno sa apsorbovanom vlagom sa ivica žleba koji se zavaruje ili na žici – dodatnom materijalu. Poroznost se smanjuje ili eliminiše primenom osnovnog metala i dodatnog materijala sa smanjenim sadržajem vodonika, a ako to nije moguće, što je najčešći slučaj, onda treba pažljivo pripremiti osnovni metal i mašinski formirati žleb bez zarez. Žleb i okolinu je potrebno pažljivo očistiti i odmastiti. Takođe i žica - dodatni materijal treba da bude brižljivo očišćen. Poroznost može da nastane i zadržavanjem mehurića inertnog gasa u kupki tokom kristalizacije, što se rešava smanjenjem brzine protoka zaštitnog gasa, tj. izborom optimalnog protoka. I apsorbovani ugljenik na površini koja se zavaruje može da izazove poroznost.

Moguća je pojava hladnih prslina, uglavnom izazvanih vodonikom koji je apsorbovan preko mere zasićenja cirkonijuma. Takođe, usled loše zaštite, moguće je prekomerno dejstvo gasova (O_2 , N_2 , CO_x) koje utiče na krtost, pad plastičnosti i lom. Zato je potrebno da se ostvari zaštita od uticaja spoljne atmosfere primenom odgovarajuće šobe, dodatka (alata „traga“) iza šobe i naprave za zaštitu korena. Šoba treba da je široka, profilisana, a poželjno je da ima ugrađeno sito koje će osigurati laminarni protok zaštitnog gasa - argona. Argon treba da je velike čistoće (Ar 5,5). Žleb i okolina potrebno je da se očiste alkoholom, kao i žica – dodatni materijal. Zavarivač treba da ima čiste, nove, bele rukavice. Pojava toplih prslina nije svojstvena cirkonijumu ni legurama cirkonijuma.

Usled neadekvatnog termičkog ciklusa u toku zavarivanja može doći do termofizičkih dejstava koja mogu izazvati pregrevanje, porast zrna, izdvajanje krtih faza, stvaranje widmanštetenove strukture, a sve to pogoduje stvaranju prslina. Termo-fizički procesi u toku zavarivanja su u funkciji brzine hlađenja, pa je potrebno izračunati vreme hlađenja $t_{9/3}$ ($t_{865/300}$). Da bi se odredilo vreme hlađenja $t_{9/3}$ potrebno je prvo da se izračuna granična debljina prema formuli za d_{gr} . Ukoliko je stvarna debljina manja od izračunate granične vrednosti, za izračunavanje unosa toplote koristi se dvodimenziona analitička jednačina, u suprotnom primenjuje se trodimenioni model. Izračunavanje granične debljine materijala, d_{gr} , izvršeno je prema jednačini:

$$d_{gr} = \sqrt{\frac{Q}{2\rho \cdot c} \left(\frac{1}{300 - T_0} + \frac{1}{865 - T_0} \right)} \quad [\text{mm}] \quad (1)$$

gde je:

Q – unešena energija, $Q = U \cdot I \cdot \varepsilon$ [W], $\left[\frac{J}{s} \right]$

T_0 – početna temperatura OM, [K]



d – stvarna debljina za navarivanje, [mm], korišćeno je: d = 3-6,5mm

I – struja navarivanja [A], odabrano: $I_z = 100A$

U – napon zavarivanja [V], korišćeno je: $U_z = 14V^*$

*Napon se izračunava prema empirijskom obrascu na osnovu odabrane jačine struje I_z , za invertorski aparat: $U = 10 + 0,04 \times I_z = 10 + 0,04 \times 100 = 14V$

ε - koeficijent toplotne efikasnosti za TIG, $\varepsilon = 0,6-0,65$

v - brzina navarivanja/zavarivanja, [mm/s]**

**određeno eksperimentalno: $v = 175$ [mm/min] $\approx 2,9 - 3$ [mm/s]

$$\rho - \text{gustina} = 6,51 \text{ g/cm}^3 = 6,51 \cdot 10^3 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$c - \text{specifična toplota} = 284 \left[\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right]$$

Rešavanjem gornjeg izraza dobija se da je $d_{gr} > d_s$, pa se primenjuje dvodimenzioni model za izračunavanje temperature hlađenja od temperature fazne transformacije, $t = 865^\circ\text{C}$, do završetka procesa, $t = 300^\circ\text{C}$, pa je primenjena jedna (2) za proračun vremena hlađenja:

$$t_{865/300} = \frac{Q^2}{4\pi\lambda\rho cd^2} \cdot \left(\frac{1}{(300-T_0)^2} - \frac{1}{(865-T_0)^2} \right) \quad (2)$$

U proračunu u jednačini (2) su korišćeni sledeći podaci:

$$Q = \frac{UI}{v} \varepsilon; T_0 = 60^\circ\text{C}; v = 4 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{s}}; U = 14,8\text{V}; I = 120\text{A}; d = 6,5\text{mm} = 6,5 \cdot 10^{-3}\text{m},$$

pa je:

$$Q = \frac{14,8 \cdot 120}{4 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,65 = 288,6 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{m}} \rightarrow Q^2 = 8,33 \cdot 10^{10} \frac{\text{J}^2}{\text{m}^2}$$

$$10^{10} \frac{\text{J}^2}{\text{m}^2}$$

$$t_{865/300} =$$

$$\frac{8,329 \cdot 10^{10} \frac{\text{J}^2}{\text{m}^2}}{4 \cdot 3,14 \cdot 22 \frac{\text{J}}{\text{ms} \cdot \text{K}} \cdot 6,51 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10^3 \cdot 284,7 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (6,5 \cdot 10^{-3})^2 \cdot \text{m}^2} \cdot \left(\frac{1}{(300-60)^2} - \frac{1}{(865-60)^2} \right)$$

Dobijeno je vreme hlađenja:

$$t_{865/300} = \frac{8,33 \cdot 10^9 \frac{\text{J}^2}{\text{m}^2}}{21,6 \cdot 10^3 \frac{\text{J}^2}{\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{K}^2}} \cdot 1,58 \cdot 10^{-5} = \frac{131,6 \cdot 10^9 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-5}}{21,6 \cdot \frac{1}{\text{s}}} = 60,9\text{s}$$

1.3. Odabir dodatnog materijala

Legura Zr 702 se zavaruje uspešno identičnim dodatnim materijalom, a može da se upotrebi i legura Zr 705 koja ima 2-3% niobijuma i kompatibilna je sa legurom Zr 702. Za predviđena zavarivanja izabran je dodatni materijal Zr 705. Razlika pri upotrebi jednog ili drugog dodatnog materijala, je u tome što nanošenjem istorodne legure na osnovni materijal nije potrebna naknadna termička obrada radi relaksacije zaostalih napona, a pri upotrebi legure Zr 705 kao dodatnog materijala preporučuje se termička obrada na temperaturi 565°C u trajanju 30 – 60 minuta. Pored relaksacije zaostalih napona poboljšavaju se i antikorozijske osobine. Termička obrada se može raditi u vakuumskim pećima ili pećima ispunjenim inertnim gasom, a može da bude i blago oksidirajuća sredina i tada se postiže kontrolisana površinska oksidacija. Trajanje temperaturnog tretmana je 4 – 6h, pri čemu se postiže površinska tvrdoća oko 47 HRC, pri čemu se osim povećanja tvrdoće, povećava i otpornost na koroziju. U svakom slučaju, termička obrada omogućava oslobađanje od vodonika i na taj način se izbegava mogućnost pojave hladnih zaostalih prslina. Termička obrada treba da se obavi u roku do 14 dana po završetku zavarivanja [7].

2. Eksperimentalni deo

2.1. Probna navarivanja

Na ploči cirkonijuma Zr 702, dimenzija $110 \times 250 \times 6,5$ mm izvršeno je probno navarivanje u jednom sloju TIG-postupkom, žicom Zr 705 prečnika 2 mm. Debljina nanetog sloja je 2 mm, dimenzije navara su bile 60×200 mm. Parametri navarivanja prikazani su Tabeli 4. Nakon navarivanja izvršena je vizuelna kontrola i merenje tvrdoće.

Tabela 4. Parametri probnog navarivanja

Table 4. Parameters of trial surfacing

| Jačina struje navarivanja I_z , [A] | Napon U, [V] | Udaljenost vrha W-igle h, [mm] | Protok Ar [l/min] | | | Netopiva elektroda | Vreme hlađenja, [s] | Dimenzija dod. mater. (žice) Zr 705 [mm] |
|---------------------------------------|--------------|--------------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--|
| | | | Primarna zaštita | Sekundarna zaštita | Tercijalna zaštita | | | |
| 120 | 14,8 | 3 | 12 | 10 | 9 | W La2 Ø 2,4 | 60 | Ø 2 |



2.2. Izvođenje navarivanja radnog kola

Priprema osnovnog materijala obuhvatala je sledeće korake: pranje acetonom radi odstranjivanje masnoće, pranje alkoholom radi odstranjivanja vlage i četkanje četkom od prohroma radi odstranjivanja površinskog oksida.

Primarna zaštita procesa navarivanja, odnosno zaštita kupke vršena je keramičkom šobom prečnika 19mm. Pri zavarivanju cevi prečnika iznad 500 mm alat za sekundarnu zaštitu je ravan, a kada je prečnik manji od 500 mm, alat se prilagođava radijusu, lučnog je oblika. U našem slučaju navarivao se prečnik 168 mm. Alat je izrađen od nerđajućeg čelika sa umetnutom mrežicom koja je obezbeđivala laminaran tok argona. Posebna pažnja je posvećena vezi alata sa keramičkom šobom da ne bi došlo do turbulencije između primarne i sekundarne zaštite. Dimenzije alata su: dužina 80 mm, širina 25 mm i prethodno je prikazana na Slici 3. Zbog male debljine osnovnog materijala, morala je da se zaštititi i površina ispod navarivanja za šta je napravljen alat sa tercijalnom zaštitom za kružni otvor od Ø160 mm. Dužina tog

alata je 100 mm, a širina 30mm. Izgled alata dat je na Slici 4.

