



ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE WELDING & WELDED STRUCTURES

God. 69 Vol. 69	Br. 4 No. 4	145-192 145-192	Beograd Belgrade	Srbija Serbia	2024. 2024.
--------------------	----------------	--------------------	---------------------	------------------	----------------

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
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 2024.

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 Čarnojevića 123, Beograd

Tiraž: 400 kom.

4/2024

SADRŽAJ

CONTENTS



NAUKA•ISTRAŽIVANJE•RAZVOJ

SCIENCE•RESEARCH•DEVELOPMENT

149

TVRDE LEGURE ZA NAVARIVANJA ZUBA BAGERA

HARDFACING ALLOYS FOR EXCAVATOR TEETH COATING

Maja B. Poser, Filip Zdraveski, Martin Petrevski, Miloš Pavlović, Vladan Jeremić



NAUKA•ISTRAŽIVANJE•RAZVOJ

SCIENCE•RESEARCH•DEVELOPMENT

157

**UTICAJ LASERSKOG SNOPI I SNAGE
ELEKTRIČNOG LUKA NA GEOMETRIJU ZAVARA KOD
HIBRIDNOG LASERSKOG ELEKTROLUČNOG
ZAVARIVANJA KONSTRUKCIONIH ČELIKA**

**EFFECT OF LASER BEAM AND ARC POWER ON
WELD BEAD GEOMETRY IN HYBRID LASER ARC
WELDING OF STRUCTURAL STEEL**

Martin Petreski, Dobro Runchev, Gligorche Vrtanoski, Filip Zdraveski, Marko Stankoski



NAUKA•ISTRAŽIVANJE•RAZVOJ

SCIENCE•RESEARCH•DEVELOPMENT

165

**UTICAJ BROJA OBRTAJA ALATA I BRZINE
ZAVARIVANJA NA ŽILAVOST I ZATEZNE
KARAKTERISTIKE ALUMINIJUMA AA 6060
ZAVARENOG POSTUPKOM ZTM**

**EFFECTS OF TOOL ROTATION AND WELDING
SPEEDS ON TOUGHNESS AND TENSILE STRENGTH
OF AA 6060 WELDED BY FSW**

Albert Hauck, Milan Pecanac, Nenad Kulundzic, Sebastian Balos



PRAKSA

PRACTICE

171

**ISPITIVANJE MIKROSTRUKTURE PAROVODA
VISOKOG PRITISKA NAKON 200 000 SATI RADA**

**EXAMINATION OF THE MICROSTRUCTURE OF HIGH-
PRESSURE STEAM PIPES AFTER 200 000 HOURS OF
OPERATION**

Resul Hamzić, Namik Džibrić, Sead Avdić



PRAKSA

PRACTICE

179

**TEHNOLOGIJA ZAVARIVANJA MAG POSTUPKOM
TRAMVAJSKE ŠINE 54G2 ZA BLOK OD COGIDURA
SA PODLOŠKOM OD BAKRA**

**MAG WELDING OF THE TRAM-RAIL 5G2 TO A
COGIDUR BLOCK WITH A COPPER BACKING**

Dragan Mitić, Nikola Jović, Davor Gruber



VESTI

NEWS

147

VESTI IN MEMORIAM - VERA BOŽIĆ

148

VESTI - SCHWEISSEN & SCHNEIDEN ESSEN: 15. - 19. SEPTEMBER 2025 - VODEĆI MEĐUNARODNI
SAJAM ZAVARIVANJA I SRODNIH POSTUPAKA
- DVS CONGRESS 2025

164

VESTI SAVETOVANJE SA MEĐUNARODNIM UČEŠĆEM ZAVARIVANJE 2024

187

VESTI SAVETOVANJE SA MEĐUNARODNIM UČEŠĆEM ZAVARIVANJE 2024-NASTAVAK

188

VESTI 77. GODIŠNJA SKUPŠTINA MEĐUNARODNOG INSTITUTA ZA ZAVARIVANJE I MEĐUNARODNA
KONFERENCIJA, RODOS, GRČKA, 07-12. JUL 2024.

192

MARKETING



IN MEMORIAM

VERA BOŽIĆ



1950-2024

Šesnaestog novembra ove godine preminula je naša draga koleginica u penziji, gospođa Vera Božić, koja je gotovo ceo svoj radni vek provela u zavarivačkim asocijacijama naše zemlje.

Vera Božić je rođena 16.01.1950. godine u Beogradu, gde je završila osnovnu školu i gimnaziju. Apsolvirala je 1974. godine na Filološkom fakultetu Univerziteta u Beogradu na Katedri za italijanski jezik i književnost.

Na sreću zavarivačke zajednice u tadašnjoj državi, Vera se nije zaposlila u struci, već 1983. godine u Jugoslovenskom savezu za zavarivanje, gde je formalno ostala do 2003. godine, a nakon toga je nastavila da radi u Društvu za unapređivanje zavarivanja u Srbiji (DUZS) sve do 2010. godine. Praktično skoro tri decenije je značajno doprinosila svim aktivnostima u oblasti zavarivanja u Srbiji i regionu.

Bez preterivanja se može reći da je doprinos Vere Božić u razvoju zavarivačke misli, ne samo u Srbiji, već i u bivšoj Jugoslaviji u periodu od 1983. godine veliki. Savremenici iz tog perioda je jasno koliko je bilo potrebno truda, rada i autoriteta da bi se uspešno koordinisale aktivnosti članica Jugoslovenskog saveza za zavarivanje i/ili DUZS-a. Vera Božić je bila konstanta u toj administraciji, članovi rukovodstva Jugoslovenskog saveza su se menjali, ali naša Vera je ostajala i opstajala. Njeno iskustvo i veština u komunikaciji sa članovima Saveza ili Društava za zavarivanje je bilo nešto što je značajno doprinelo da zavarivačka zajednica opstaje i pored perioda koji su bili u najmanju ruku složeni. Isto važi i za časopis "Zavarivač", kasnije "Zavarivanje i zavarene konstrukcije" koji je trebalo održati u teškim uslovima. Njen doprinos je daleko prevazilazio administrativni deo aktivnosti.

Sećamo se vremena kada su članovi zavarivačke zajednice imali različite vrste problema, kako u organizaciji međunarodnih ili saveznih konferencija, savetovanja ili u obezbeđivanju učešća Jugoslovenske delegacije u radu Međunarodnog instituta za zavarivanje, koja je u to vreme brojala više desetina članova. Rešavanje tih problema se podrazumevalo, jer se znalo da će to da uradi Vera. Naša Vera je mogla jedina svojim pristupom i umećem da olakša sve što je bilo u nadležnosti rukovodstava asocijacija. Ne treba podsećati na period kada se Jugoslovenski savez "gasio", a Društvo za unapređivanje zavarivanja u Srbiji osamostaljivalo. Vera je bitno uticala i učinila da se to obavi bez potresa.

U periodu od 2003. godine ključno je uticala na kontinuiranu aktivnost DUZS kao nastavljača aktivnosti Jugoslovenskog saveza, a od 2004. aktivno je učestvovala u formiranju ovlašćenog nacionalnog tela za obrazovanje osoblja u zavarivanju, ANB-a za Srbiju.

Posle odlaska u penziju, 2010. godine, ostala je u vezi sa Društvom za unapređivanje zavarivanja svojim savetima, pomoći, iskustvom, kako direktno, tako i preko svoje ćerke, naše Vesne, koja nastavlja utabanim putem.

Članovi Društva za unapređivanje zavarivanja u Srbiji i oni koji su učestvovali u radu Jugoslovenskog saveza za zavarivanje večno će čuvati sećanje na gospođu Veru Božić, na njen karakter, odlučnost i predanost sa kojima je pristupala obavezama i zaduženjima, osmeh i doslednost kojima je razoružavala svakog ko bi pokušao da skrene sa pravog puta. Nedostajće nam naša Vera, ali ostaje naše zadovoljstvo što smo imali privilegiju da radimo i sarađujemo sa njom.

Hvala na svemu.

Zavarivačka zajednica Srbije

Dr Vencislav Grabulov, dipl.ing.



Schweissen & Schneiden Essen: 15. - 19. September 2025 - Vodeći međunarodni sajam zavarivanja i srodnih postupaka

SCHWEISSEN & SCHNEIDEN, svetski vodeći sajam za zavarivanje i srodne postupke, obaveštava da su značajne kompanije iz svih sektora sajma potvrdile svoje učešće pre početka događaja 15. septembra 2025. godine u Messe Essenu (Nemačka). Više od 70 procenata izložbenog prostora je već rezervisano. Globalni lideri, kao što su FRONIUS International, Panasonic, MicroStep, Messer Cutting Systems i Messer SE, Trumpf, LORCH i OTC, su potvrdili svoje učešće. SCHWEISSEN & SCHNEIDEN 2025 biće posvećen komunikaciji, umrežavanju i razmeni unutar industrije. Pod motom „Pridružite se budućnosti“, na Messe Essenu će se od 15. do 19. septembra 2025. godine diskutovati o temama koje trenutno oblikuju i definišu industriju. Da je SCHWEISSEN & SCHNEIDEN 2025 nezamenjiva platforma, dokaz je izvanredan status rezervacija na svetskom vodećem sajmu za spajanje, sečenje i premazivanje, čiji prateći program nudi mnoge atrakcije za posetioce i izlagače. Novi Future Hub proslaviće svoju premijeru kao centralni prostor u sredini sajma, pružajući okvir za dinamičan dnevni program. Izvor: <https://www.schweissen-schneiden.com/joining-cutting-surfacing/>

Bojan Gligorijević

DVS KONGRES 2025

DVS KONGRES 2025 održaće se paralelno sa svetskim vodećim sajmom SCHWEISSEN & SCHNEIDEN u Esenu. DVS KONGRES će stoga ponovo obuhvatiti sve koji su uključeni u industriju. Korisnici su pozvani da izveštavaju o modernim opcijama proizvodnje i implementacijama direktno iz preduzeća. Proizvođačima će biti pružena prilika da predstave potencijal novih razvoja tehnologija spajanja i usluga duž lanca vrednosti. Ovaj obećavajući koncept dolazi nakon što je tehnologija zavarivanja uspela da poveća svoju proizvodnu vrednost za 9,9 procenata u 2023. godini. Kompanije u oblasti zavarivanja su postigle snažan rast, što industrija šalje kao pozitivan signal u teškom ekonomskom okruženju. Sajam će pokazati kako industrija može da se dalje razvija. Globalna pitanja kao što su energija, mobilnost, digitalizacija, zaštita klime i održivost nastavljaju da predstavljaju nove izazove za tehnologije spajanja, separacije i premazivanja. Izvor: https://upload.dvs-events.com/events/7_dvscongress_25

Bojan Gligorijević



SIGMA LAB

**ISPITIVANJE MATERIJALA
& ZAVARENIH SPOJEVA**

Za svako poštovanje! Preporuka.
Nenad Micić, Siemens Mobility

Najbolji u Srbiji. Za svaku preporuku.
Milan Grujić, Šinvoz

Tačni, precizni, brzi, profesionalni.
Ivan Rakić, Odžačar-Kotloremont

www.sigmalab.rs



Maja B. Poser¹, Filip Zdraveski^{1,a}, Martin Petrevski^{1,b}, Miloš Pavlović², Vladan Jeremić²

HARDFACING ALLOYS FOR EXCAVATOR TEETH COATING TVRDE LEGURE ZA NAVARIVANJA ZUBA BAGERA

Original scientific paper / Originalni naučni rad

Paper received / Rad primljen

August 2024.

Paper accepted / Rad prihvaćen

November 2024.

Author's address / Adresa autora

¹ University „Ss. Cyril and Methodius“, Faculty of Mechanical Engineering, Karposh II bb, 1000 Skopje, Republic of North Macedonia

² Welding Institute, Grčića Milenka 6, Belgrade, Serbia

Email / ORCID ID

^a filip.zdraveski@mf.edu.mk

^b martin.petreski@mf.edu.mk / 0000-0001-6308-3366

Keywords: abrasive wear, roto excavator, bucket teeth, hardfacing alloys

Ključne reči: abrazivno habanje, roto bager, zubi bagera, tvrdo navarivanje

Abstract

The capacity of the rotor excavator depends to a significant extent on the bucket teeth. Abrasive wear of cutting teeth and cutting edges is typical when digging sand, sandy clay and gravel in common rock environments. Of particular importance is the contribution of the correct geometry of the teeth, their position on the bucket, and especially their sharpness, which they lose over time. Over time, teeth become blunt due to abrasive wear and their geometry changes. The digging resistance becomes greater, and therefore the efficiency of the rotor excavator decreases. White cast iron stands out as a base alloy that has wear resistance, but has very low toughness and often brittle fracture under impact loads. Manganese steel, although it has the property of deformation strengthening, has no wear resistance when digging in sand. This condition can be improved by choosing a material more resistant to abrasive action. Excavator teeth that fail due to abrasive wear can be protected from abrasive wear by the use of hardface coating. These hardfacing alloys are presented in this paper.

Rezime

Kapacitet rotobagera u značajnoj meri zavisi od zuba za kopanje. Abrazivno habanje reznih zuba i reznih ivica je tipično kada se kopa pesak, peskovita glina i šljunak u uobičajenom kamenom okruženju. Od posebnog značaja je doprinos pravilne geometrije zubaca, njihovog položaja na korpu, a posebno njihove oštine, koju vremenom gube. Vremenom zubi postaju tupi zbog abrazivnog habanja i menja se njihova geometrija. Otpor kopanja postaje veći, a samim tim i efikasnost rotobagera se smanjuje. Belo liveni gvožđe se izdvaja kao osnovna legura koja ima otpornost na habanje, ali ima nisku žilavost i često dolazi do krčkog loma pod udarnim opterećenjem. Manganski čelik, iako ima svojstvo jačanja, pri kopanju u pesku nema otpornost na habanje. Ovo stanje se može poboljšati odabirom nekog materijala otpornijeg na abrazivno dejstvo. Zubi bagera koji otkazuju usled abrazivnog habanja mogu se zaštititi od abrazivnog habanja upotrebom tvrdog oblaganja. Ove tvrde legure su predstavljene u ovom radu.

The paper was published in its original form in the Proceedings of the 33rd Conference with international participation "Welding 2024" held in Vrnjačka Banja, Serbia from October 2 to 5, 2024.



1. Introduction

In the mining industry, the abrasion of the components is a common occurrence in machines that perform excavation, transport and processing of ores and minerals. Abrasion is often significant, leading to component failure (Figure 1) that has a significant economic effect on the process [1].



Figure 1. Blunt bucket teeth

Slika 1. Tupi zubi kašike

The excavator bucket teeth commonly undergo the dynamic of wear processes on which material characteristics of bucket teeth should have good strength, good toughness and surface hardness. Toothed excavators work under very complex circumstances with loading and unloading periods, and consequently, the steel to make these components should be selected applying a

balanced criterion between a relatively good toughness and enough hardness to withstand abrasive factors. Nevertheless, under load, the teeth coated with hardened materials may be subjected to cracks propagating through the thickness of the coating or interfacial decohesion (Figure 2) which leads to failures.



Figure 2. Delamination of hardfaced layers

Slika 2. Delaminacija navarenih slojeva

Weldability is an additional property to be considered in the selection of the base material in

order to allow for easy coating application in those zones exposed to abrasion [3].



The different types of hard facing materials which are wear resistant can be employed on the substrate surface of excavator bucket teeth material. For example, steel alloys containing Cr, V and Nb could be welded onto the steel surface. This protection method may be an efficient solution for excavator bucket teeth wear protection.

Nowadays, an excavator tooth is considered successful in terms of abrasion resistance, if it is replaced after a week of excavation on the rotor excavator.

2. Principle of substrate selection and coating application

In order to evaluate the teeth and study which hardfacing alloy is most suitable in terms of abrasion for a given excavation case, it is necessary to select a substrate and weld metal overlay alloy.

Non-hardfaced excavator teeth used for excavation are made of high tensile steels that can be hardened and tempered [4] and offer good combination of ductility and hardness combined with excellent resistance to shock. Usually, if these teeth are insufficient in terms of abrasion, they are used as a surfacing substrate. Such an example is shown in table 1.

Table 1. Chemical composition (wt.%) of high tensile steel 22Mn6 (w.nr.1.1160)

Tabela 1. Hemijski sastav (mas.%) visokozateznog čelika 22Mn6 (w.nr.1.1160)

C [%]	Si [%]	Mn [%]	Ni [%]	Cr [%]	Mo [%]	S [%]	P [%]	Fe [%]
0.15-0.25	0.10-0.35	1.30-1.70	0.40 max	0.25 max	-	0.06 max	0.06 max	rest

Tool steels can also be considered as a substrate material because they have good wear resistance [5]. However, they have high hardness which makes them sensitive to notches. This may lead to large carbides acting as crack initiators in the fatigue process. Fatigue occurs when the material is exposed to altering/pulsating load. Also, sharp corners and sharp edges in combination with high hardness may also act as places for crack initiation at fatigue loading. For this reason, the high tensile steel with proper heat treatment is more appropriate as excavator bucket teeth substrate.

The welding of hardfacing alloys on the substrate is usually performed in minimum two

steps [6]: a first layer is directly applied over the metallic base, with high percent of dilution. Because of that this layer is not representative of the actual composition of the coating material. This is basic bonding interlayer. So, a second layer is applied over the first one avoiding the dilution problems especially with the carbon. It is the second layer that really resists abrasion (Figure 3). If it is economic, 3 layers are applied, therefore the last two layers are both wear resistant.

The deposition is usually of stringer beads without any transverse oscillation of the electrode which controls the dilution rate within limits.

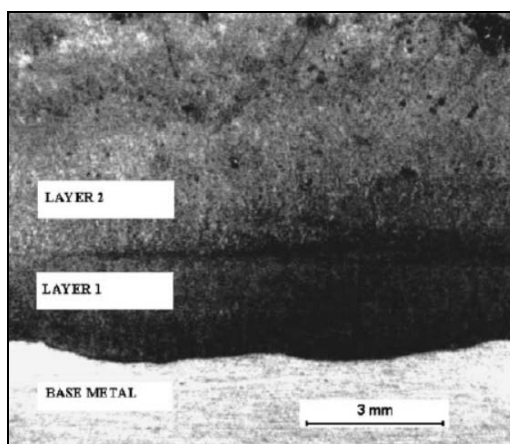


Figure 3. Application of hardfacing alloy in two layers (interlayer and abrasion resistant layer)

Slika 3. Nanošenje legure za navarivanje u dva sloja (međusloj i sloj otporan na abraziju)



3. Materials and methods

3.1 Materials used for hardfacing

Hardfacing consumables can be broadly classified into four groups [7]: iron-based, cobalt-based, nickel-based, and tungsten alloys. They are commercially available in different forms.

Iron-based alloys are most cost-effective group of hardfacing alloys and are mostly used for applications including abrasion, impact, and thermal fatigue resistance. They can be further divided into two subgroups: iron-based with less than 20% alloying elements (steel alloys) and iron-based with more than 20% alloying elements (usually, Cr cast iron alloys) [8].

Alloying elements for the iron-based hardfacing consumables include C, Mn, Cr, Mo, Cu, Ni, Co, V,

Ti, W, Nb, and B (Table 2). They form one or more of the microstructures, including austenite, ferrite, martensite, and carbides, depending on the constituent alloying elements. Iron-based hardfacing alloys with high content of Cr and Mo promote formation of hard carbide and boride phases, which enhances their abrasion resistance properties. These alloys can possess various matrix structures, including austenitic, martensitic, pearlitic, ferritic, or combination of these structures. Some iron-based alloys, like high-chromium carbides, may have transverse surface cracks on hardfacing deposits. Despite these cracks ('relief checks'), the deposits are suitable for many applications in the mining and earth engaging industries.

Table 2. Chemical composition (wt.%) of four hardfacing iron-based electrodes

Tabela 2. Hemijski sastav (mas.%) četiri elektrode za navarivanje na bazi železa

Hardfacing alloy	C [%]	Si [%]	Mn [%]	Nb [%]	Cr [%]	Mo [%]	S [%]	P [%]	Fe [%]
OK 83.50 (H6.25Cr)	0.4	0.6	1.0	0.6	6.0	1.3	-	-	rest
OK 84.78 (H33Cr)	4.5	0.8	1.6	-	33	-	-	-	rest
OK 84.80 (H23Cr)	5.0	2.0	0.7	-	23	-	-	-	rest
OK 83.65 (H2Cr)	0.75	0.4	0.6	-	2.0	-	0.03	0.03	rest

Cobalt-based group of alloys are used for applications that require good wear, oxidation, corrosion, and heat resistance combined with high hot hardness. The cobalt–chromium–tungsten alloy is one of the most versatile and expensive alloys in hardfacing industries [9].

Nickel-based alloys are used mostly for applications that require wear and corrosion resistance at high temperatures [10].

Tungsten Alloys are used for extreme abrasion resistance applications. Tungsten carbide is one of the hardest materials in industrial use and is brittle. Tungsten carbide particles do not melt with the welding arc flames [11].

Based on previous research, high chromium iron-based alloys are the most common and economical alloys for abrasion resistance hardfacing, while nickel-based and cobalt-based alloys are suitable for wear and corrosion resistance hardfacing at high temperatures [12].

Figure 4 provides a general idea of different groups of consumables based on specific application requirements [13]. Standards and guidelines provided in relevant technical publications should also be considered for optimal consumable selection.

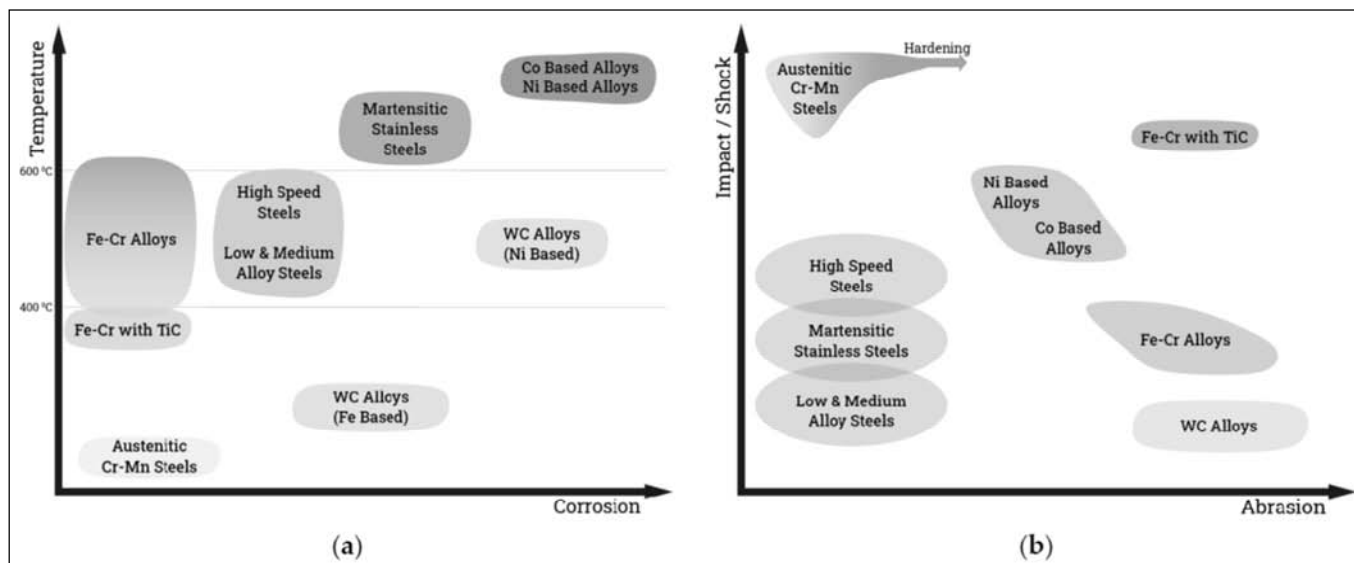


Figure 4. Hardfacing consumables for (a) corrosion and temperature, and (b) abrasion and impact resistance application

Slika 4. Dodatni materijali za navarivanje za (a) primenu u uslovima korozije i visokih temperatura i (b) otpornost na abraziju i udar

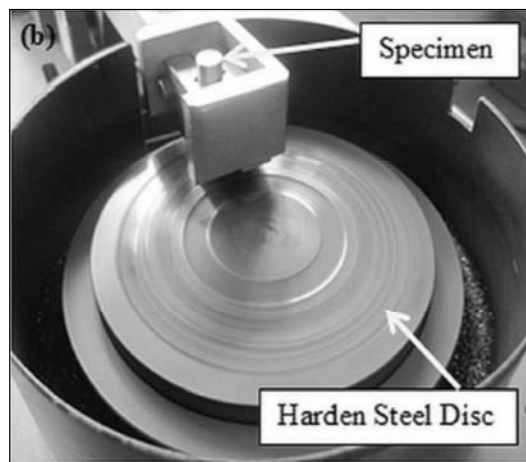
3.2 Testing method

The performance of hardfacing coating can be verified in two ways, in the laboratory or through field testing. In both methods, the mass loss parameter is used as an indicator of how successful the hard alloy is in terms of abrasion [14].

Laboratory tests used to evaluate the degree of abrasion are the methods: pin on dry disc with 62-65 HRC, dry test of rotating vulcanized rubber disc with abrasive granule against the sample, and test of rotating vulcanized rubber disc with abrasive granule submerged in water against the sample (Figure 5).



(a)



(b)

Figure 5. Test methods: (a) specimen against rubber disk with abrasive material and (b) pin on dry disk

Slika 5. Metode ispitivanja: (a) uzorak na gumenom disku sa abrazivnim materijalom i (b) igla na suvom disku

A testing force is applied to the sample which, depending on the standard, can be from 30 to 200N. The linear testing velocity of the specimen is approximately around 1 m/s.

Test specimen for the pin on disk method is cylindrical pin of diameter 8mm and length 30mm, hardfaced at their cross-section on one side and subsequently machined to specified sized.