Masa zavarivačkog uređaja je bila priključena direktno na radno kolo. Temperatura tokom procesa je kontrolisana digitalnim IC termometrom i kontaktnim sondama postavljenim 10 mm od šava. Parametri zavarivanja - navarivanja prikazani su u Tabeli 5.

Dobra zaštita se može postići i u komori za zavarivanje sa argonom, ali postoje značajni nedostaci i to: skučenost prostora pri radu, nema dovoljno pothlađivanja, pa postoji opasnost od pregrevanja, zatim nemogućnost međufaznog ispitivanja i eventualne popravke. Izrada komore je znatno skuplja od izrade alata za lokalnu zaštitu.

Tokom procesa navarivanja korišćen je kvalitet argona Ar 99,999%. Međutim smatramo da zadovoljava i niži kvalitet, obzirom na iskustvo u NE Krško gde je zavarivana legura cirkonijuma sa kalajem – cirkolaj korištenjem Ar 99,95%.

Tabela 5. Parametri zavarivanja primenjeni pri izvođenju navarivanja radnog kola

Table 5. Welding parameters applied for surfacing the working wheel

| Lokacija | Jačina struje zavarivanja I_z [A] | Napon [V] | Udaljenost h, vrha W igle, [mm] | Protok Ar [l/min] | | | Vreme hlađenja u zaštiti argona [s] |
|-------------------------------|-------------------------------------|-----------|---------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------------------------|
| | | | | Primarna zaštita | Sekundar. zaštita | Tercijalna zaštita | |
| Ugaoni navar | 130 | 15,2 | 5 | 12 | 10 | 9 | 60 |
| Navarivanje ivice (deblj.2mm) | 75 | 13 | 3 | 12 | 10 | 9 | |
| Navarena površina | 120 | 14,8 | 3 | 12 | 10 | 9 | |

Napomena: - Netopiva elektroda W La 2 Ø2,4mm, dodatni materijal: žica Zr 705, Ø 2 mm

Navarivanje se izvodilo kružno sa preklapanjem navara u najpovoljnijem, vodoravnom položaju (PA). Zbog male deformabilnosti Zr 702 navarivanje nije trebalo da se izvodi polaganjem navara sa preskocima, dijametralno suprotno. Navarivalo se u kontinuitetu, uvek u istom smeru od ugaonog spoja prema kraju ivice cevi. Dužina jednog poteza (navara) bila je od 50 – 70 mm. Nakon hlađenja u argonu u trajanju od najmanje 60s, dalje hlađenje do 70°C – 50°C vršeno je na vazduhu. U

temperaturnom intervalu 300°C-50°C površina navara je od metalno-sjajne srebrne boje prelazila u svetlu, blago žutu boju zbog uticaja gasova iz atmosfere. Posle četkanja nerđajućom četkom vraćala se sjajna srebrna boja, što znači da su uklonjeni apsorbirani gasovi sa tople površine šava. Tek tada se prilazilo daljem navarivanju, što je prikazano na Slikama 5 i 6. Izvršeno je višeslojno navarivanje.



Slika 5. Prikaz procesa navarivanja

Figure 5. View of the surfacing process



Slika 6. Četkanje nakon hlađenja, radi uklanjanja blagog oksida

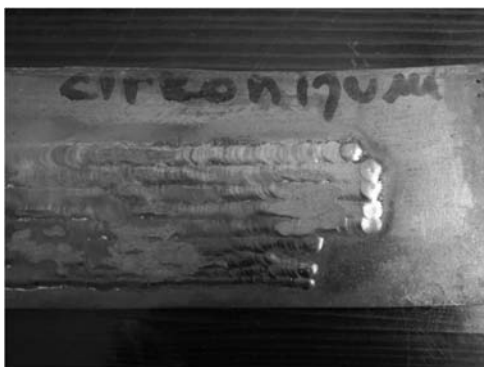
Figure 6. Brushing after cooling, to remove mild oxide

3. Rezultati i diskusija

3.1. Probna navarivanja

Nakon probnih navarivanja sa parametrima prikazanim u Tabeli 4. izvršena je vizuelna kontrola i nisu uočene nedozvoljene greške tipa pora ili

prslina. Izgled navarene površine i poprečnog preseka probnog uzorka prikazani su na Slici 6. Estetika navarenog sloja nije zadovoljavajuća (Slika 6a), dosta je izbrazdana površina. Taj nedostatak je ispravljen prilikom navarivanja radnog kola.



a)



b)



c)

Slika 6. Makro izgled navarenog probnog uzorka: a) gornja površina nakon navarivanja, b) gornja površina nakon ispitivanja penetrantima, c) poprečni presek navara ispitan penetrantima

Figure 6. Macro view of the welded test sample: a) upper surface after welding - surfacing, b) upper surface after penetrant testing, c) cross-section of welds tested with penetrants



Na slici su vidljive obrušene površine (ostrva). Razlog izbrusivanja je stvaranje ravne površine radi mogućnosti ispitivanja tvrdoće koja je obavljena u Zavodu za zavarivanje u Beogradu. Priprema površine u Zavodu za zavarivanje je vršena "suvim" brušenjem uz intenzivno varničenje što je dovelo do stvaranja površinskog upliva gasova, a rezultat je znatno povećana tvrdoća. Ispitivanja penetrantima na probnoj ploči, prikazani na Slikama 1b i 1c, pokazuju da je navar bez nalaza grešaka (BN), tj. zadovoljava nivo kvaliteta prema standard EN ISO 5817 za nivo kvaliteta "B".

Navarivanje je izvršeno sa unapred određenim parametrima i pokazalo se da su oni zadovoljili sve zahteve za kvalitetno nanošenje navara na radno kolo. Jedino je trebalo popraviti estetiku navara što je i učinjeno pri navarivanju radnog kola.

Izračunata temperatura hlađenja, $t_{9/3} = 60$ s, je potpuno zadovoljila potrebe navarivanja u praksi. U toku daljeg hlađenja na mirnom vazduhu, svetla srebrna boja je prelazila u sjajnu bledu žutu koja se četkanjem uklanjala. Po hlađenju do $70^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{C}$ pristupilo se nanošenju sledećeg sloja. Kompletno navarivanje je izvršeno sa lokalnom zaštitom.

Izvršeno je merenje tvrdoće i dobijeni rezultati merenja tvrdoće površina su: OM – 222 HV, ZUT – 235 HV, MŠ – 222 HV.



Slika 7. Kontrola penetrantima kvaliteta navara radnog kola
Figure 7. Penetrant control of the quality of the working wheel welds

Ultrazvučna kontrola se radi tamo gde je to moguće i gde je opravdano kao i kod svih drugih metala. Debljina ispitivanog osnovnog materijala je 5,75mm što je nepovoljno za ultrazvučno ispitivanje. Radiografska kontrola se ne radi na reaktivnim metalima, jer šav može da bude definisan kao škart, usled loše zaštite i apsorpcije gasova, a da na filmu nema nikakve detekcije.

3.2. Navarivanje radnog kola

Prva i osnovna kontrola kvaliteta navara radnog kola je vizuelna i obavlja se na osnovu posmatranja boje na površini šava i ZUT-a. Svetlo srebrna boja je znak da je zaštita bila korektna. Blagi uticaj vazduha dao bi slamnato-žutu do zlatno žutu boju, što bi uglavnom zadovoljavalo, a otklanja se četkanjem. Malo veći upliv vazduha stvorice plavu i ljubičastu svetlu boju, što bi moglo da bude diskutabilno i zavisi od medija kome je predmet izložen i zahteva za čvrstoćom. Neprolazni zavari su obojeni mat belom ili žutom bojom (boja krede koja se peruta). To je znak da je došlo do velikog zagađenja, tj. upliva gasova: bela boja – uticaj kiseonika; žuta boja potiče od azota. Takvi šavovi su tvrdi i krti, bez ikakve elastičnosti. Ne mogu se popraviti nikakvim tretmanom i predmet je neupotrebljiv.

Druga kontrola koja se radi je kontrola penetrantima i njome se otkrivaju pore i prslina. Kontrola penetrantima je urađeno 48h nakon navarivanja zbog mogućnosti pojave zakasnelih hladnih prslina, što je prikazano na Slici 7. Ispitivanjem penetrantskom tečnošću utvrđeno je da obrađeni navar zadovoljava nivo kvaliteta prema standard SPRS EN ISO 5817 "B".

Treća vrsta kontrole koja je izvršena je kontrola je merenje tvrdoće šava i ZUT-a i rezultati su prikazani u Tabeli 6. Tvrdoćom se procenjuje kakvog je sastava metal, kolika je prisutnost tvrdih i krtih faza.



Tabela 6. Izmerene tvrdoće navara radnog kola
Table 6. Measured hardness of the surfaced working wheel

| Mesto merenja | Srednja vrednost tvrdoće, [HB] |
|---------------|--------------------------------|
| OM | 319 |
| ZUT | 345 |
| MŠ | 248 |

Pošto nije bilo moguće da se izmeri tvrdoća na statičnom aparatu, primenjen je prenosni uređaj TDM-2 ruske proizvodnje koji je baždaren na čeliku, pa izmerene vrednosti služe samo kao uporedne mere tvrdoća za OM, MŠ i ZUT.

4. Zaključak

Na osnovu prikazanih rezultata izvršenog reparaturnog navarivanja radnog kola centrifugalne pumpe iz pogona za proizvodnju sirćetne kiseline izrađenog od Zr legure, može se zaključiti da je u okviru rada:

- Izvršena analiza osnovnog i dodatnog materijala za proces reparaturnog navarivanja,
- Proračunati su i definisani su parametri i uslovi reparaturnog navarivanja,
- Izvršena su probna navarivanja i na osnovu dobijenih dobrih rezultata izvršeno je i reparaturno navarivanje radnog kola centrifugalne pumpe,
- Kvalitet obavljene reparature proveren je vizuelnom kontrolom i kontrolom penetrantima i konstatovano je da navar nema pore i prsline i da zadovoljava nivo kvaliteta prema standardu SPRS EN ISO 5817 "B"

Na kraju, može se konstatovati da je uspešno izvršeno je reparaturno navarivanje radnog kola od Zr legure i da su dobijeni odlični rezultati. Kao potvrda toga je i činjenica da je radno kolo uspešno ugrađeno i da je u procesu proizvodnje već 8 godina.

Literatura / References

- [1] ASTM B752-22 (2022): Standard Specification for Castings, Zirconium-Base, Corr. Resistant, for General Application, April 2022.
- [2] ATI Zircadyne 702 and 705 (2012) – Zirconium (page 1-6 version1) Pittsburgh USA.
- [3] Zavarivanje knjiga 2 IT priručnik (1980), Izdavač RAD, Beograd
- [4] <https://www.atimaterials.com/zirconium/alloy> (2022)

Nakon izvršenih kontrola i dokazanog kvaliteta, izvršena je mašinska obrada koja je obavljena na strugu uz obilato hlađenje, sa malom perifernom brzinom uz povećani posmak. Na taj način se dobio povoljan odnos zapremine i površine strugotine, a to je neophodno kako ne bi došlo do samozapaljenja.

4. Conclusion

Based on the presented results of the repair welding of the working wheel of the centrifugal pump from the plant for the production of acetic acid, which is made of Zr alloy, it can be concluded that within the scope of work was performed:

- Analysis of the basic and filler material for the process of reparative surfacing,
- The parameters and conditions of reparative surfacing have been calculated and defined,
- Trial welding was performed and based on the good results obtained, repair welding of the working wheel of the centrifugal pump was performed.
- The quality of the performed repair was checked by visual control and control with penetrants, and it was concluded that the surfaced layer has no pores and cracks and that it meets the quality level according to the SPRS EN ISO 5817 "B" standard.

In the end, it can be stated that the reparative welding of the working wheel made of Zr alloy was successfully carried out and that excellent results were obtained. The fact that the working wheel has been successfully installed and has been in the production process for 8 years is proof of that.

- [5] Zavarivanje knjiga 4 IT priručnik (1980), Izdavač RAD, Beograd
- [6] Richard Sutherland (2004): Zavarivanje cirkonijuma i legura cirkonijuma, Tube & pipe journal, oktobar/novembar.
- [7] D. Mesing, M.Gordić (1987): Zavarljivost Circalloy-a, međ. sav.– Zbornik referata, Zagreb.
- [8] I.Limper (1987) : Zavarljivost Circalloy-a, međunarodno savetovanje – Zbornik referata, Zagreb.
- [9] Zavod za zavarivanje – zavarivanje cirkonijuma i njegovih legura, br. dok. 2.24, str. 15-20



REPUBLIČKO TAKMIČENJE MLADIH ZAVARIVAČA

„Mladi zavarivač 2023“ održano u Kraljevu 12. i 13. maja 2023. godine

Kao i prethodnih godina, u okviru republičkog takmičenja učenika srednjih mašinskih škola (III stepen), koje organizuje Zajednica mašinskih škola Republike Srbije u skladu sa usvojenim kalendarom takmičenja Zajednice i Ministarstva prosvete, održano je takmičenje mladih zavarivača u postupcima 111 – REL; 135 – MAG i 141 – TIG.

Takmičenje je organizovano u dva dana, 12. i 13. maja, a škola domaćin takmičenja je ove godine bila Mašinsko-tehnička škola “14. oktobar” u Kraljevu. Praktični deo takmičenja u disciplini zavarivanje obavljen je u kompaniji "Radijator-inženjering" Kraljevo u petak, 12.05.2023. godine.

Članovi DUZS koji su učestvovali u delu ocenjivanja uzoraka sa praktičnog dela kao stručni žiri radili su u sastavu Branislav Lukić, Milan Prokolab i Zoran Nikolić, a za radiografsko snimanje uzoraka je bio zadužen Saša Rašković.

Ukupno se takmičilo 43 takmičara iz 20 srednjih mašinskih škola, po postupcima: 20 za MAG, 17 za REL i 6 za TIG. Osim praktičnog, učenici su imali test iz teorijskog dela, pa je konačna rang lista takmičara formirana na osnovu ukupnih rezultata postignutih na teorijskom i praktičnom delu.

Najuspešniji takmičari po postupcima:

135 – MAG

| R.br | Ime i prezime učenika | Škola | Mentor | Teorijski deo | Praktični deo | | | Ukupno |
|------|-----------------------|-----------------------------------|------------------------|---------------|------------------------------|---|----------------------------------|--------|
| | | | | | Ukupno za spoljašnji pregled | Ukupno za unutrašnji pregled - radiografija | Vreme, alat i pribor, bezbednost | |
| 1 | Nikola Vojinović | Mašinska škola, Niš | Dragana Nenić | 30,00 | 50,00 | 60,00 | 30,00 | 170,00 |
| 2 | Igor Jelić | Srednja škola, Krupanj | Ratomir Dumić | 44,50 | 48,00 | 30,00 | 30,00 | 152,50 |
| 3 | Ilija Grubanov | Mašinska škola "Pančevo", Pančevo | Timotijević Aleksandra | 48,50 | 40,00 | 30,00 | 30,00 | 148,50 |
| 4 | Marko Aćimović | TŠ "Mileta Nikolić", Aranđelovac | Siniša Marković | 10,00 | 46,00 | 60,00 | 30,00 | 146,00 |
| 5 | Stefan Đorđević | Tehnička škola, Obrenovac | Vladimir Marković | 29,66 | 56,00 | 30,00 | 30,00 | 145,66 |

111 – REL

| R.br | Ime i prezime učenika | Škola | Mentor | Teorijski deo | Praktični deo | | | Ukupno |
|------|-------------------------|-----------------------------------|-------------------|---------------|------------------------------|---|----------------------------------|--------|
| | | | | | Ukupno za spoljašnji pregled | Ukupno za unutrašnji pregled - radiografija | Vreme, alat i pribor, bezbednost | |
| 1 | Kristijan Radosavljević | MTŠ «14. oktobar» Kraljevo | Marko Dragičević | 41,33 | 34,00 | 30,00 | 30,00 | 135,33 |
| 2 | Stefan Bojović | Tehnička škola "Zmaj" N. Beograd | Vlada Radovanovic | 50,00 | 28,00 | 0,00 | 30,00 | 108,00 |
| 3 | Lazar Šuković | Srednja stručna škola, Kragujevac | Luka Grubač | 19,00 | 28,00 | 30,00 | 30,00 | 107,00 |



| | | | | | | | | |
|---|----------------|----------------------------------|------------------------|-------|-------|------|-------|-------|
| 4 | Mateja Golić | Tehnička škola Zrenjanin | Danijela Kiš | 41,50 | 22,00 | 0,00 | 30,00 | 93,50 |
| 5 | Milovanov Igor | Mašinska škola "Pančevo" Pančevo | Timotijević Aleksandra | 50,00 | 6,00 | 0,00 | 30,00 | 86,00 |

141 – TIG

| R. br. | Ime i prezime učenika | Škola | Mentor | Teorijski deo | Praktični deo | | | Ukupno |
|--------|-----------------------|--------------------------------|------------------------|---------------|------------------------------|---|----------------------------------|--------|
| | | | | | Ukupno za spoljašnji pregled | Ukupno za unutrašnji pregled - radiografija | Vreme, alat i pribor, bezbednost | |
| 1 | Lazar Adamović | Tehnička škola Obrenovac | Vladimir Marković | 47,50 | 58,00 | 30,00 | 30,00 | 165,50 |
| 2 | Mihajlo Aleksić | Maš. škola "Pančevo", Pančevo | Timotijević Aleksandra | 48,00 | 38,00 | 30,00 | 30,00 | 146,00 |
| 3 | Mirko Stojković | Srednja maš. škola, Novi Sad | Aleksandar Jankov | 36,33 | 52,00 | 0,00 | 30,00 | 118,33 |
| 4 | Lazar Lekić | Sred. šk. «17. Sept.» Lajkovac | Milovan Vasiljević | 29,00 | 36,00 | 0,00 | 30,00 | 95,00 |
| 5 | Marko Pavlović | Srednja str. škola Kragujevac | Dobrosav Jovanović | 34,50 | 24,00 | 0,00 | 30,00 | 88,50 |

Za takmičenje u zavarivanju prijavilo se 20 srednjih škola: Tehnička škola Obrenovac, Mašinska škola "Pančevo" Pančevo, Srednja mašinska škola Novi Sad, Srednja škola "17 septembar" Lajkovac, Srednja stručna škola Kragujevac, Mašinska škola Niš, Mašinsko-tehnička škola "14. oktobar" Kraljevo, Tehnička škola "Zmaj" Novi Beograd, Tehnička škola Zrenjanin, Tehnička škola Požega, Srednja škola Krupanj, Tehnička škola "Sava Munčan" Bela Crkva, Tehnička škola "9 maj" Bačka Palanka, Srednja tehnička škola Sombor, TŠ "Mileta Nikolić" Arandjelovac, Srednja škola "Dobrica Erić" Knić, Tehnička škola Čuprija, Tehnička škola Valjevo, Tehnička škola Vlasotince i Srednja škola Svilajnac.