Test samples for test method against vulcanized rubber and abrasive sand are prismatic blocks with dimensions 54x20mm, and 20-24mm thick. They

are previously coated with hardfacing alloy on one side.



Figure 6. Influence of tooth position on degree of abrasion in SRS 2000 rotor excavator

Slika 6. Uticaj položaja zuba na stepen abrazije na rotoru bagera SRS 2000

Unfortunately, the only method that ensures a right evaluation of the component performance is to carry out real field test, which is very tedious and expensive procedure. Field testing of the bucket teeth is complicated because the position of the teeth on the bucket has an important influence on wear (Figure 6). More testing should be carried out, where the teeth will be changed to different positions and on different baskets to minimize the influence of their position [15].

Other important inputs to the field test, not related to the alloy and welding, are: height of

support of the arm, displacement of the support of the arm, number of buckets, angle of attack, average height of the excavation, etc.

Most importantly, no direct correlation between laboratory and field results is possible.

4. Results and discussion

A test was made that included MMAW of different hardfacing alloys on a substrate of high tensile steel 22Mn6. Welding parameters used in the test are given in Table 3.

Table 3. Welding parameters used in the test

Tabela 3. Parametri navarivanja primenjeni tokom testa

Parameters	OK 84.78	OK 84.80	OK 83.50	OK 83.65
Electrode diameter (mm)	3.2	3.2	3.2	3.2
Arc voltage (V)	26	24	18	25
Welding current (A)	128	118	119	125
Welding speed (mm/min)	90-110	90-110	90-110	90-110
Preheating for 1 hour (°C)	180°C	180°C	180°C	180°C
Deposition rate (kg/h)	2.4	2.2	2.1	2.4



The dilution rate, during the process of hardfacing is minimized with three layered multi-pass welding. First layer is done with 2 mm thick layer, and then the surfacing of the second and third layers is done with similar electrodes.

The hardfaced teeth were fitted onto the excavator bucket in place of the standard (uncoated) teeth and field experiment was carried out.

After the test, the teeth revealed various amount of wear shown in Table 4. The wear damage starts from the end of the leading edge and moving inwards, towards the base of the tooth were very little or no wear can be observed. Because of the high abrasiveness of and Moss hardness of the sandy soil, the abrasion is relatively severe.

Table 4. Wear rates and wear rate indices (WRI)

Tabela 4. Brzine habanja i indeksi brzine habanja (WRI)

Hardfacing electrode	Wear rate (gr/hr)	WRI
Uncoated tooth	1.900	1
OK 84.78 (33Cr)	0.110	17.27
OK 84.80 (23Cr)	0.250	7.60
OK 83.50 (6Cr)	0.933	2.03
OK 83.65 (2Cr)	1.436	1.32

5. Conclusions

1. Hardfaced excavator tooth with 33Cr alloy shows almost no wear damage. This is due to the high abrasive wear resistance of the chromium carbides in the coated layers.

2. The tooth hardfaced with 23Cr alloy shows very little damage after field test. The substrate material was not exposed to wear.

3. The 6Cr hardfaced after testing period showed some wear damage and wear of the underlying substrate.

4. The tooth with 2Cr coated layer, underwent severe wear damage. Hardfacing alloy with 2%Cr does not provide much abrasive wear resistance in comparison to other alloys.

5. The outcome of the field test shows that as the percent of chromium (Cr) composition increases in the hardfacing alloy, the abrasive wear resistance improves. Also, the alloy with 2% Cr cannot provide additional wear resistance.

5. Zaključci

1. Zub bagera sa navarom od legure 33Cr pokazuje gotovo nikakvo oštećenje usled habanja. To je zbog visoke otpornosti na abrazivno habanje hromovih karbida u slojevima navara.

2. Zub sa navarom od legure 23Cr pokazuje neznatno oštećenje nakon terenskog ispitivanja. Materijal podloge nije bio izložen habanju.

3. Zub sa navarom od 6Cr nakon testiranja pokazuje određeno oštećenje, kao i habanje osnovnog materijala.

4. Zub sa prevlakom od 2Cr pretrpeo je ozbiljno oštećenje usled habanja. Legura za navarivanje sa 2% Cr ne pruža veliku otpornost na abrazivno habanje u poređenju sa drugim legurama.

5. Rezultati terenskog testa pokazuju da se sa povećanjem procenta hroma (Cr) u leguri za navarivanje povećava i otpornost na abrazivno habanje. Takođe, legura sa 2% Cr ne pruža dodatnu otpornost na habanje.

References / Literatura

[1] J.E. Fernandez, R.Vijande, R. Tucho, J. Rodriguez, A. Martin, (2001): Materials selection to excavator teeth in mining industry, Wear 250, 11-18

[2] S.Singa, A.S.Kang, J.S. Grewal, G.S. Cheema, (2014): Wear behavior of weld overlays on excavator bucket teeth, Procedia Material Science 5, 256-255

[3] R.Ismail, Z.Muhammad, J.Jamari, A.P.Bayuseno, (2020): Designing and wear testing of excavator bucket teeth for the need of Indonesian mining, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, vol.15 no.1, pp.21-26

[4] S.Singa, V.Shibe, J.S.Grewal, (2011): Comparative study of hard faced excavator bucket teeth against abrasive wear using MMAW process,



International Journal of Materials Science and Engineering, vol.2 no.1-2, 5-8

[5] A. Kang, J.S. Grewal, D.Jain, S.Kang, (2012): Wear behavior of thermal spray coatings on rotavator blades, Journal of Thermal Spray Technology 21-2, 355-359

[6] Shibe, V.; Chawla, (2013): V. An overview of research work in hardfacing, Mech. D.Tandon, H.Li, Z.Pan, D.Yu, W.Pang, (2023): A Review on Hardfacing Process Variables, Challenges, and Future Works, Metals 13-9, 1512

[7] D.Tandon, H.Li, Z.Pan, D.Yu, W.Pang, (2023): A Review on Hardfacing Process Variables, Challenges, and Future Works, Metals 13-9, 1512

[8] Ahn, D.-G. (2013): Hardfacing technologies for improvement of wear characteristics of hot

[9] Venkatesh, B.; Sriker, K.; Prabhakar, V.S.V. (2015): Wear Characteristics of Hardfacing Alloys: State-of-the-art, Procedia Mater. Sci. 10, 527–532

[10] Digambar, B.S.; Choudhary, D. (2014): A review paper on hardfacing processes, materials, objectives and applications. Int. J. Sci. Res.

3,2400–2402 working tools: A Review, Int. J. Precis. Eng. Manuf. 14, 1271–1283

[11] Pradeep, G.R.C.; Ramesh, A.; Prasad, B.D, (2010): A review paper on hardfacing processes and materials, Int. J. Eng. Sci. Technol. 2, 6507–6510.

[12] Venkatesh, B.; Sriker, K.; Prabhakar, V.S.V. (2015): Wear Characteristics of Hardfacing Alloys: State-of-the-art, Procedia Mater. Sci. 10, 527–532

[13] B. Gerard, (2016): Fundamentals of Hardfacing by Arc Welding; Welding Alloys, Florence, KY, USA, –47

[14] ISO 28080:2021-Hardmetals-Abrasion tests for hard metals

[15] F.Miletic, P.Jovanovic, S.Djenadic, (2018): Behavior Determining of Bucket Wheel Drive Depending on the Wear Impact of the Cutting Elements, Procedia Structural Integrity 13, pp.1644-1650



SVIM ČITAOCIMA ŽELIMO SREĆNE NOVOGODIŠNJE I BOŽIĆNE PRAZNIKE!!



Martin Petreski^{1,a}, Dobre Runchev^{1,b}, Gligorche Vrtanoski^{1,c}, Filip Zdraveski^{1,d}, Marko Stankoski^{1,e}

EFFECT OF LASER BEAM AND ARC POWER ON WELD BEAD GEOMETRY IN HYBRID LASER ARC WELDING OF STRUCTURAL STEEL

UTICAJ LASERSKOG SNOPI I SNAGE ELEKTRIČNOG LUKA NA GEOMETRIJU ZAVARA KOD HIBRIDNOG LASERSKOG ELEKTROLUČNOG ZAVARIVANJA KONSTRUKCIONIH ČELIKA

Original scientific paper / Originalni naučni rad

Paper received / Rad primljen

August 2024.

Paper accepted / Rad prihvaćen

November 2024.

Author's address / Adresa autora

¹ University „Ss. Cyril and Methodius“, Faculty of Mechanical Engineering, Karposh II bb, 1000 Skopje, Republic of North Macedonia

Email / ORCID ID

^a martin.petreski@mf.edu.mk / 0000-0001-6308-3366

^b dobre.runchev@mf.edu.mk / 0000-0001-7657-1799

^c gligorche.vrtanoski@mf.edu.mk

^d filip.zdraveski@mf.edu.mk

^e marko.stankoski@student.mf.edu.mk

Keywords: weld bead, hybrid welding, laser beam, arc current

Ključne reči: geometriju zavara, hibridno zavarivanje, laserski snop, električni luk

Abstract

Hybrid Laser Arc Welding – HLAW combines the advantages of Laser Beam Welding - LBW and Gas Metal Arc Welding - GMAW, resulting in a welding process of high welding speed, less heat input, deeper penetration into the welding material, and increased process efficiency compared to conventional welding processes. The merger of the two heat sources, laser beam and arc, in a single welding process leads to a weld joint characterized by two zones, an upper-wide zone or laser-arc zone and a lower narrow zone or laser zone. This study investigates the impact of laser beam and arc currents on the weld bead geometry in the arc-leading hybrid laser arc welding process of 12 (mm) structural steel. Through systematic experimentation, single-pass hybrid laser arc welds were performed in a butt joint configuration with zero-gap at various power settings, laser beam power range 10 - 13 (kW), and arc current range 340 - 400 (A) to determine their influence on weld bead width, height, and depth. The quality level of the hybrid laser arc welds was evaluated according to ISO 12932.

Rezime

Hibridno zavarivanje laserskim snopom i električnim lukom (HLAW) kombinuje prednosti zavarivanja laserskim snopom – LBW i zavarivanja električnim lukom – GMAW, što rezultira procesom zavarivanja velikim brzinama zavarivanja, manje termičko opterećenje, povećanu penetraciju i efikasnost procesa u poređenju sa konvencionalnim procesima zavarivanja. Efekat spajanja dva izvora toplote, laserskog snopa i električnog luka, u jednom procesu zavarivanja vodi do zavarenog spoja koji karakterišu dve zone, gornju – široku zonu ili zonu laserskog snopa i električnog luka i donju – usku zonu ili zonu lasera. Ova studija istražuje uticaj laserskog snopa i električnog luka na geometriju zavara kod hibridnog laserskog elektrolučnog zavarivanja konstrukcijskog čelika debljine 12 (mm). Kroz sistemski eksperiment, izvedeni su hibridni zavari sa jednim prolazom u konfiguraciji sučeonog spoja bez zazora pri različitim podešavanjima snage: opsegom snage laserskog snopa 10-13 (kW) i opsegom struja električnog luka 340 – 400 (A) da bi se odredio njihov uticaj na geometriju zavara, širinu, visinu i dubinu.

The paper was published in its original form in the Proceedings of the 33rd Conference with international participation "Welding 2024" held in Vrnjačka Banja, Serbia from October 2 to 5, 2024.



The results indicate that increasing laser beam power enhances weld bead depth and narrows bead width, while the arc current is directly related to weld bead height and overall smoothness. The findings show that weld bead geometry is a function of laser beam and arc power ratio, an increased ratio leads to a narrow weld bead and vice versa.

1. Introduction

Gas Metal Arc Welding – GMAW is a conventional joining process widely used for welding structural steel in various engineering fields such as shipbuilding, civil construction, and metallurgy [1]. Its flexibility and efficiency allow quality welding of materials with different thicknesses and complex shapes. Consequently, several innovations in this welding process that contribute to its improvement [2]. One of the improvements is automated hybrid laser arc welding, whereby combining the advantages of two different processes, Laser Beam Welding – LBW and semi-automatic welding processes such as Gas Metal Arc Welding – GMAW or Flux-Cored Arc Welding – FCAW represents an excellent substitute for conventional welding processes [3]. This combination results in a welding process characterized by high welding speeds, low heat input, high penetration depth into the welding material, and precise control over the weld bead's chemical composition.

Although Hybrid Laser Arc Welding (HLAW) offers numerous advantages, it also presents certain limitations [4]. The most significant limitation is controlling a large number of welding parameters in order to acquire welds with acceptable quality. The values of the parameters that are ideal for each process separately are probably not optimal for successful welding with HLAW due to mutual influence. Current research has shown that hybrid laser arc welding parameters are not specified enough to replicate the conditions for a particular operation [5]. Mainly, the weld quality and weld bead geometry in HLAW depend on the ratio between the two heat sources, laser power and arc power, that can be calculated by dividing the laser power by the arc power [14]. The weld quality is evaluated in terms of its mechanical characteristics, microstructure, and weld bead geometry. In practice, maximum weld penetration and minimum weld bead height and width are always required, and hybrid laser arc welding can achieve these requirements [6].