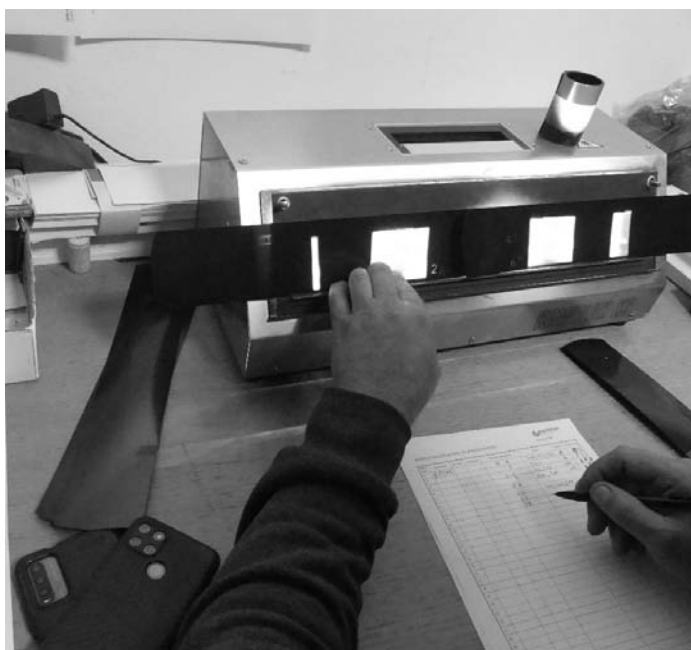
U odnosu na prethodnu godinu, izostale su Prva tehnička škola Kruševac, Tehnička škola Mladenovac, Tehnička škola "Kolubara" Lazarevac, Srednja škola "Dragačevo" Guča i TŠ "1300 kaplara" Ljig, ali su učestvovala neke škole koje prošle godine nisu imale prijavljene učesnike na takmičenju zavarivača: Mašinsko-tehnička škola "14. oktobar" Kraljevo, Tehnička škola "Sava Munčan" Bela Crkva, Srednja škola "Dobrica Erić" Knić, Tehnička škola Čuprija, Tehnička škola Valjevo i Srednja škola Svilajnac.

Fotografije sa takmičenja mladih zavarivača pogledajte u nastavku.

Autori: Vesna Jović i Branislav Lukić



Fotografije sa takmičenja



Fotografije sa ocenjivanja



MEĐUNARODNO NAUČNO-STRUČNO SAVETOVANJE - SBZ 2023

Ovogodišnje 12. po redu međunarodno naučno-stručno savetovanje sa temom: INŽENJERSKE TEHNOLOGIJE U IZRADI ZAVARENIH KONSTRUKCIJA I PROIZVODA - SBZ 2023 (ENGINEERING TECHNOLOGIES IN MANUFACTURING OF WELDED CONSTRUCTIONS AND PRODUCTS, SBW 2023) održano je od 26. do 28. aprila 2023. godine u Slavonskom Brodu i Požegi u Hrvatskoj. Podsetimo se da se ovo, već tradicionalno naučno - stručno savetovanje održavalo od 2001. godine svake neparne godine u jesenjim terminima. Ovoga puta, organizatori su se opredelili za april zbog ranije zauzetih termina.

Pokazalo se da je rezervisanost organizatora u vezi sa uspehom Savetovanja bila neopravdana. Odziv učesnika, broj prijavljenih radova kao i kompletan doživljaj, je bio bolji od očekivanog. Ovome je doprinelo prolećno vreme u Savoniji koje je ispunilo sva očekivanja: sunčano, toplo, mirisno od rascvetalog cveća i voća. Sve to je doprinelo da su učesnici imali tipično vedar kontinentalni prolećni doživljaj.

Što se samog savetovanja tiče, činjenica je da je bilo četrdeset naučno – stručnih radova, veliki broj učesnika kao i već tradicionalno atraktivna i zanimljiva propratna izložba opreme, dodatnih i pomoćnih materijala za zavarivanje. Sve to je bilo u okviru planiranih i uobičajenih sadržaja.

Savetovanje je kao i ranije je imalo međunarodni karakter. Pored učesnika i ove godine bilo je suorganizatora iz inostranstva: Fakultet za strojništvo iz Maribora – Slovenija, kao i Fakultet za materijale i tehnologije iz Trnave - Slovačka, čime je potvrđen međunarodni aspekt savetovanja. Autori pristiglih radova za savetovanje su bili iz 11 različitih zemalja, a u sklopu izložbe predstavljeno je preko 30 poznatih firmi koje svojom opremom prate zavarivanje.

Kako je svakom događaju važno imati i neki povod ili razlog za održavanje, ovogodišnje savetovanje obeleženo je:

- otvaranjem novih prostora Univerziteta u Slavonskom Brodu u prostorima čuvenog giganta Đuro Đaković. Ovaj događaj možemo kratko opisati i kao povratak inženjerstva na mesto osnivanja tj. u industriju gdje mu je i mesto,
- karakterom savetovanja: savetovanje je i dalje otvorenog tipa, pre svega za studente i učenike srednjih škola, a ovaj pristup organizatora bio je potpuno opravdan i svrsishodan jer je bio prisutan veliki broj mladih kadrova inženjersko – mašinske struke,
- regionalnim pristupom: kako se DTZ Slavonski Brod smatra i regionalnim društvom, ovom prilikom je to i potvrđeno jer je zadnji dan savetovanja u potpunosti održan u Požegi u firmi Magma.

Tematika ovogodišnjeg savetovanja bila je sveobuhvatna i odnosila se na područja mašinskih tehnologija: novi materijali i nove tehnologije, postupci zavarivanja u primeni, robotizacija i automatizacija, proračun zavarenih proizvoda, sudovi pod pritiskom, tehnike srodne zavarivanju, oblikovanje zavarenih konstrukcija i proizvoda, kontrola kvaliteta zavarenih proizvoda, pouzdanost i sigurnost zavarenih proizvoda i konstrukcija, zavarljivost materijala, dodatni materijali za zavarivanje, oprema za zavarivanje i srodne postupke, kadrovi za zavarivanje, obrazovanje u zavarivanju, metalurgija zavarivanja, ekologija i zaštita na radu kao i ekonomski aspekti u inženjerskim tehnologijama.

I ovom prilikom naglašeno je kako privreda treba da ima oslonac i čvrstu vezu sa naukom, ali i da nauka mora biti bazirana na potrebama privrede odnosno industrije.

Za savetovanje je umesto opsežne knjige Zbornika radova, štampan Zbornik abstrakata kao i Program savetovanja. Novina je bila što, ovoga puta za svaki rad kao i svaka lokacija važna za događaj, bila popraćena odgovarajućim QR kodom. To je omogućilo učesnicima da umesto puno papira, sve događaje mogu pratiti putem svojih mobilnih uređaja. Osim toga, na web stranici DTZ-a Slavonski Brod, kao i sa svih dosadašnjih savetovanja, postavljeni su između ostalog i svi radovi sa ovogodišnjeg savetovanja i dostupni su za sve zainteresovane.

Po tradiciji pre otvaranja Savetovanja delegacije učesnika su položile cveće na grob profesora dr Zvonka Lukačevića, doajena zavarivanja u Hrvatskoj i šire, učitelja mnogih autoriteta koji danas vode zavarivanje i srodne tehnologije u Hrvatskoj i u regionu. Ovo, kao i sva dosadašnja Naučno - stručna savetovanja koja su održana u Slavonskom Brodu od 2001. godine su posvećena upravo prof. Dr. Zvonku Lukačeviću.

Na kraju drugog radnog dana, po tradiciji je održana svećana večera koju su organizatori iskoristili da se zahvale sponzorima i ostalima koji su podržali održavanje ovog skupa. Organizacioni odbor, DTZ Slavonski Brod, povodom odlaska u penziju, dodelili su poseban poklon kao znak zahvalnosti dugogodišnjem članu organizacionog odbora Savetovanja **dr. Vencislavu Grabulovu**, za doprinos afirmaciji savetovanja od samog početka, ali i kao podsećanje na dugogodišnju saradnju sa kompanijom



"Đuro Đaković" koja je kulminirala njegovim doprinosom razvoju proizvodnje jednog od kapitalnog projekata Đure Đakovića – finalna montaža tenka M84. Kuriozitet je što je poklon bila slika prelepog šetališta u Slavonskom Brodu, gde je na zahtev poklonodavca, autor slike naknadno naslikao zgradu sa prepoznatljivim znakom Holdinga Đuro Đaković, kao podsećanje na period saradnje. Dodela je bila sa emotivnim nabojem s obzirom na prisustvo i veterana iz "Đure".

Domaćini su i ovoga puta, po tradiciji, bili na vrhunskom nivou svojom gostoprimljivošću. Topla, zavarivačka atmosfera koja spaja je bila uvek prisutna, po običaju začinjena slavonskim gurmanlucima a slobodno vreme, svečana večera kao i oproštajni ručak, ovoga puta u "Zlatnom lugu" praćeni su čuvenim Slavonskim tamburašima.