Nivo kvaliteta hibridnih laserskih zavarenih spojeva je ocenjen u skladu sa ISO 12932. Rezultati pokazuju da povećanje snage laserskog snopa sužava i povećava dubinu zavara, dok je struja električnog luka direktno povezana sa visinom zavara i opštom glatkoćom. Zaključak je da je geometrija zavara funkcija odnosa snage laserskog snopa i električnog luka, odnosno da povećanje odnosa dovodi do suženje zavara.

Generally, if the laser-arc power ratio is not appropriate that will have adverse effect on weld quality. Weld humping and lack of penetration are the most significant imperfections affecting the fatigue life of the hybrid weld. The amount of heat input is the main parameter directly related to these two imperfections [7].

Therefore, this paper will investigate the influence of the laser-arc power ratio on the weld bead geometry in the arc-leading hybrid laser arc welding process of 12 (mm) structural steel S355J2. Several single – pass hybrid laser arc welds were performed in a butt joint configuration with zero-gap at various power settings, laser beam power range 10 - 13 (kW), and arc current range 340 - 400 (A) to determine their influence on weld bead width, height, and depth. After the welding, the quality level of the hybrid laser arc welds was evaluated according to ISO 12932.

2. Hybrid laser arc welding parameters

A detailed understanding of the parameters involved in Hybrid Laser Arc Welding (HLAW) is crucial to comprehending their overall impact on the welding process. In HLAW, the laser power is the main heat source that determines the penetration depth, while the arc current influences the weld width and the weld gap fill [2, 3]. Based on the weld cross-section area, hybrid laser arc welding has a higher melting efficiency than the individual LBW and GMAW welding processes.

Laser type and power – is one of the densest energy sources for welding. The output power $P_L(W)$ and wavelength (λ) are the most important parameters for choosing the laser type. The penetration is directly proportional to the laser output power, and therefore, it represents the main parameter in the selection of the type of laser [4].

Positioning of the laser beam and the electric arc – the HLAW can be set up in two directions, laser leading and arc leading, despite the fact that they act on the same point. The distance between



the laser source and the arc is an essential parameter for controlling penetration in hybrid laser arc welding. It usually consists of a few millimeters, and the separation distance is in the range of 0 to 5 mm [7].

Focal positioning – Laser heat sources use a focusing system to focus the energy on a single point, thus increasing the heat flux.

Work angle of the electrode – It affects the penetration of the weld and is directly related to the shielding gas flow, thereby influencing the absorption of laser energy [8].

Shielding gas and flow rate – In HLAW the inert shielding gas has a fundamental role of stabilizing the arc and in turn, the stability of the welding process and the weld quality [9]. Shielding gases like Argon (Ar) and Helium (He) are used to protect the weld pool from the atmosphere and stabilize the arc. Helium increases penetration depth, while Argon stabilizes the arc. A small amount of oxygen can also reduce spatter and improve metal transfer. The gas flow rate must be optimized to ensure sufficient plasma suppression and protection of the weld pool without causing turbulence [3, 9, 10].

Welding speed – Welding speed is a critical parameter in HLAW, directly affecting penetration depth and weld quality. The weld penetration and weld width are inversely affected by the welding speed [11].

Wire feed rate – A higher wire feed rate increases the weld's cross-sectional area and can speed up the process, but it also requires a corresponding increase in current to maintain arc stability. The balance between wire feed rate and welding speed is essential for achieving the desired weld shape and penetration [2, 12].

Effects of GMAW current, voltage, and polarity – Due to the high welding speed, the metal transfer mode is crucial to obtaining a stable and repeatable welding process. Therefore, spray transfer or pulsed GMAW are typically used instead of short-circuiting or globular transfer [1]. The type of the current and its polarity is another parameter that affects the process stability.

Joint gap width and edge preparation – HLAW can easily achieve acceptable welds with joint gaps of 1 mm. The main parameter is the laser-arc

power ratio that influences joint gap and welding speed [11].

3. Materials and methods

The welding experiments of the present study were conducted on 12 (mm) thick plates of structural steel in quality S355J2. The pieces were cut to dimensions 150 x 400 (mm) before welding preparation. The welds were performed in an I-joint configuration with zero-gap. The welding wire used for HLAW was a solid wire G3Ni1 according to EN ISO 14341-A: G 42 3 M21 3Si1 with a diameter of 1.2 (mm). As a shielding gas is used a mixture of argon with 18% CO₂ – CORGON 18 according to EN ISO14175: M21 ArC 18 with a flow rate of 25 (l min⁻¹).

A welding machine, Qineo Pulse 600 of Cloos, with a maximum current of 600 (A) was applied as a power source for the arc. GMAW was performed with a direct current of positive polarity (DC+). A high – power fiber laser IPG YLR-20000 of IPG was used in the experiments with the following parameters: an optical fiber with a 200 (mm), beam parameter product of 11 (mm×mrad), and 1070-nm wavelength. A laser processing head, BIMO HP, with a focal length of 350 (mm) providing a spot focus diameter (df) of 0.56 (mm) was used.

The laser optics and GMAW torch were mounted on the robot arm with the angle between them of 25°, and the position of the robot remains unchanged during the welding process. The edge walls were cleaned with acetone to remove grease prior to welding, and tack welds at the beginning and end of the plates were applied to ensure zero-gap of an I-joint configuration. All the experiments were carried out with an arc-leading orientation and a distance of 3 (mm) between the two heat sources. The focal position of the laser beam was – 3 (mm) relative to the workpiece surface. The wire stick-out was set to 15 (mm).

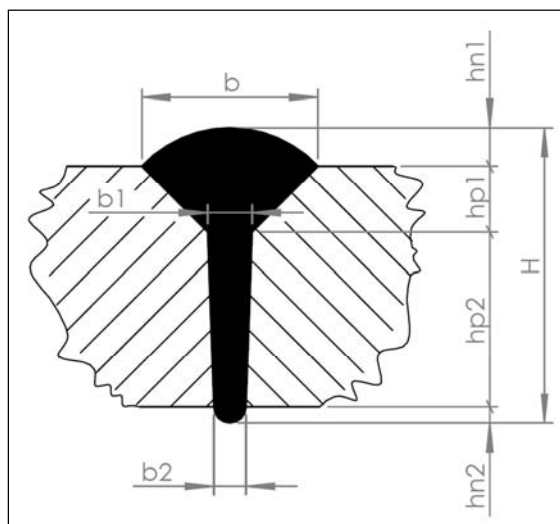
The experiment was conducted to analyze the influence of laser beam and arc current on the weld bead geometry in hybrid laser arc welding. Therefore, the laser beam power was changed to 10 – 13 (kW), and the arc current was changed to 340 – 400 (A), while the other process parameters were kept constant or slightly adjusted to simplify the study. The HLAW welding parameters can be found in Table 1.

**Table 1.** Single – pass hybrid laser arc welding parameters**Tabela 1.** Parametri jednoprolaznog hibridnog laserskog elektrolučnog zavarivanja

Weld no.	Methods of edge preparation	Gap (mm)	Laser power (kW)	Arc mode	Arc current (A)	Arc voltage (V)	Wire feed (m/min)	Welding speed (m/min)	Focal position (mm)	Gas flow rate (l/min)	Wire stickout (mm)	Arc - laser distance (mm)
1	Milling	0	13	Pulse	390	38.2	14	1.8	-3*	25	15	3
2	Milling	0	11.5	Pulse	390	38.1	14	1.8	-3*	25	15	3
3	Milling	0	10	Pulse	389	38.2	14	1.8	-3*	25	15	3
4	Milling	0	13	Pulse	359	36.7	12	1.8	-3*	25	15	3
5	Milling	0	11.5	Pulse	352	36.9	12	2.2	-3*	25	15	3
6	Milling	0	12.4	Pulse	362	37.8	13	1.8	-3*	25	15	3
7	Milling	0	12.4	Pulse	399	38	14	2	-3*	25	15	3
8	Milling	0	10	Pulse	355	36.8	12	1.8	-3*	25	15	3

After the welding, the test specimens of appropriate length were removed from the middle of the welded plates and polished using standard metallographic procedures, and subsequently etched with 2% nital reagent. The macro

morphology of the welds was then examined by using a stereo microscope and evaluated the weld bead geometries according to ISO 12932. The weld bead geometries that were measured and evaluated are shown in Figure 1.

**Figure 1.** Schematic illustration of HLAW welded butt joint and weld bead geometries**Slika 1.** Šematska ilustracija HLAW zavarjenog sučeonog spoja i geometrije šava

4. Results and discussion

The experiment was conducted to achieve a weld without imperfections that will meet the standards EN ISO 12932 requirements with maximum possible productivity. The visual inspection of HLAW found that seven of eight welded plates can be evaluated with acceptable quality according to ISO 12932. In Table 2, all measured dimensions of the preformed welds can be found.

The micrographs of the welds are shown in Figure 2, and in the Weld No. 8 can be noted incomplete root penetration that is imperfection no.4021

according to ISO 6520-1. According to ISO 12932 the size of imperfection exceeds even the lowest quality level D: $h \leq 0.15h$, but maximum 1 (mm) [13]. This type of imperfection results from lower heat input due to the laser beam power of 10 (kW). On the other hand, the top bead profile is bigger due to the high arc current and a disturbed ratio between the heat sources that leads to inappropriate melt flow dynamics [5]. In relation to the height and width of the other weld beads it can be observed that there are within the highest required quality level B: $h \leq 1 \text{ (mm)} + 0.1b$, but maximum 5(mm).

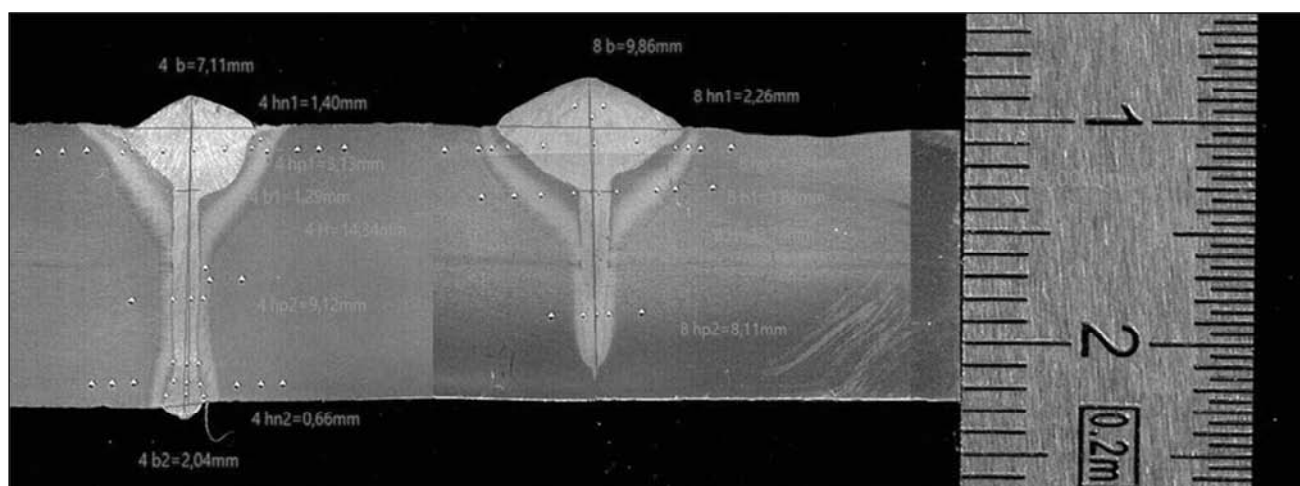


Figure 2. Cross-sections of HLAW: a) Weld no. 4; b) Weld no.8

Slika 2. Poprečni preseki HLAW: a) zavar br. 4; b) zavar br.8

Table 2. Measured dimensions of weld bead geometries

Tabela 2. Izmerene dimenzije geometrije metala šava

Sample/Measurement [mm]		1	2	3	4	5	6	7	8
Electric Arc + Laser zone	b	8.4	7.39	7.62	7.11	6.96	7.79	6.18	9.86
	hn1	1.61	1.59	1.4	1.4	1.31	1.5	1.91	2.26
	hp1	3.3	3.37	3.34	3.13	2.88	3.11	2.98	2.94
	b1	1.5	1.34	1.38	1.29	1.42	1.44	1.31	1.82
Laser zone	b2	2.1	2.17	2.23	2.04	1.12	1.99	1.69	/
	hn2	0.72	0.78	1.33	0.66	0.57	0.83	0.8	/
	hp2	8.56	8.7	9.02	9.12	8.98	9.04	9.06	8.11
Weld	H	14.77	14.52	15.22	14.34	13.84	14.46	14.86	13.74

Laser beam power is the main factor influencing the weld penetration and the narrow weld bead. According to Bunaziv et al. [5], the power of the laser beam should be equal to the material thickness in order to achieve full penetration in a single-pass hybrid laser-arc weld, or in this case, the power of the laser beam should be above 12 (kW) for full penetration. The effect of laser beam

power on the weld bead geometry and penetration are shown in Figure 3 and 4. The depth of the weld penetration is primarily dependent on the laser power, by increasing the laser power the narrow melt area is produced (b2), and the height of the root is decreasing (hn2). The penetration is not related with the arc current as long as there was sufficient laser power available.

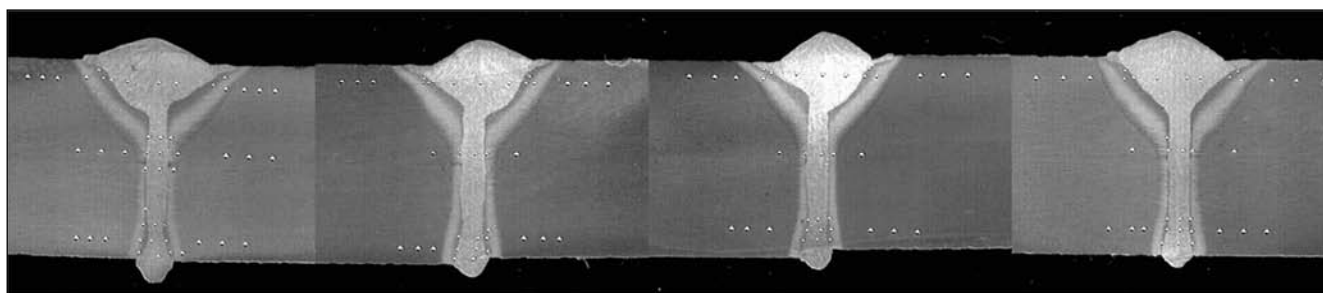


Figure 3. The effect laser beam on weld bead geometry: a) 10 kW, b) 11.5kW, c)12.4 kW, d)13 kW

Slika 3. Efekat laserskog snopa na geometriju metala šava: a) 10 kW, b) 11,5 kW, c) 12,4 kW, d) 13 kW

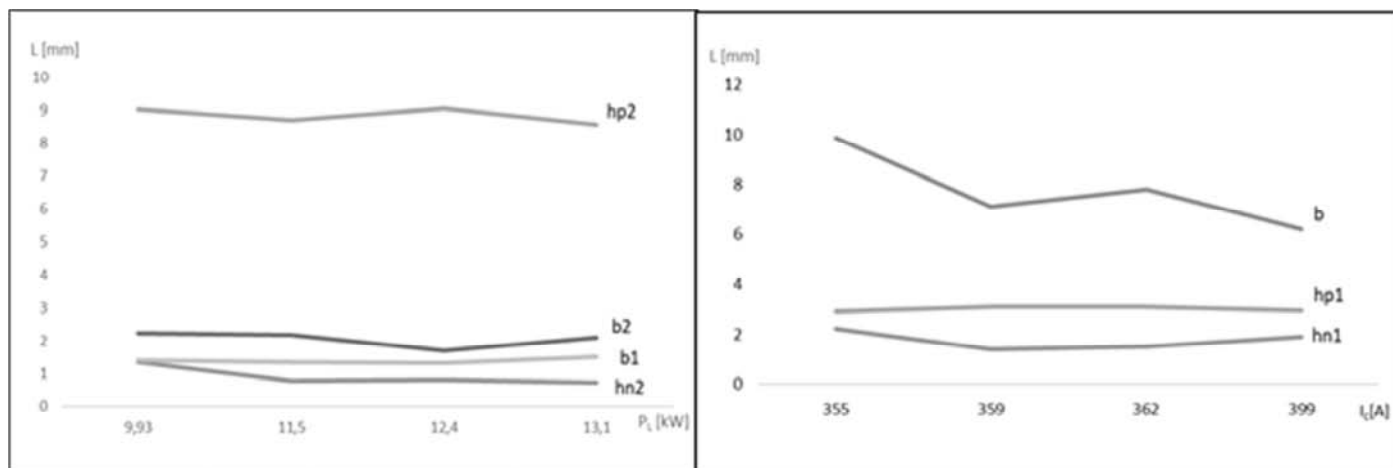


Figure 4. The effect of the heat sources on weld bead geometry: a) Laser beam power; b) Arc current

Slika 4. Uticaj izvora toplote na geometriju šava: a) snaga laserskog zraka; b) struja električnog luka

From Figure 5 it can be noted that arc current can only influence an upper-wide zone or laser-arc zone. By increasing the arc current the weld bead width (b) decrease while the height (hn1) increases

but with different intensity. High arc current results in the undercuts that are acceptable according to ISO 12932.

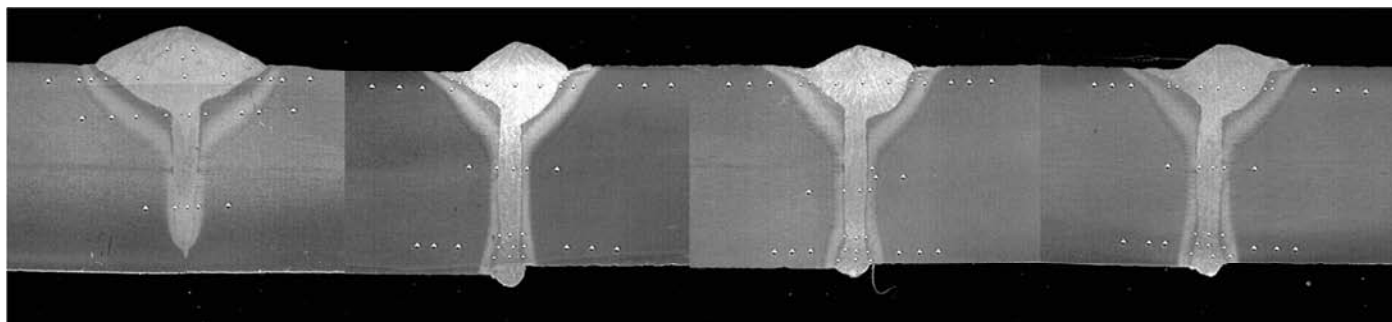


Figure 5. The effect arc current on weld bead geometry: a) 355A, b) 399A, c) 359A, d) 362A

Slika 5. Uticaj jačine struje električnog luka na geometriju metala šava:

a) 355A, b) 399A, c) 359A, d) 362A

5. Conclusions

In this study, the effects of laser beam power and arc current on the weld bead geometry of butt welds produced by HLAW were examined. The following conclusions were drawn from the above experiment and analysis:

1. The laser-arc power ratio is directly related to the amount of heat input, so it should be set up very precisely to acquire perfect weld bead geometry. Seven of the total welded plates can be evaluated as acceptable quality according to ISO 12932, and six of them can be classified in the highest evolution B.

5. Zaključci

U ovom radu ispitivani su efekti snage laserskog zraka i struje električnog luka kod postupka hibridnog zavarivanja laserskim snopom i električnim lukom (HLAW), na geometriju metala šava sučeonih zavarenih spojeva konstrukcionog čelika. Iz izvršenih eksperimenta i analize rezultata izvedeni su sledeći zaključci:

1. Odnos snage lasera i električnog luka je direktno povezan sa količinom unešene toplote, tako da bi trebalo da bude podešen veoma precizno da bi se postigla savršena geometrija metala šava. Za sedam zavarenih ploča, kvalitet se može oceniti kao prihvatljiv, prema standardu ISO 12932, a šest se može svrstati u najvišu klasu B.



2. The laser – arc power should be in the range of 0.7 – 1 for a hump-free root and full penetration of 12 (mm) thickness structural steel. In position 8, this ratio is below 0.6, resulting in no penetration and a wide weld surface.
3. Increasing the laser beam power leads to a narrow weld width (b2) and a decrease in the root height (hn2), while weld penetration is strictly related to laser power instead of the overall heat input process.
4. There is a direct correlation between the laser beam power and weld penetration. To achieve full weld penetration, the laser power expressed in (kW) should be the same intensity or bigger than the material thickness expressed in (mm).
5. Increasing the arc current leads to a decrease of weld bead width (b), but a slight increase of weld bead height (hn1) and arc penetration (hp1).
2. Odnos snaga lasera i električnog luka treba da bude u opsegu od 0,7 – 1 za koreni prolaz i punu penetraciju za konstrukcioni čelik debljine 12 (mm). Za uzorak 8, ovaj odnos je ispod 0.6, što rezultira nedovoljnom penetracijom i širokom površinom zavarenog spoja.
3. Povećanje snage laserskog snopa dovodi do nedovoljne širine vara (b2) i smanjenja visine korena (hn2), dok je penetracija šava striktno povezana sa snagom lasera umesto sa ukupnim procesom unosa toplote.
4. Postoji direktna korelacija između snage laserskog zraka i dubine prodora u zavarenom spoju. Da bi se postigla puna penetracija zavarenog spoja, snaga lasera izražena u (kW) treba da bude istog intenziteta ili veća od debljine materijala izražene u (mm).
5. Povećanje struje električnog luka dovodi do smanjenja širine šava (b), ali do blagog povećanja visine šava (hn1) i prodora luka (hp1).

References / Literatura

- [1] Petreski M., Runchev D., Vrtanoski G., (2021), Hybrid laser arc welding – State of the art in technology. *Welding and welded structures*, 66(3), 115-124
- [2] Pan Q., et al. (2016), Effect of shielding gas on laser-MAG arc hybrid welding results of thick high-tensile-strength steel plates. *Weld World*, 60, 4, 653–664.
- [3] Ishida K., Tani G., Matsunawa A. (2020), Effect of focal position on laser-MAG arc hybrid weld bead of thick high-strength steel plate. *Journal of the Japan Welding Society*, 38, 2, 131–134
- [4] Turichin G., Sudnik V., Zhurmanov A. (2018), Influence of heat input and preheating on the cooling rate, microstructure, and mechanical properties at the hybrid laser-arc welding of API 5L X80 steel. *Procedia CIRP*, 74, 748–751.
- [5] Bunaziv I., Diltthey U., Thomy C. (2020), Laser-arc hybrid welding of 12- and 15-mm thick structural steel. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 107, 2649–2669.
- [6] Farhang F., Drevet M., Chehreh S. (2017), Single-pass hybrid laser welding of 25 mm thick steel. *Physics Procedia*, 89, 49–57.
- [7] Liu S., et al., (2012), Analysis of droplet transfer mode and forming process of weld bead in CO2 laser-MAG hybrid welding process. *Optics & Laser Tec.*, 44, 1019–1025.
- [8] Liu L., et al., A (2006), New laser-arc hybrid welding technique based on energy conservation. *Mat. Transactions*, 47 (6), 1611-1614.
- [9] Kah P, et al. (2011), The analysis of shielding gases in laser-arc hybrid welding processes. *Proc IMechE, Part B: Journal Engineering Manufacturing*, 225, 1073–1082
- [10] Liu T., et al. (2016), Microstructure and mechanical properties of laser-arc hybrid welding joint of GH909 alloy. *Optics & Laser Tec.*, 80, 56–66.
- [11] Le Guen E., et al., (2011), Analysis of hybrid Nd:Yag laser-MAG arc welding processes. *Opt. Laser Technol*, 43, 1155–1166.
- [12] Wei H.L., et al., (2015), Fusion zone microstructure and geometry in complete-joint – penetration laser-arc hybrid welding of low-alloy steel. *Weld J.*, 94, 135–144.
- [13] International Organization for Standardization: *ISO 12932:2013 Destructive tests on welds in metallic materials — Microhardness testing of welds*. ISO, (2013).
- [14] Petreski M., Runchev D., Vrtanoski G. (2022), Impact analysis of the hybrid laser arc welding parameters on structural steel – State of the art. 32nd Conference with International participation *Welding 2022*, 32, 98-108.



Savetovanje sa međunarodnim učešćem Zavarivanje 2024

U periodu od 2 - 5. oktobra 2024. godine u hotelu Vrnjačke Terme u Vrnjačkoj Banji, održano je 33. Savetovanje sa međunarodnim učešćem ZAVARIVANJE 2024 / WELDING 2024 u organizaciji DUZS i tehničkoj organizaciji agencije BBN Congress Management.



Zajednička fotografije učesnika savetovanja „Zavarivanje 2024“

Savetovanje "ZAVARIVANJE 2024" je pokazalo da je zavarivanje kao tehnička disciplina u konstantnom porastu. Društvo za unapređivanje zavarivanja u Srbiji, kao organizator Savetovanja, pod pokroviteljstvom Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija se i ovoga puta opredelilo da se fokusira na region Jugoistočne Evrope. Cilj je bio da se prezentuje stanje naučno-stručnih aktivnosti u zavarivanju i mogućnost poboljšanja saradnje članova zavarivačkih zajednica iz regiona, kako u stručnim, tako i u razvojnim i naučnim segmentima.

Zaključeno je da su aktivnosti i dalje u porastu, posebno u Srbiji, kao i u regionu jugoistočne Evrope, odakle su bili skoro svi (preko 90%) učesnici. Ovo se može ilustrovati činjenicom da je bilo preko 130 učesnika i/ili autora i koatora iz 11 zemalja: Srbije, Bosne i Hercegovine, Severne Makedonije, Hrvatske, Crne Gore, Slovenije, Ukrajine, Ujedinjenih Arapskih Emirata, Poljske, Indije i Australije.