Tradicionalno rastanak je bio pun zahvalnosti učesnika domaćinima za izvanrednu organizaciju i pažnju, a zahvalnost domaćina učesnicima što su se odazvali pozivu i učestvovali na Skupu uz želje za srećan put.

Autori vesti: Božo Despotović i Vencislav Grabulov



Detalj sa otvaranja Savetovanja



Predsedavajući Sekcija



Dodela poklona V. Grabulovu (rektor Univerziteta u Slavonskom Brodu prof. Dr. Ivan Smardžić i predsednik Organizacionog odbora Božo Despotović)



Deo učesnika iz Regiona sa rektorom Univerziteta u Slavonskom Brodu i predsednikom Organizacionog odbora



Poznata lica u na svečanjoj večeri dok se tamburaši zagrevaju



Deo učesnika iz Srbije (prof. Dr. Dragan Milčić, Zoran Nikolić IWT i Dr Vencislav Grabulov) sa članovima Organizacionog odbora



Detalj sa izložbe opreme, dodatnih i pomoćnih materijala za zavarivanje



Pažnja nije popustila ni u popodnevnm satima i dva oldtimera i dalje zanima sadržaj izlaganja



Zoran Karastojković^{1,a}, Milan Miladinov², Miroslav Miladinov²

KARAKTERISTIKE MIG ZAVARIVAČKOG LEMLJENJA

CHARACTERISTICS OF MIG BRAZE WELDING

Stručni rad / Professional paper

Rad primljen / Paper received:

Novembar 2022.

Rad prihvaćen / Paper accepted:

Mart 2023.

Adresa autora / Author's address:

¹ Društvo za etičnost i vrednovanje u kulturi i nauci, 11000 Beograd, Strahinjića bana 27, Srbija

² Sanacija i ispitivanje metala, d.o.o, 11060 Beograd, Danila Ilića 2, Srbija

Email: ^a zoran.karastojkovic@gmail.com

Ključne reči: lemljenje, MIG zavarivanje, primene.

Keywords: brazing, MIG welding, applications

Rezime

Novine u tehnologijama lemljenja nisu tako česte kao u tehnologijama zavarivanja. Mnogi podaci/artefakti iz davnina pokazuju da su tehnologije lemljenja u primeni već 5000 godina, što ih čini starijim od zavarivačkih. Dugo se lemljenje upražnjavalo samo na carskim dvorovima, u izradi nakita i ukrasnih predmeta. Za neke od tih tehnologija se teško može reći da su „primitivne“, jer neke počivaju na primeni (danas bi rekli) difuzionih postupaka lemljenja, a koje se danas u izmenjenom obliku (uz istovremenu primenu pritiska) primenjuju čak u avio- i kosmičkoj industriji.

Primena MIG postupka je poznata i raširena u postupcima zavarivanja čelika (kako običnih konstrukcionih tako i nerđajućih) kao i brojnih obojenih metala (aluminijuma, bakra, titana i dr.), ali je prilično manje zastupljena primena istog postupka za lemljenje. Ovde će biti prikazano par primena lemljenja korišćenjem MIG postupka, uskoro primenjivanog isključivo za zavarivanje.

1. Uvod

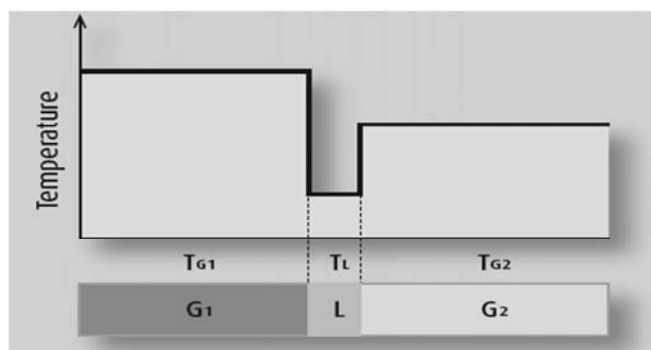
Korišćenje inertnih gasova je prvo započeto u livarstvu [1 - 3], zatim u tehnologijama zavarivanja a onda u tehnologijama lemljenja [4 - 10]. Lemljenje nije masovno zastupljena tehnologija u industriji i, uopšte, u životu, ali je u izvesnim prilikama, u izradi nekih visoko sofisticiranih delova i proizvoda iz avio ili kosmičke industriji prosto nemoguće spojiti ih bez primene lemljenja.

Abstract

Improvements in brazing technologies are not widely present as in welding technologies. Many artefacts from the ancient times show that brazing technologies are in use over 5000 years, what make them older from welding procedures. A long time the brazing was applied on the king courts for making jewels and/or ornamental pieces. For a particular technologies from that time hardly to be said that they are „primitive“, because they are founded in application (as we today use to say *diffusion welding/brazing* procedure), which are nowadays are in use in changed form (by application of a pressure) in production of reliable components from air- or cosmic industry.

The application of MIG method is known and widely used in welding procedures, almost for steels (both for common structural or stainless) also in numerous non-ferrous metals (aluminium, copper, titanium, etc.), but this method markably less is used for brazing. Here will be shown couple of examples of MIG brazing of some complex structural shapes.

Za ovaj termin, a ovde se radi se o lemljenu primenom MIG i TIG postupaka [11, 12], zakuje se u anglosaksonskoj literaturi koriste dve reči braze welding, označavajući da se radi prvo o lemljenju a onda o zavarivanju, a na srpski se može adekvatno prevesti kao lemljenje zavarivanjem, a ne bi bila greška ako se nazove i zavarivačko lemljenje. Podsećanja radi, kao kriterijum za razvrstavanje na postupke zavarivanja i lemljenja su temperature topljenja, sl. 1. U svakom slučaju radi se o lemljenje jer se topi samo dodatni materijal – lem.



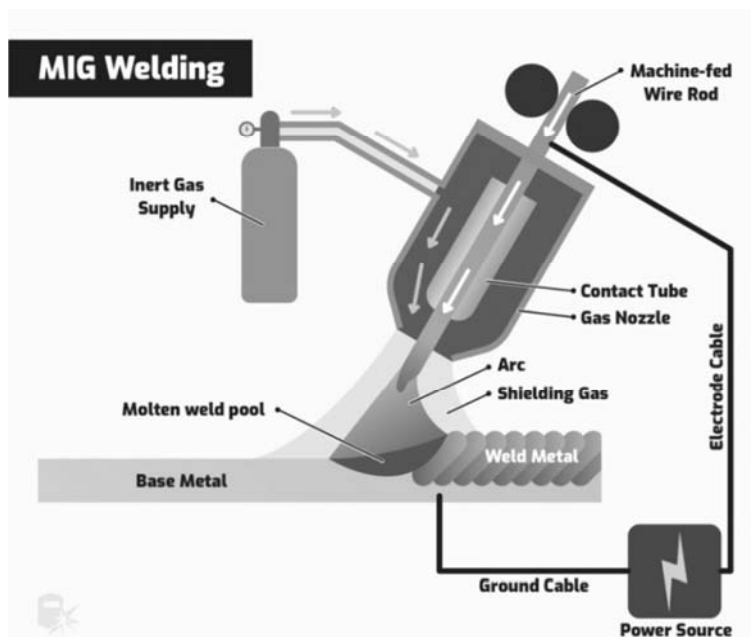
Slika 1. Temperature topljenja lema (T_L) i dva različita materijala koji se spajaju (T_{G1} i T_{G2})

Figure 1. Solder melting temperatures (T_L) and two different materials to be joined (T_{G1} and T_{G2})

2. Karakteristike mig postupka

Za topljenje dodatnog materijala u svim poznatim tehnologijama [7-9] se koriste različiti izvori toplote, izuzimajući ultrazvučno zavarivanje ili

lemljenje. Na slici 2 prikazan je koncept MIG postupka koji je dobro poznat, čime se može obezbediti kontinualan rad.



Slika 2. Šematski prikaz MIG postupka

Figure 2. Schematic representation of the MIG procedure

U postupku MIG zavarivanja se postižu radne temperature na nivou od oko 4000°C , što mnogim čelicima ne smeta, ali to jeste rizik za isparavanje laktopivih komponenti ukoliko se nađu u dodatnom materijalu, bilo da se radi o primeni za lemljenje ili zavarivanje. To je razlog da se ovaj postupak ne koristi za meko već za tvrdo lemljenje, istina u ograničenoj meri. TIG postupak jeste primenljiv za lemljenje kao MIG, ali je očekivano komplikovaniji može se reći i rizičniji za rad, usled još intenzivnijeg isparavanja laktopivih komponenti.