Fotografije sa savetovanja „Zavarivanje 2024“

Nastavak na strani 187



Albert Hauck^{1,a}, Milan Pecanac^{1,b}, Nenad Kulundzic^{1,c}, Sebastian Balos^{1,d}

EFFECTS OF TOOL ROTATION AND WELDING SPEEDS ON TOUGHNESS AND TENSILE STRENGTH OF AA 6060 WELDED BY FSW

UTICAJ BROJA OBRTAJA ALATA I BRZINE ZAVARIVANJA NA ŽILAVOST I ZATEZNE KARAKTERISTIKE ALUMINIJUMA AA 6060 ZAVARENOM POSTUPKOM ZTM

Professional paper / Stručni rad

Paper received / Rad primljen

August 2024.

Paper accepted / Rad prihvaćen

November 2024.

Author's address / Adresa autora

¹ Fakultet Tehničkih Nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija

Email / ORCID ID

^a albert.hauck@uns.ac.rs / 0009-0003-8055-3886

/ ^b 0000-0002-8016-9986

/ ^c 0000-0002-6792-1408

/ ^d 0000-0002-3828-8500

Keywords: friction stir welding; welding parameters; mechanical properties

Ključne reči: zavarivanje trenjem sa mešanjem; parametri zavarivanja; mehaničke karakteristike

Abstract

Friction Stir Welding (FSW) stands out as an innovative and demanding solid-state welding method gaining traction in modern fabrication. This paper explores the welding of an aluminium-silicone-magnesium alloy using FSW technique with a use of a robot, by utilizing welding speeds of 160 to 250 mm/min. Variation of the tool's rotary and welding speed was conducted to determine the optimal parameters for achieving desirable macro and mechanical properties, including tensile strength and impact energy. It was shown that higher tensile properties and lower impact energies are obtained with lower tool rotation speeds, which can be related to a lower heat input. The highest weld efficiency obtained was 91 %, proving that a relatively effective replacement of precipitation hardening with strain hardening occurred in the welding process.

Rezime

Zavarivanje trenjem sa mešanjem (ZTM) se ističe kao inovativna metoda zavarivanja bez topljenja materijala koja dobija na popularnosti u savremenoj proizvodnji. U ovom radu se istražuje zavarivanje legure aluminijum-silicijum-magnezijum korišćenjem ZTM tehnike uz pomoć robota, koristeći brzine zavarivanja od 160 do 250 mm/min. Varijacija broja obrtaja alata i brzine zavarivanja sprovedena je kako bi se odredili optimalni parametri za postizanje željenih makro i mehaničkih svojstava, uključujući zateznu čvrstoću i energiju udara. Pokazano je da se veće čvrstoće i niže energije udara postižu pri nižim brojevima obrtaja alata, što se može povezati sa manjim unosom toplote. Najveća postignuta efikasnost zavarenog spoja od 91 % ukazuje na to da je tokom procesa zavarivanja došlo do relativno efikasne zamene taložnog ojačavanja deformacionim ojačavanjem.

The paper was published in its original form in the Proceedings of the 33rd Conference with international participation "Welding 2024" held in Vrnjačka Banja, Serbia from October 2 to 5, 2024.



1. Introduction

Welding is a fabrication process, used to join materials, typically metals, using heat and pressure. Commonly seen, welding processes include melting of the materials at the joint area in order to create a bond between two parts. Whilst melting the materials, usually consumable material is added, called the filler material that can be in form an electrode or separate from it, depending on the welding process employed. Because of the aforementioned points, evaporation of materials occurs, which results in the formation of welding fumes and vapours.

The composition of these fumes can vary based on factors like the metals being welded and the welding method employed. However, it is crucial to note that inhalation of weld fumes can pose significant risk to both human health and the environment. Proper ventilation and the use of personal protective equipment are essential to mitigate these risks and ensure a safe working environment for welders.

Additionally, managing the evaporation process is vital for minimizing the environmental impact of welding activities. Also, these fusion welding processes are not environmentally friendly, due to high energy consumption and thus a high carbon footprint. Therefore, a safer and greener welding processes occurred, the most notable being friction stir welding (FSW).

1.1 Friction stir welding

Friction stir welding (FSW) is a solid-state joining process used to bond materials, particularly metals, without reaching the melting point [1, 2]. FSW was invented by Wayne Thomas at The Welding

Institute (TWI), London, UK, in 1991 [2]. It involves a rotating tool that is plunged into the joint between two pieces of material, creating frictional heat. As the tool traverses along the joint line, it mechanically stirs the softened material, forming a high-strength bond as it consolidates and cools [3]. FSW is renowned for its ability to produce welds with excellent mechanical properties, minimal distortion, and no solidification defects [4, 5].

This technique finds applications in various industries, including aerospace, automotive, and marine, where lightweight, high-performance structures are required. FSW stands out among conventional welding methods due to its environmentally friendly approach. Unlike traditional welding techniques that rely on high temperatures and consumable materials, FSW operates at lower temperatures, thus minimizing energy consumption and reducing greenhouse gas emissions. By avoiding the melting of materials, FSW also eliminates the release of harmful fumes and gases into the atmosphere, contributing to cleaner air and safer working conditions for welders.

Additionally, FSW produces welds with superior mechanical properties and minimal distortion, reducing the need for post-welding treatments and conserving resources. In contrast to fusion welding processes, which often require shielding gases and produce significant amounts of waste, FSW offers a more sustainable alternative with fewer environmental impacts. As industries increasingly prioritize eco-friendly practices, FSW emerges as a viable solution for achieving both high-quality welds and environmental stewardship. In Figure 1, the FSW process is shown.

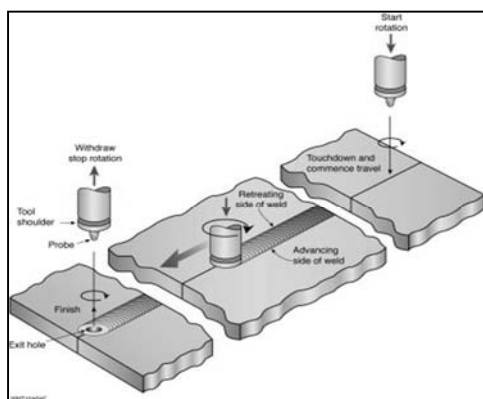


Figure 1. Friction Stir Welding process [6]

Slika 1. Proces zavarivanja trenjem sa mešanjem [6]

2. Experimental part

In this paper, the effects of rotary and welding speeds of friction stir welding on the mechanical properties of AA6060 are analyzed. In Table 1 and 2 the chemical composition and mechanical

properties of the base material are shown, respectively. The chemical composition of the base material was determined using SPECTROMAXx optical emission spectrometer (OES), while tensile properties were tested by VEB ZDM 5/91 machine.

**Table 1.** Chemical composition of aluminium 6060 (in mass. %)**Tabela 1.** Hemijski sastav aluminijuma 6060(u mas. %)

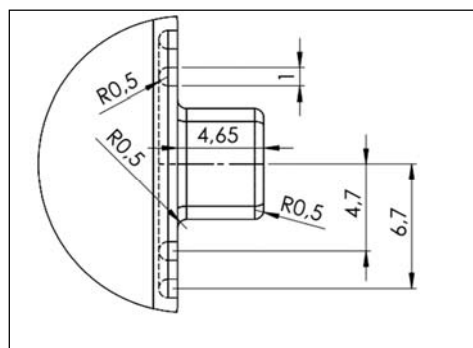
Mn	Fe	Mg	Si	Cu	Zn	Ti	Cr	Al
0.0545	0.205	0.425	0.532	0.0432	0.0256	0.0158	0.0126	Balance

Table 2. Mechanical properties of the base material**Tabela 2.** Mehaničke osobine osnovnog materijala

Rm [MPa]	Rp [MPa]	A [%]	Z [%]
225	198	32	28

The welding process was done using a KUKA robot (KR 120 R3100-2) to which the FSW tool was

attached, while the base plates were fixed in the horizontal plane, as shown in Figure 2.

**Figure 2.** Setup of the experiment**Slika 2.** Postavka eksperimenta**Figure 3.** FSW tool used for the experiment**Slika 3.** ZTM alat koji se koristi za eksperiment

In table 3, the weld designations and parameters used during the welding process are shown.

Table 3. Weld designation and parameters**Tabela 3.** Oznaka zavar a i parametri

Weld designation	Tool shoulder angle [°]	Tool rotation speed [rpm]	Welding speed [mm/min]	Tool rotary to welding speed ratio
1	2	1400	160	8.75
2		1120	160	7
3		1400	200	7
4		1120	200	5.6
5		1400	250	5.6
6		1120	250	4.48

The tool utilized in the experiment was crafted from X40CrMoV5-1 (also known as AISI H13) hot work tool steel, which underwent quenching and tempering processes to achieve a hardness of 53 HRC. Tool pin and shoulder design is illustrated in Figure 3. For the welding process, AA6060 plates measuring 140 × 60 × 4.8 mm were employed as the base material. Following welding, the plates

were sectioned and cut, after which they were prepared for testing.

The testing regime for the samples encompassed metallography analysis, tensile testing and instrumented Charpy impact testing. Metallographic samples were meticulously prepared through a sequence of grinding using abrasive SiC papers ranging from P150 to P2500 grit, followed by polishing with diamond



suspensions of 6, 3, 1, and $\frac{1}{4}$ μm particle sizes. Subsequently, electrolytic etching was conducted using Barker's reagent, with 35 V and 2 minutes time.

Examination of weld defects was carried out using a Zeiss Axio light microscope. Tensile testing adhered to the EN ISO 4136:2012 standard and was performed on a VEB ZDM 5/91 testing machine.

Key parameters such as ultimate tensile strength, proof strength, and cross-section reduction were measured, with average values reported. The Charpy impact test, conforming to the EN ISO 148-1:2016 standard was executed using an instrumented Charpy pendulum JWT450 from Jinan, China, at room temperature. Notably, standard V-notch Charpy specimens were positioned in the nugget zone (NZ) to account for the characteristic V-shape of the weld. Tensile

testing of the 6 specimens was performed using the VEB ZDM 5/91 tensile testing machine.

3. Results and discussion

Macrographs of the welded samples are depicted in Figure 5. Within the weld, there are identifiable regions including the nugget zone (NZ) and the thermomechanically affected zone (TMAZ), with the heat-affected zone (HAZ) positioned between the TMAZ and the base metal. Figure 6a illustrates the microstructure of the transition zone, characterized by change in grain size, with smaller grains indicating the NZ. In Figure 6b, highly refined predominantly uniaxial grains are evident within the nugget zone (NZ). The transition zone between the NZ and the thermomechanically affected zone (TMAZ) is depicted also in Figure 6a. The grains in the TMAZ exhibit elongation, attributed to the combined effects of deformation and heat imparted by the FSW tool.

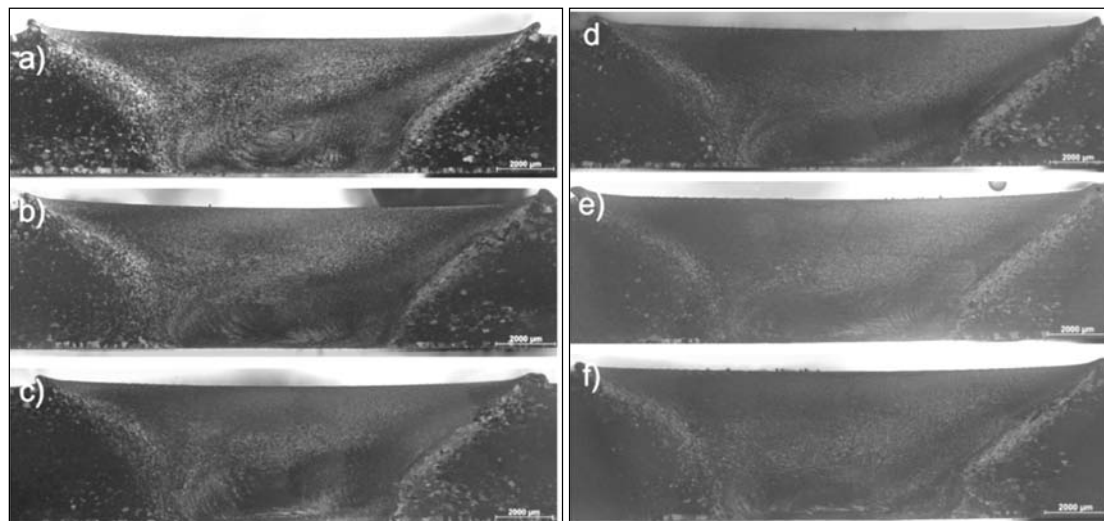


Figure 5. Cross-sectional macrographs of the specimens: a) 1; b) 2; c) 3; d) 4; e) 5; f) 6

Slika 5. Makrostrukture poprečnog preseka uzoraka: a) 1; b) 2; c) 3; d) 4; e) 5; f) 6

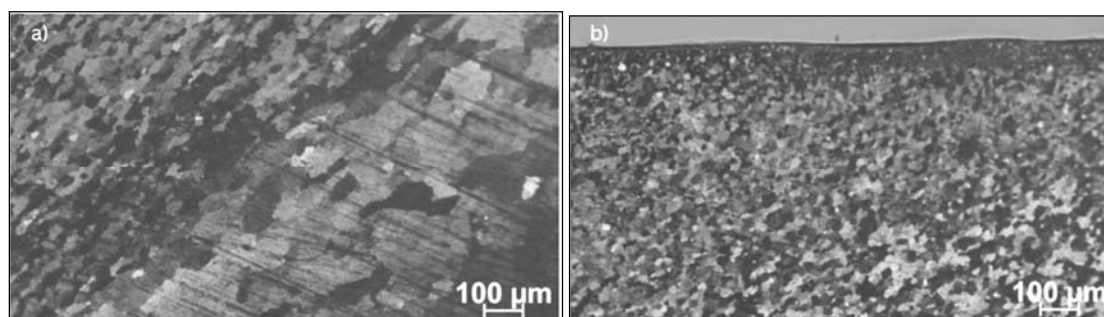


Figure 6. Transition NZ/TMAZ (a), nugget zone (b) of specimen 1

Slika 6. Prelaz NZ/TMAZ (a), zona jezgra šava (b) uzorka 1

Figure 7 represents the impact energy obtained on different specimens during Charpy impact testing. It is visible that the specimen 1 exhibited highest impact energy with the smallest amount of

energy required for crack propagation, while specimen 3 exhibited highest energy required for crack propagation.



Compared to the base material, it is visible that the impact energy is lower in the joint area, indicating a lesser degree in ductility. This is in contrast to the grain refinement, which is obvious in Figure 5, 6. This may be the result of an excessive temperature during the process, which well exceeds around 200°C, the heat treatment temperature of this alloy. That means, that

precipitate hardening is replaced by strain hardening which is apparently not as effective. It can be observed that impact energy is lower for the lower tool rotary to welding speed ratio, or in other words, the lower rotary speed results in the lower impact energy. This is due to crack propagation energies that fully comply to this rule.

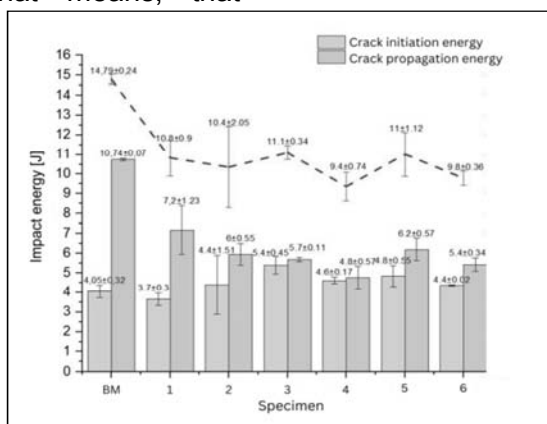


Figure 7. Impact energy results

Slika 7. Rezultati energije udara

The results obtained after the testing can be seen in Table 4. As can be seen from the aforementioned results, the highest tensile strength was obtained in specimen 2, with the lowest being in specimen 1, both welded with the lowest welding speed. In all three sets of specimens, welded with the same welding speed, a lower rotation speed resulted in a higher weld tensile and yield strengths, due to a more pronounced strain hardening and less intensive heating. Conversely, elongations behave differently, with higher elongations obtained in specimens welded with a

higher welding speed (Specimens 3 and 5), which is similar to impact strength results. It can be seen that in the vast majority of specimens, standard deviations in welded specimens are higher compared to base material, probably due to micro imperfections that remain to be determined in the future work. Finally, compared to the base material, a weld effectiveness of 91 % was achieved (Specimen 2), which confirms the effective replacement of precipitate hardening by the slightly less effective strain hardening.

Table 4. Tensile testing results

Tabela 4. Rezultati ispitivanja zatezanjem

	Rp [MPa]	Rm [MPa]	A [%]
Specimen 1	132±7.57	175±11.99	25±2.27
Specimen 2	143±5.56	206±5.86	21±2.94
Specimen 3	145±10.54	180±13.97	22±9.71
Specimen 4	139±5.27	202±6.08	20±3
Specimen 5	138±5.66	187±8.37	18±5.1
Specimen 6	138±6.38	195±4.85	17±6.35
Base Material	198±4.17	225±4.71	32±2.28

4. Conclusions

Based on the results presented in this paper, and within the limitations of the experiment, the following can be concluded:

4. Zaključci

Na osnovu rezultata prikazanih u ovom radu, a u okviru ograničenja eksperimenta, može se zaključiti sledeće



- Due to the FSW being a solid state welding process, the total carbon footprint of the process is lower than in conventional welding processes.
- V-shape weld can be observed due to the tool having a shoulder only on one side
- Although the grain refinement is observed, a lower impact energies compared to base material were obtained. This can be attributed to replacing of precipitate hardening by the less effective strain hardening.
- Impact energy is lower for the lower tool rotary to welding speed ratio, or in other words, the lower rotary speed results in the lower impact energy.
- Tensile testing proved an inverse effect, a lower welding speed and lower rotation speed provided a higher yield and tensile strengths. Elongations behave in a similar manner as impact strengths.
- Zbog toga što je ZTM proces zavarivanja u čvrstom stanju, ukupni ugljenični otisak procesa je manji nego kod konvencionalnih procesa zavarivanja.
- Zavar u obliku slova V se može uočiti, obzirom na oblik alata
- Iako se primećuje rafinacija zrna, dobijene su niže energije udara u poređenju sa osnovnim materijalom. Ovo se može pripisati zameni precipitacionog ojačavanja manje efikasnim deformacionim ojačavanjem.
- Energija udara je niža za niži odnos rotacije alata i brzine zavarivanja, ili drugim rečima, niža brzina rotacije rezultira manjom energijom udara.
- Ispitivanje zatezanjem pokazalo je inverzni efekat, niža brzina zavarivanja i niža brzina rotacije su obezbedile višu granicu razvlačenja i višu zateznu čvrstoću. Izduženja se ponašaju na sličan način kao i udarna čvrstoća.

Funding

This research has been supported by the Ministry of Science, Technological Development and Innovation (Contract No. 451-03-65/2024-03/200156) and the Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad through project "Scientific and Artistic Research Work of Researchers in Teaching and Associate Positions at the Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad" (No. 01-3394/1).

Acknowledgement

The authors gratefully acknowledge research support by the project entitled "Interdisciplinarity in Materials Science and Joining Technologies" from the Department of Production Engineering, Faculty of Technical Sciences Novi Sad, Serbia.

References / Literatura

- [1] Mohan, DG., Wu, C., (2021), A Review on Friction Stir Welding of Steels. Chin J Mech Eng. 34, 1, 137.
- [2] Fuse, K., Badheka, V., (2019), Bobbin tool friction stir welding: a review. Science and Technology of Welding and Joining 24, 4, 277-304.
- [3] Chaudhary, SS., Bhavsar, KH., (2016), A Review of Bobbin Tool Friction Stir Welding (FSW) Process. IJSTE 2, 10, 630-633.
- [4] Balos, S., Sidjanin, L. (2014), Effect of Tunneling Defects on the Joint Strength Efficiency

Finansiranje

Ovo istraživanje podržano je od strane Ministarstva za nauku, tehnološki razvoj i inovacije (Ugovor br. 451-03-65/2024-03/200156) i Fakulteta tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu kroz projekat „Naučno-umetnički istraživački rad istraživača u nastavnim i saradničkim radnim mestima na Fakultetu tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu” (br. 01-3394/1).

Zahvalnica

Autori se zahvaljuju na istraživačkoj podršci projekta pod nazivom "Interdisciplinarnost u nauci o materijalima i tehnologijama spajanja" Departmana za proizvodno mašinstvo Fakulteta tehničkih nauka Novi Sad, Srbija.

Obtained with FSW. *Materiali in Tehnologije* 48, 4, 491-496.

- [5] Pecanac, M., Zlatanovic, DL., (2023) Kulundzic, N., Dramićanin, M., Balos, S., Mechanical Properties of Welds Obtained by Bobbin Tool Friction Stir Welding Process, *Strojarske tehnologije u izradi zavarenih konstrukcija i proizvoda, SBZ 2023*, Slavonski Brod, Croatia, April 26-28, 1, 397-407.

- [6] <https://bil-ibs.be/en/publicatie/friction-stir-welding> (accessed June 3, 2024).



Resul Hamzić ^{1,a}, Namik Džibrčić ^{1,b}, Sead Avdić ^{1,c}

ISPITIVANJE MIKROSTRUKTURE PAROVODA VISOKOG PRITISKA NAKON 200 000 SATI RADA

EXAMINATION OF THE MICROSTRUCTURE OF HIGH-PRESSURE STEAM PIPES AFTER 200 000 HOURS OF OPERATION

Stručni rad / Professional paper

Rad primljen / Paper received

Septembar 2024.

Rad prihvaćen / Paper accepted

Novembar 2024.

Adresa autora / Author's address

¹ Institut za zavarivanje d.o.o. Tuzla, Bosne Srebrene br.6,
75000 Tuzla, Bosna i Hercegovina

Email / ORCID ID

^a resul.hamzic@jzz-bh.ba / 0009-0008-8864-9205

^b 0009-0006-3742-233X

^c 0009-0003-6992-7509

Ključne reči: mikrostruktura, puzanje, standard VGB-S 517, metalografske replike

Keywords: microstructure, creep, standard VGB-S 517, metallographic replica

Rezime

U ovom radu vršeno je ispitivanje mikrostrukture glavnih parnih cijevi u termoelektrani metodom metalografskih replika. Cilj istraživanja bio je analizirati i ocijeniti stanje parovoda nakon 200 000 sati rada, te ocijeniti preostali vijek trajanja uslijed dugotrajnih opterećenja prema standardu VGB-S 517. Ovaj standard postavlja stroge smjernice za inspekciju i ocjenu mikrostrukturnog stanja i oštećenja materijala otpornog na puzanje za cjevovode visokog pritiska i komponente kotlova i zavarenih spojeva, uzimajući u obzir parametre kao što su materijal, debljina stijenke i konstrukcija. Uz analizu mikrostrukture, poseban naglasak je stavljen na proučavanje vremenske čvrstoće parovoda, posebno u kontekstu puzanja. Puzanje ili deformacija pod stalnim opterećenjem tokom vremena uz visoke temperature i pritiske, ključni je faktor koji utiče na vijek trajanja parovoda. Rezultati provedenog istraživanja pokazat će širu sliku stanja parovoda nakon 200 000 sati rada, identificirati potencijalne defekte ili slabosti u materijalu i omogućiti pravovremeno poduzimanje odgovarajućih mjera za održavanje ili zamjenu, čime se smanjuje rizik od akcidenata i havarija.

Abstract

This study examined the microstructure of the main steam pipes in thermal power plant using the method of metallographic replicas. The aim of the research was to analyze and assess the condition of the pipes after 200 000 hours of operation, as well as to evaluate their remaining service life and endurance under long-term loads according to the VGB-S 517 standard. This standard establishes rigorous guidelines for inspecting and assessing the microstructural composition and damage due to creep in creep-resistant steel for high-pressure piping, boiler components, welded joints, considering the parameters such as material, wall thickness and construction. In addition to microstructure analysis, particular emphasis was placed on studying the time-dependent strength of the steam pipes, especially in the context of creep. Creep or deformation under constant load over time at high temperatures is a key factor influencing the long-term performance of the pipes. The results of the conducted research will provide a broader understanding of the condition of the steam pipes after 200 000 hours of operation, identify potential defects or weaknesses in the material and enable timely implementation of appropriate maintenance or replacement measures, thereby reducing the risk of accidents and failures.

Rad je u originalnom obliku objavljen u Zborniku radova sa 33. Savetovanja sa međunarodnim učešćem „Zavarivanje 2024“ održanog u Vrnjačkoj Banji, Srbija od 2. do 5. oktobra 2024. godine.



1. Uvod

Nakon 200 000 sati u radu, parovodi pod visokim pritiskom u termoelektranama mogu doživjeti značajne promjene u mikrostrukturi koje mogu ugroziti njihov integritet i sigurnost. Tokom tog perioda, materijal od koga su izrađene cijevi parovoda izložen je stalnom opterećenju i visokim temperaturama, što može dovesti do pojave puzanja. Puzanje je proces u kom se materijal postepeno deformiše pod stalnim opterećenjem i visokim temperaturama, što može rezultirati stvaranjem mikropukotina i konačnim otkazom materijala.

Očuvanje integriteta parovoda visokog pritiska je faktor za sigurnost i pouzdanu proizvodnju električne energije. Problematika dugotrajnog rada parovoda leži u činjenici da se mikrostrukturne promjene ne mogu lahko detektovati bez detaljne analize, a ignorisanje ovih promjena može dovesti do ozbiljnih posljedica. Pravovremena identifikacija i analiza stanja parovoda može pomoći u sprečavanju nesreća i produženju vijeka trajanja ovih ključnih komponenti termoelektrane.

Materijali od kojih su izrađene cijevi su visokolegirani i niskolegirani čelici X20CrMoV12-1 [1], 10CrMo9-10 [2] i 16Mo3 [3], otporni na puzanje i namijenjeni za rad na povišenim temperaturama. Koriste se za izradu dijelova kotla, cijevi pregrijača, parnih vodova, dijelova opreme za rad pod pritiskom itd.