3. Pogodni materijali za mig lemljenje

Dodatne materijale za lemljenje, u principu ne odlikuje velika čvrstoća ali je jedan od osnovnih zahteva za lemljenje, uopšte, dobra kvašljivost [6,7], zahtev koji nije tako izražen u zavarivačkim tehnologijama. Za ove namene se mogu, u principu, koristiti mesinzi (legure Cu i Zn), kalajne bronzne (legure Cu i Sn) ili češće neka specijalna bronza na bazi silicijuma, mangana i aluminijuma. Sa aspekta topljenja dodatnog materijala, korišćenje mesinga nije problem, još manje u MIG postupku. U svakom slučaju dodatni materijal za razmatrane namene je u obliku žice, tako da se u

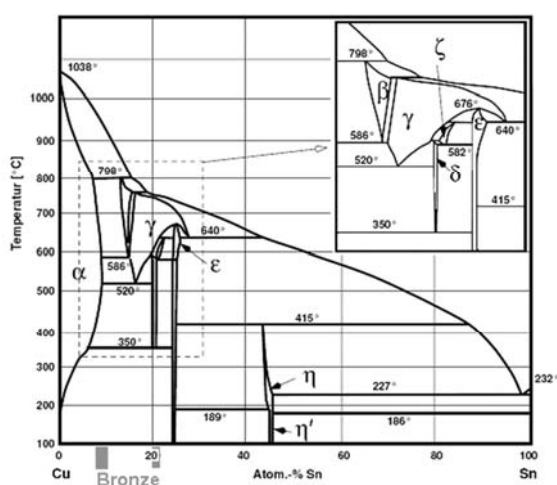


razmatranje moraju uzeti i karakteristike deformabilnosti dodatnog materijala. Međutim, primena mesingane žice u MIG postupku ima vrlo ograničenu primenu baš zbog isparavanja cinka, jer cink iako pripada grupi teških metala ima prilično nisku temperaturu topljenja ($419,50^{\circ}\text{C}$) i spada u metale koji lako isparavaju, tako da posle očvršćavanja takvog lema dolazi do neželjenih promena osobina te legure, naravno i takvog spoja.

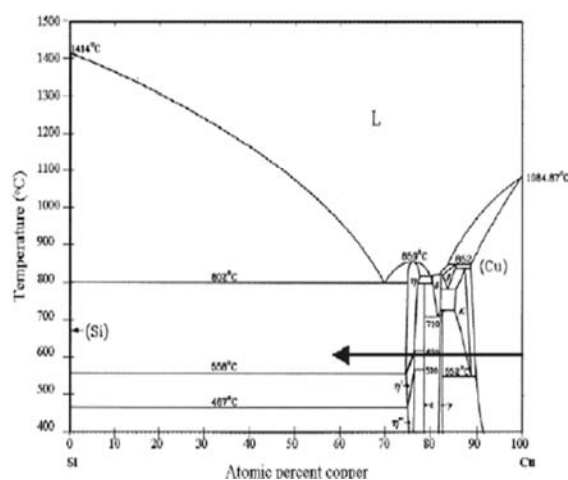
Sledeća grupa legura za izradu dodatnog materijala pripada bronzama. Najstariji i najpoznatiji tip bronze je kalajna bronza, poznata još iz antičkih vremena – čak je u istoriji čovečanstva jedan period

nazvan *bronzano doba*. Bronze karakteriše dobra livkost, što su uočili još drevni narodi za livenje predmeta složene geometrije, pre svega spomenici, npr. Kolos sa Rodosa i mnogi drugi (ukrasni) predmeti.

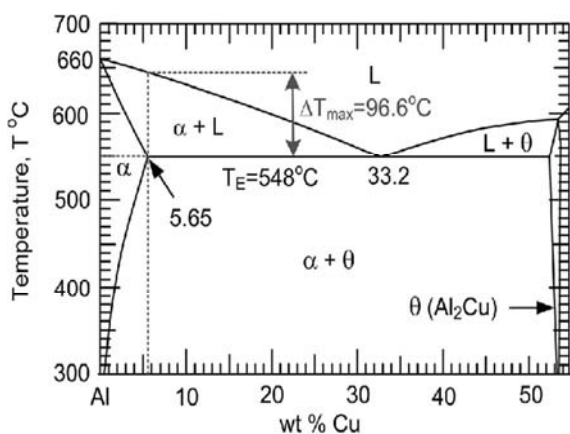
Iako i kalaj pripada grupi lakotopivih metala ($231,9^{\circ}\text{C}$) on ne isparava tako lako kao cink, odakle je ova bronza u tom smislu pogodnija za ovakvu upotrebu. Podvlači se da niska temperatura topljenja metala ne znači obavezno da je tj. metal lako isparljiv. Dijagrami stanja nekih bronzi, interesantnih za ove namene, pokazani su na slici 3.



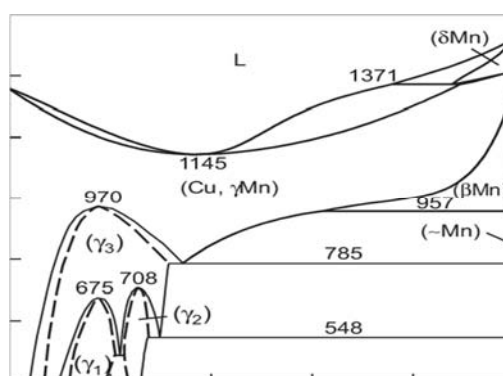
a)



b)



c)



d)

Slika 3. Dijagrami stanja: a) Cu – Sn; b) Cu – Si; c) Al – Cu i d) Cu – Mn

Figure 3. Phase diagrams: a) Cu – Sn; b) Cu – Si; c) Al - Cu and d) Cu - Mn

Kalaj i silicijum se u bakru rastvaraju u uskom koncentracijskom području, videti slike 3a) i b). Proizvodnja žice od bronze, naročito kalajne, jeste problematična, za razliku od mesinga, koji se lako deformiše izvlačenjem u hladnom stanju, dakle manji je tehnološki problem proizvesti mesinganu

žicu. Grupa specijalnih bronzi na bazi silicijuma, aluminijuma i mangana, kao i neke njihove kombinacije, se pokazala uspešnom za razmatrane namene - lemljenje. Za lemljenje u automobilskoj industriji se već ustalila upotreba žice prečnika oko 1 mm iz serije bronzanih legura tipa CuSi_3 ,



CuSi_3Mn , CuAl_8 ili CuSn_6 . Za neke druge namene nije isključena upotreba mesinga sastava CuZn40 ili slično, koji su eksperimentalno provereni samo za neke namene. Boja svih navedenih materijala za lemljenje je svetlo žuta, što ostavlja lep vizuelni utisak i po obavljenom lemljenju omogućuje bojenje cele čelične konstrukcije.

Sve naveden legure odlikuje dobra kvašljivost, u svakom slučaju to je dobra osobina za svaki postupak lemljenja pa i ovde razmatran MIG postupak. Navedene legure bakra omogućuju lemljenje ne samo različitih materijala, kao što su livena gvožđa, čelici i legure bakra, već i raznorodnih (inače teško zavarljivih) materijala.

Lemljenje sa navedenim lemovima na bazi bakra se izvodi na temperaturama u intervalu od 620°C do 870°C , odakle je jasno da će nastala krivljenja biti manja u odnosu na zavarene spojeve.

4. Primena mig postupka za lemljenje

Pokazalo se da su zavarivački zalemljeni spojevi manje podložni lomovima u odnosu na zavarene

spojeve, posebno kada se radi sa čelikom i to neosporno predstavlja prednost u izboru postupka spajanja.

Postupak zavarivačkog lemljenja se pokazao uspešnim za spajanje tankih limova i cevi, debljine do čak 0,2mm, ali ne i debljih preseka preko 3mm. Interesantno je da se posle lemljenja običnih konstrukcionih čelika nekada mogu dobiti veće čvrstoće u odnosu na čvrstoću osnovnog materijala. MIG lemljenjem je moguće spajati materijale istog ili različitog sastava. Treba imati u vidu da se u slučajevima zavarivanja materijala različitog sastava javlja veći broj problemi, u pogledu ostvarivanja zadovoljavajuće čvrstoće u odnosu na zalemljene spojeve.

Primena MIG postupka za lemljenje je našla mesto u industriji, ovde je izabran inače komplikovan primer za rad – spajanje cevi, zaključno sa izgledom posle brušenja što je prikazano na slici 4.



a)



b)



c)



d)

Slika 4. Elementi rama bicikla koji se leme i zavaruju a), cevasti elementi za lemljenje b), spoj posle lemljenja c) izbrušen i ispoliran zalemljen spoj d)

Figure 4. Bicycle frame elements which are brazed and welded a), tubular elements which are brazed b), joint after brazing c) ground and polished brazed joint d)



Napon struje pri ovakvom lemljenju treba da je u rasponu od 10V do 16V, a jačina struje od 30 do 100A. Upotreba pulsirajuće struje (kod nas je češći termin *impulsna struja*) i tokom lemljenja obezbeđuje bolje rezultate, što se tumači nižim unosom toplota u odnosu na režim rada bez pulsiranja struje. Za potrebe zavarivačkog lemljenja bolje je koristiti 100%Ar, dok je za obične čelika moguće koristiti smešu gasova od 75%Ar i najviše do 25%CO₂.

Sve navedene osobine omogućuju širu primenu MIG postupka i za lemljenje sve prisutnijih mikrolegiranih čelika sa borom [13]. Ovi čelici postižu inače visoku čvrstoću kombinovanom primenom termičke obrade i kontrolisanog režima toplog valjanja, tako da bi se stvoreni efekti ojačavanja ozbiljno narušili zavarivanjem u kojima

5. Zaključak

Zavarivačko lemljenje, kako se pokazalo, je izvodljivo MIG i TIG postupcima, s tim da su niže radne temperature pri korišćenju MIG postupka. Upotreba dodatnih materijala za lemljenje na bazi bronzne osetno snižava radne temperature u odnosu na "klasično" zavarivanje čelika. Ovde su ukratko razmatrane legure bakra namenjene lemljenju iz reda bronzni, bilo da se radi sa *klasičnom* kalajnom bronzom ili pak sa, za ove namene, kvalitetnijim *specijalnim* bronzama na bazi silicijuma, mangana, aluminijuma ili nekih njihovih kombinacija.

Dalje, primena MIG lemljenja osetno smanjuje probleme u vezi sa pojavom krivljenja čeličnih delova, a moguće je zalemiti istorodne i raznorodne metale/legure. Raznorodni materijali sigurno je da predstavljaju problem za zavarivanje, naravno i sa MIG postupkom. I još, MIG postupak je mnogo prikladniji za automatizovanu proizvodnju u odnosu na TIG postupak.

Literatura / References

- [1] B. Kočovski (1991): Bakar i bakarne legure, Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru, Bor, 37-118. [2] B. Kočovski (1996): Metalurgija legura obojenih metala, Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru, Bor, 187-194.
- [3] V. Sedlaček (1986): Non-ferrous metals and alloys, Amsterdam, ed. Elsevier, 166-174.
- [4] V.F. Grabin (1982): Metallovedeniye svarki plavljeniyem, Kiyev, Naukova dumka, 292-308.
- [5] D. Smith (1995): Veštine i tehnologija zavarivanja, Paraćin, Vuk Karadžić, 151-174.

se između ostalog postižu temperature od min. 1500°C, tako da je njihovo zavarivanje diskutabilnije.

Primena zavarivačkog lemljenja se pokazala uspešnijom u odnosu na zavarivanje cinkovanih čeličnih limova. Naime, pri zavarivanju ovih čelika primenom uobičajenih zavarivačkih procesa nastaje intenzivnije isparavanje cinka, tj. nastaje decinkacija na rastojanju od 1-2mm u okolini zavara, što za posledicu ima stvaranje poroznih varova sa smanjenim mehaničkim osobinama i još, uklanjanje cinka vodi ka smanjenju korozione postojanosti takvih limova, što nije zanemarljivo. Još jednu novinu u tehnologijama lemljenja predstavlja uvođenje oksida bakra (I) i železa (III) u bakar, kao dodatni materijal za lemljenje.

5. Conclusion

Welding brazing, as it turned out, is feasible with MIG and TIG processes, with the fact that the working temperatures are lower when using the MIG process. The use of additional bronze-based soldering materials significantly lowers operating temperatures compared to "classic" steel welding. Copper alloys intended for soldering from the bronze series are briefly discussed here, whether working with classic tin bronze or, for these purposes, better quality special bronzes based on silicon, manganese, aluminum or some of their combinations.

Furthermore, the application of MIG welding significantly reduces problems related to the occurrence of bending of steel parts, and it is possible to weld dissimilar and dissimilar metals/alloys. Diverse materials are certainly a problem for welding, of course also in the MIG process. Furthermore, the MIG process is much more suitable for automated production than the TIG process.

- [6] V.Ye. Khrjapin (1981): Spravochnik pajaľshika, Moskva, Mashinostroyeniye
- [7] A.I. Gubin, V.V. Orlova (1984): Pripoji i pajaljnije smesi, u praktikumu: Spravočnik po pajke, Moskva, Mašinstroeniye, str. 58-102.
- [8] A.P. Lopatko, Z.V. Nikiforova (1979): Novije metodi svarki i pajki, Moskva, Visshaĳa shkola, 51-85.
- [9] S.V. Laško, N.F. Laško, i dr. (1983): Proektirovanie tehnologii pajki metalličeskih izdeljev, Moskva, Metallurgija, 58-78.



[10] Z. Karastojković (1990): Fizička metalurgija za više škole, Novi Beograd, Politehnička akademija, 270-297.

[11] M. Way, J. Willingham, R. Goodal (2020): Brazing filler metals, Int. Material Reviews 65/5, 257-285.

[12] M. Berczeli, Z. Wektsch (2018): Experimental studies of different strength steels MIG brazed joints, Periodica Polytechnica Transportation Engineering, 46/2, 63-68.

[13] Z. Karastojković (2022): Mikrolegirani čelici: osobine i njihova upotreba, Inženjerska komora Srbije juni, Predavanje po pozivu.

[14] Z. Karastojković, A. Kostov, R. Perić (2022): Reasons for brazing with copper filler metal alloyed with copper (I) and iron (III) oxides, 53th Int. October Conf. on Mining and Metallurgy, Bor, Proceedings book, str. 93-96.



SIGMA LAB

Laboratorija Za Ispitivanje
Materijala & Zavarenih Spojeva



www.sigmalab.rs



POSTOJEĆE STANJE STANDARDA U OBLASTI ZAVARIVANJA U SRBIJI STANDARDS IN WELDING IN SERBIA – STATE OF ART

*Nastavak iz broja 03-2022
DEO II*

*Continued from nr. 03-2022
PART II*

Tabela 2. Pregled usvojenih i objavljenih standarda do kraja juna 2021. godine. [3]

Table 2. Review of received and published standards until the end of June 2021. [3]

| Red. br. | Oznaka standarda | Naziv standarda | Naziv originala | Identičan sa | na – nacrt pr - projekat | Napomena |
|----------|----------------------------------|---|--|-----------------------------|--|---|
| 39. | SRPS EN ISO 15614-11:2008 | Specifikacija i kvalifikacija tehnologije zavarivanja metalnih materijala - Kvalifikacija tehnologije zavarivanja - Deo 11: Zavarivanje elektronskim snopom i laserom | Specification and qualification of welding procedures for metallic materials —Welding procedure test — Part 11: Electron and laser beam welding | EN ISO 15614-11:2002 | prSRPS EN ISO 15614-11:2021 prEN ISO 15614-11 rev | Novi projekat |
| 40. | SRPS EN ISO 15614-13:2013 | Specifikacija i kvalifikacija tehnologije zavarivanja metalnih materijala — Kvalifikacija tehnologije zavarivanja — Deo 13: Čeono (elektrootporno sučeono) zavarivanje pritiskom i zavarivanje varničnjem | Specification and qualification of welding procedures for metallic materials - Welding procedure test - Part 13: Upset (resistance butt) and flash welding | EN ISO 15614-13:2012 | prSRPS EN ISO 15614-13:2020 ISO/FDIS 15614-13:2021 | Novi projekat |
| 41. | SRPS EN ISO 15614-2:2008/AC:2013 | Specifikacija i kvalifikacija tehnologije zavarivanja metalnih materijala - Kvalifikacija tehnologije zavarivanja - Deo 2: Elektrolučno zavarivanje aluminijuma i njegovih legura | Specification and qualification of welding procedures for metallic materials - Welding procedure test - Part 2: Arc welding of aluminium and its alloys | EN ISO 15614-2:2005/AC:2009 | prSRPS EN ISO 15614-2:2005/A11:2021 EN ISO 15614-2:2005/prA11 | Direktive povezane sa ovim standardom 2014/29/EU 2014/68/EU |
| 42. | SRPS EN ISO 15614-4:2008 | Specifikacija i kvalifikacija tehnologije zavarivanja metalnih materijala - Kvalifikacija tehnologije zavarivanja - Deo 4: Popravka zavarivanjem aluminijumskih odlivaka | Specification and qualification of welding procedures for metallic materials - Welding procedure test - Part 4: Finishing welding of aluminium castings | EN ISO 15614-4:2005 | prSRPS EN ISO 15614-4:2005/A11:2021 EN ISO 15614-4:2005/prA11 | Direktive povezane sa ovim standardom 2014/68/EU Novi projekat |
| 43. | SRPS EN ISO 15614-4:2008/AC:2009 | Specifikacija i kvalifikacija tehnologije zavarivanja metalnih materijala - | Specification and qualification of welding | EN ISO 15614-4:2005/AC:2009 | SRPS EN ISO 15614-4:2008 prEN ISO 15614- | Novi projekat |



| | | | | | | |
|-----|--------------------------|---|--|---------------------|--|---|
| | | Kvalifikacija tehnologije zavarivanja - Deo 4: Popravka zavarivanjem aluminijumskih odlivaka | procedures for metallic materials — Welding procedure test — Part 4: Finishing welding of aluminium castings | 07 | 4 | |
| 44. | SRPS EN ISO 15614-6:2008 | Specifikacija i kvalifikacija tehnologije zavarivanja metalnih materijala - Kvalifikacija tehnologije zavarivanja - Deo 6: Elektrolučno i gasno zavarivanje bakra i njegovih legura | Specification and qualification of welding procedures for metallic materials - Welding procedure test - Part 6: Arc and gas welding of copper and its alloys | EN ISO 15614-6:2006 | prSRPS EN ISO 15614-6:2006/A11:2021 EN ISO 15614-6:2006/prA11 | Direktive povezane sa ovim standardom 2014/68/EU Novi projekat |
| 45. | SRPS EN ISO 15614-7:2020 | Specifikacija i kvalifikacija tehnologije zavarivanja metalnih materijala – Kvalifikacija tehnologije zavarivanja – Deo 7: Navarivanje | Specification and qualification of welding procedures for metallic materials - Welding procedure test - Part 7: Overlay welding | | prSRPS EN ISO 15614-7:2019/A11:2021 EN ISO 15614-7:2019/prA11 | Direktive povezane sa ovim standardom 2014/68/EU Novi projekat |
| 46. | SRPS EN ISO 15614-8:2017 | Specifikacija i kvalifikacija tehnologije zavarivanja metalnih materijala - Kvalifikacija tehnologije zavarivanja - Deo 8: Zavarivanje cevi za cevnu ploču | Specification and qualification of welding procedures for metallic materials - Welding procedure test - Part 8: Welding of tubes to tube-plate joints | EN ISO 15614-8:2016 | prSRPS EN ISO 15614-8:2016/A11:2021 EN ISO 15614-8:2016/prA11 | Direktive povezane sa ovim standardom 2014/68/EU Novi projekat |
| 47. | prSRPS EN ISO 17405:2021 | Ispitivanje bez razaranja — Ultrazvučno ispitivanje — Tehnika ispitivanja obloga dobijenih zavarivanjem valjanjem i eksplozijom | Non-destructive testing - Ultrasonic testing - Technique of testing claddings produced by welding, rolling and explosion | ISO/DIS 17405:2021 | SRPS EN ISO 17405:2016 | prEN ISO 17405 Novi projekat |
| 48. | SRPS EN ISO 17652-1 | Zavarivanje - Ispitivanje radioničkih osnovnih premaza (prajmera) u odnosu na zavarivanje i srodne postupke- Deo 1: Opšti zahtevi | Welding — Test for shop primers in relation to welding and allied processes — Part 1: General requirements | EN ISO 17652-1:2003 | prSRPS EN ISO 17652-1:2017 EN ISO 17652-1:2003 | Novi projekat |
| 49. | SRPS EN ISO 17663:2011 | Zavarivanje – Zahtevi kvaliteta pri termičkoj obradi vezanoj za zavarivanje i srodne postupke | Welding - Quality requirements for heat treatment in connection with welding and allied processes | EN ISO 17663:2009 | prSRPS EN ISO 17663:2021 prEN ISO 17663 rev | Novi projekat se prihvata 09.06.2021. |
| 50. | SRPS EN ISO 18274:2012 | Potrošni materijali za zavarivanje - Pune žičane i | Welding consumables - | EN ISO 18274:2010 | prSRPS EN ISO 18274:2020 | Novi projekat se prihvata |



| | | | | | | |
|-----|--------------------------|--|---|---------------------|--|---|
| | | pune trakaste elektrode, pune žice i pune šipke za zavarivanje topljenjem nikla i legura nikla – Klasifikacija | Solid wire electrodes, solid strip electrodes, solid wires and solid rods for fusion welding of nickel and nickel alloys - Classification | | ISO/DIS 18274:2021 | 11.05.2020. |
| 51. | SRPS EN ISO 18279:2009 | Tvrdo lemljenje - Greške u zalemljenim spojevima | Brazing - Imperfections in brazed joints | EN ISO 18279:2003 | prSRPS EN ISO 18279:2021 prEN ISO 18279 rev | Novi projekat se prihvata 18.05.2021. |
| 52. | SRPS EN ISO 17660-2:2009 | Zavarivanje - Zavarivanje betonskog čelika - Deo 2: Nenoseći zavareni spojevi | Welding — Welding of reinforcing steel — Part 2: Non load-bearing welded joints | EN ISO 17660-2:2006 | --- | |
| 53. | SRPS EN ISO 3581:2017 | Potrošni materijali za zavarivanje – Obložene elektrode za ručno elektrolučno zavarivanje nerđajućih i vatrootpornih čelika – Klasifikacija | Welding consumables - Covered electrodes for manual metal arc welding of stainless and heat-resisting steels - Classification | EN ISO 3581:2016 | prSRPS EN ISO 3581:2021 prEN ISO 3581 rev | Novi projekat se prihvata 28.05.2021. |
| 54. | SRPS EN ISO 5817:2015 | Zavarivanje — Spojevi zavareni topljenjem na čeliku, niklu, titanu i njihovim legurama (isključujući zavarivanje snopom) — Nivoi kvaliteta nepravilnosti | Welding - Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded) - Quality levels for imperfections | EN ISO 5817:2014 | prSRPS EN ISO 5817:2020 prEN ISO 5817, ISO/DIS 5817:2021 | |
| 55. | SRPS EN ISO 6520-1:2013 | Zavarivanje i srodni postupci - Klasifikacija geometrijskih nepravilnosti u metalnim materijalima - Deo 1: Zavarivanje topljenjem | Welding and allied processes — Classification of geometric imperfections in metallic materials — Part 1: Fusion welding | EN ISO 6520-1:2007 | prSRPS EN ISO 6520-1:2017 | |
| 56. | SRPS EN ISO 9455-9:2021 | Topitelji za meko lemljenje – Metode ispitivanja – Deo 9: Određivanje sadržaja amonijaka | Soft soldering fluxes — Test methods — Part 9: Determination of ammonia content | EN ISO 9455-9:2020 | ---- | |
| 57. | SRPS EN ISO 9606-2:2009 | Kvalifikacioni ispit zavarivača - Zavarivanje topljenjem - Deo 2: Aluminijum i legure aluminijuma | Qualification test of welders - Fusion welding - Part 2: Aluminium and aluminium alloys | EN ISO 9606-2:2004 | prSRPS EN ISO 9606-2:2009/A11:2021 EN ISO 9606-2:2004/prA11 | Direktive povezane sa ovim standardom 305/2011 Uredba o građevinskim proizvodima 2014/68/EU Novi projekat se prihvata |



| | | | | | | |
|-----|------------------------------|--|---|-------------------------|--|---|
| | | | | | | 01.04.2021. |
| 58. | SRPS EN ISO 9606-3:2008 | Ispitivanje u cilju provere zavarivača - Zavarivanje topljenjem - Deo 3: Bakar i legure bakra | Approval testing of welders - Fusion welding - Part 3: Copper and copper alloys | | prSRPS EN ISO 9606-3:2008/A11:2021 EN ISO 9606-3:1999/prA11 | Direktive povezane sa ovim standardom 2014/68/EU Novi projekat se prihvata 01.04.2021. |
| 59. | SRPS EN ISO 9606-4:2008 | Ispitivanje u cilju provere zavarivača - Zavarivanje topljenjem - Deo 4: Nikl i legure nikla | Approval testing of welders - Fusion welding - Part 4: Nickel and nickel alloys | EN ISO 9606-4:1999 | prSRPS EN ISO 9606-4:2008/A11:2021 EN ISO 9606-4:1999/prA11 | Direktive povezane sa ovim standardom 2014/68/EU Novi projekat se prihvata 01.04.2021. |
| 60. | SRPS EN ISO 9606-5:2008 | Ispitivanje u cilju provere zavarivača - Zavarivanje topljenjem - Deo 5: Titan i legure titana, cirkonijum i legure cirkonijuma | Approval testing of welders - Fusion welding - Part 5: Titanium and titanium alloys, zirconium and zirconium alloys | EN ISO 9606-5:2000 | prSRPS EN ISO 9606-5:2008/A11:2021 EN ISO 9606-5:2000/prA11 | Direktive povezane sa ovim standardom 2014/68/EU Novi projekat se prihvata 01.04.2021. |
| 61. | SRPS EN ISO 9606-1:2017 | Kvalifikaciono ispitivanje zavarivača – Zavarivanje topljenjem | Qualification test of welders — Fusion welding | EN ISO 9606-1:2017 | prSRPS EN ISO 9606:2020 prEN ISO 9606 rev | Novi projekat se prihvata 19.03.2020. |
| 62. | SRPS CEN ISO/TR 14745:2016 | Zavarivanje — Parametri termičke obrade posle zavarivanja na čelicima | Welding — Post-weld heat treatment parameters for steels | CEN ISO/TR 14745:2015 | --- | |
| 63. | SRPS CEN ISO/TR 15608:2017 | Zavarivanje — Uputstvo za sistem grupisanja metalnih materijala | Welding — Guidelines for a metallic materials grouping system | CEN ISO/TR 15608:2017 | --- | |
| | SRPS CEN ISO/TR 16060:2015 | Ispitivanje razaranjem zavarenih spojeva metalnih materijala — Sredstva za nagrizanje za makroskopsko i mikroskopsko ispitivanje | Destructive tests on welds in metallic materials — Etchants for macroscopic and microscopic examination | CEN ISO/TR 16060:2014 | ---- | |
| 64. | SRPS CEN ISO/TR 17641-3:2011 | Ispitivanje sa razaranjem zavarenih spojeva na metalnim materijalima – Ispitivanje zavarenih spojeva na tople prsline - Elektrolučni postupci zavarivanja-Deo 3: Ispitivanja sa spoljašnjim opterećenjem | Destructive tests on welds in metallic materials — Hot cracking tests for weldments — Arc welding processes — Part 3: Externally loaded tests | CEN ISO/TR 17641-3:2005 | ---- | |
| 65. | SRPS CEN ISO/TR 17844:2008 | Zavarivanje - Upoređivanje standardizovanih metoda sprečavanja hladnih prsline | Welding — Comparison of standardised methods for the avoidance of cold cracks | CEN ISO/TR 17844:2004 | ---- | |

Napomena: Obzirom na veliki broj i obim usvojenih i objavljenih standarda do kraja juna 2021. godine, u narednim brojevima časopisa će sukcesivno biti objavljeni ostali standardi iz tabele.

ČASOPIS ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE**Cenovnik oglasnog prostora u četiri uzastopna broja 2023**

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

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

WELDING & WELDED STRUCTURES, Quarterly review**Advertising prices for four successive numbers in 2023**

| | 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**

MESSER TEHNOGAS

REFIT INŽENJERING

YASKAWA SLOVENIJA

HONEX

ELIMP

NEMINIK

SIGMA LAB

EDC D.O.O. HRVATSKA

MESSE ESSEN – SCHWEISSEN &
SCHNEIDEN

1. ČLANARINA DUZS za 2023. godinu **3.500 dinara**
Članovima DUZS **GRATIS** godišnje izdanje časopisa "ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE"
2. ČASOPIS "ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE" - 2023. 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 2021. godinu 500 dinara
 - cena pojedinačnog broja za prethodne godine..... 250 dinara
 - b) beneficirane cene za članove DUZS:
 - cena pojedinačnog broja za 2022. godinu (pouzećem ili preuzimanjem) 400 dinara
 - cena pojedinačnog broja za prethodne godine (pouzećem ili preuzimanjem) Gratis
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