Standard VGB-S 517 po kome se vrši ocjena, pruža smjernice za inspekciju i ocjenu stanja čelika otpornog na puzanje, koristeći precizne metode za analizu mikrostrukture i identifikacije oštećenja. Ovaj standard obuhvata procjenu parametara kao što su materijal, debljina stijenke i konstrukcija, te nudi metodologiju za kvantificiranje preostalog vijeka trajanja parovoda. Svrha primjene ovog standarda je omogućiti pravovremeno prepoznavanje potencijalnih problema i sprovođenje odgovarajućih mjera održavanja ili zamjene, čime se smanjuju rizik od akcidenta i posljedica u energetske postrojenjima.

Kontekst i značaj ovog istraživanja leži u osiguranju dugotrajne pouzdanosti i sigurnosti parovoda visokog pritiska, što je ključno za održavanje kontinuirane proizvodnje energije i prevenciju nesreća. Analiza mikrostrukture parovoda nakon 200 000 sati rada omogućava identifikaciju mogućih defekata i slabosti u materijalu, pružajući ključne informacije za planiranje održavanja i zamjene. Upravo zbog toga se došlo do primjene materijala poput P91, P92,

Inconel itd. Ovo istraživanje doprinosi naučnom i tehničkom znanju o dugoročnom ponašanju materijala pod ekstremnim uslovima, što je važno za razvoj novih, poboljšanih materijala i tehnologija.

Cilj ovog istraživanja je analizirati i ocijeniti stanje parovoda nakon 200 000 sati rada, te utvrditi promjene u mikrostrukturi uslijed dugotrajnih opterećenja prema standardu VGB-S 517. Rezultati istraživanja omogućit će pravovremeno poduzimanje odgovarajućih mjera za održavanje ili zamjenu, čime se smanjuje rizik od nezgoda i havarija. Iako je ovo prvo istraživanje na ovom parovodu, očekuje se da će prikupljeni podaci pružiti vrijedan uvid za buduće procjene preostalog vijeka trajanja, osiguravajući sigurniju i pouzdaniju proizvodnju.

S obzirom na to da su parovodi uglavnom projektovani za radni vijek od 200 000h, ovo predstavlja krajnji trenutak za procjenu njihovog stanja i stepena istrošenosti.

2. Postupak ispitivanja parovoda visokog pritiska metalografskim replikama

Ispitivanje mikrostrukture je bilo potrebno provesti na postojećim sistemima parovoda visokog pritiska koji nisu smjeli biti oštećeni, pa je za ispitivanje odabrana metoda metalografskih replika koja se provodila u skladu sa standardom BAS ISO 3057:1998 [4]. Ispitivanje mikrostrukture metalografskim replikama provodi se u nekoliko faza:

- priprema površine materijala (slika 1a),
- nagrizanje pripremljene površine materijala (slika 1b),
- izrada replike (slika 2),
- mikroskopska analiza i
- interpretacija i evaluacija dobivenih rezultata.

Prva faza postupka ispitivanja je priprema površine, što je ključno za osiguranje pouzdanih rezultata. Priprema površine počinje čišćenjem i odmašćivanjem te sušenjem u struji toplog vazduha. Zatim slijedi niz operacija brušenja površine, brusnim papirima različitih granulacija, pri čemu se pri svakom novom brušenju koristi brusni papir finije granulacije. Prilikom operacije brušenja treba voditi računa da ne dođe do pregrijavanja koje može dovesti do promjena u strukturi odnosno u svojstvima. Debljina uklonjenog sloja treba biti max. 0,2 [mm].



Nakon brušenja, ispitna površina se mehanički polira, a rezultat je ogledalna i glatka površina. Po završenom poliranju, ispitna površina se prvo ispira vodom, zatim alkoholom te se suši u struji toplog zraka. Kako bi se otkrile granice zrna, površinu je

nakon poliranja potrebno nagristi nanošenjem odgovarajućeg reagensa, zavisno od materijala koji se ispituje. Nakon nagrivanja, ponovo je potrebno očistiti površinu uzoraka na isti način kao i prije nagrivanja [4,5].



(a)



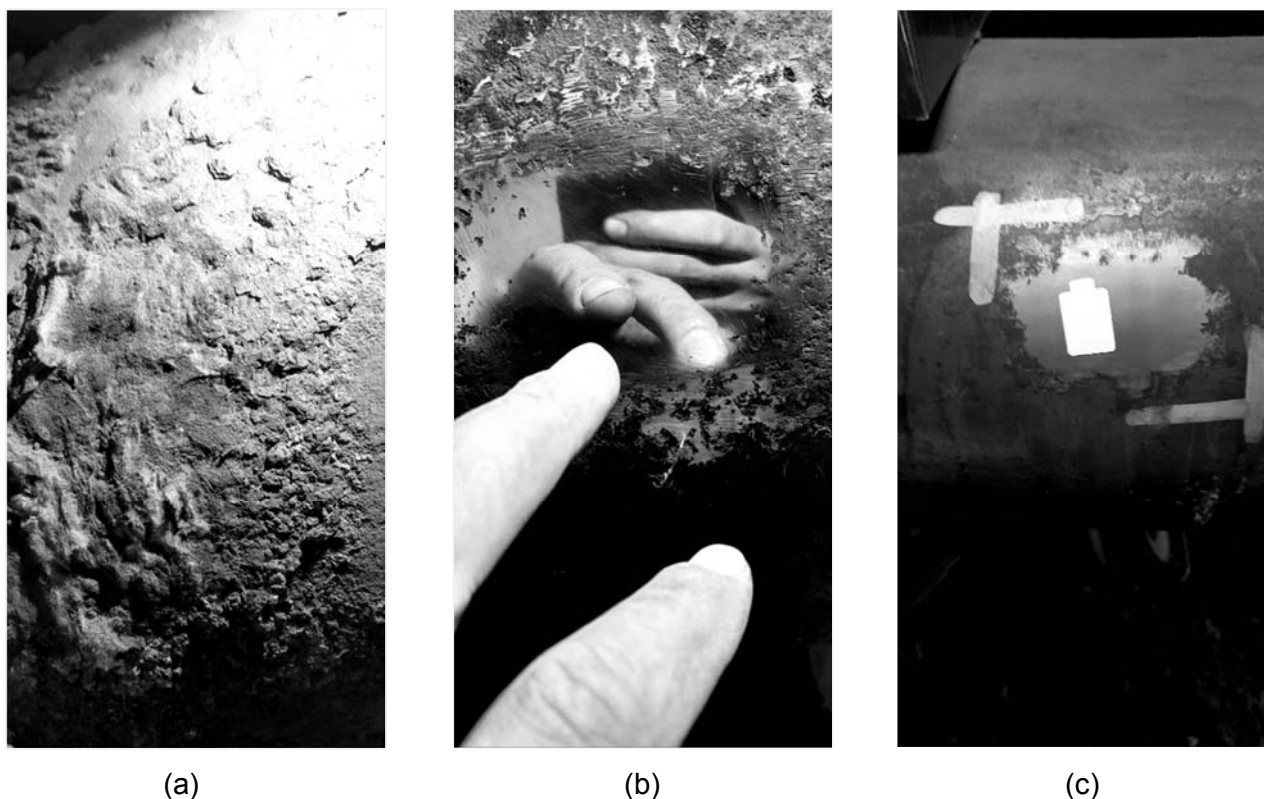
(b)

Slika 1. a) Priprema ispitne površine brušenjem i poliranjem, b) nagrivanje ispitne površine odgovarajućim reagensom

Figure 1. a) Preparation of the test surface by grinding and polishing, b) etching of the test surface with a suitable reagent

Nakon pripreme površine, slijedi nanošenje replika, u našem slučaju kao replikant je korištena folija proizvođača *Struers* (Transcopy Replica Foil). Prije postavljanja folije potrebno je ovlažiti površinu odgovarajućom otopinom te je foliju potrebno postaviti tako da dobro prione na površinu [6]. Nakon što se folija formira na

površini, pažljivo se uklanja, kako bi se dobio kompletan otisak mikrostrukture materijala. Ovaj korak zahtijeva preciznost kako bi se izbjeglo oštećenje replike. Kvalitetno izuzeta replika treba tačno odrediti sve mikrostrukturne karakteristike prisutne na površini koja je replicirana (granice zrna, faze, pukotine, šupljine, itd.).



Slika 2. a) Izgled površine prije operacije brušenja i poliranja, b) izgled površine nakon operacije brušenja i poliranja, c) nanescena folija za repliciranje

Figure 2. a) Appearance of the surface before the grinding and polishing operation, b) appearance of the surface after the grinding and polishing operation, c) applied foil for replicating

3. Rezultati ispitivanja

Ispitivanje je provedeno na cijevima parovoda izrađenih od različitih materijala, uključujući:

- Cijevi svježe pare oznake RA ($\varnothing 258 \times 38$ mm), izrađene od visokolegiranog čelika X20CrMoV12-1 (1.4922). Ovaj čelik odlikuje otpornost na visoku temperaturu i pritisak, što ga čini pogodnim za izradu cijevi parovoda visokog pritiska.
- Cijevi pregrijane pare oznake RB ($\varnothing 648 \times 38$ mm), izrađene od niskolegiranog čelika 10CrMo9-10 (1.7380). Ovaj čelik još poznat po oznaci P22 je legirani čelik sa sadržajem kroma (Cr) i molibdena (Mo), karakterističan po visokoj otpornosti na oksidaciju pri povišenim temperaturama i srednjim pritiscima.
- Cijevi hladne pare oznake RC ($\varnothing 470 \times 15,5$ mm), izrađene od niskolegiranog čelika 16Mo3 (1.5415), kog odlikuju dobre mehaničke osobine, prije svega visoka otpornost na puzanje.

Mikroskopskom analizom utvrđivana je pojava mikropukotina, pojava oksidacije, degradacija svojstava, odnosno pojava puzanja.

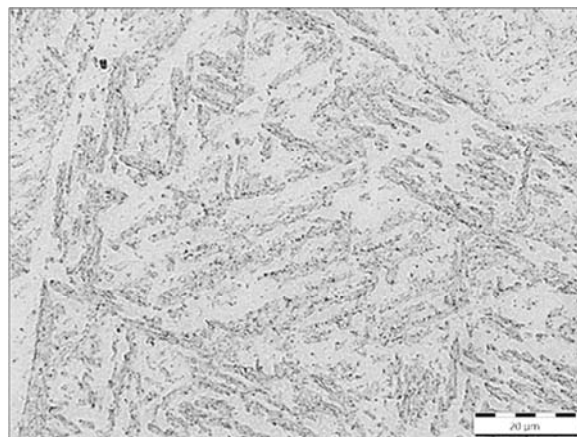
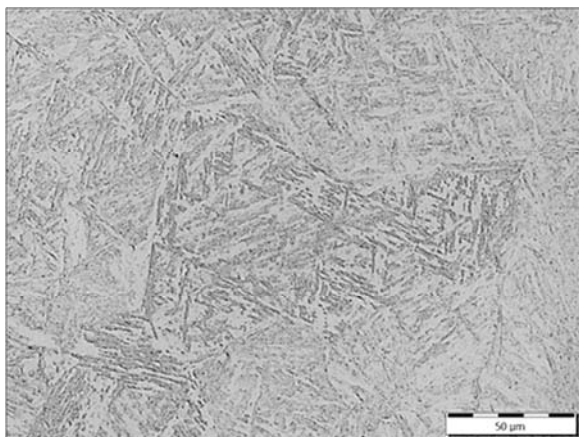
Analiza otiska mikrostrukture provedena je na metalurškom mikroskopu *Olympus GX53*, primjenom norme VGB-S 517 (metodom usporedbe s referentnim slikama). Pored metalografskog ispitivanja provedeno je ispitivanje tvrdoće, uređajem za mobilno mjerenje tvrdoće *BAQ dynaROCK II*. Na svakom ispitnom mjestu provedeno je 7 mjerenja, a rezultati ispitivanja tvrdoće predstavljaju njihovu aritmetičku sredinu.

Mjesta za ispitivanje su vanjski radijusi na koljenima, zone koje su najviše izložene dejstvu radnog medija.

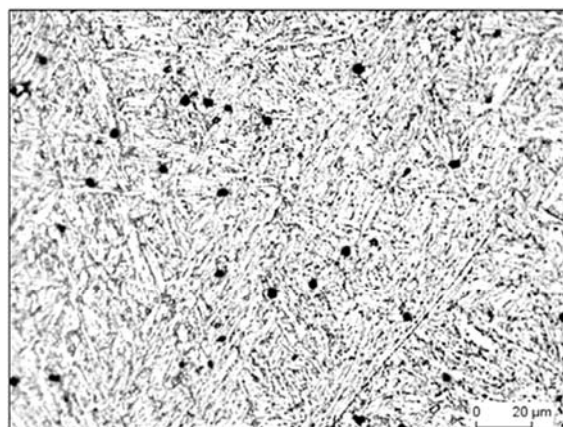
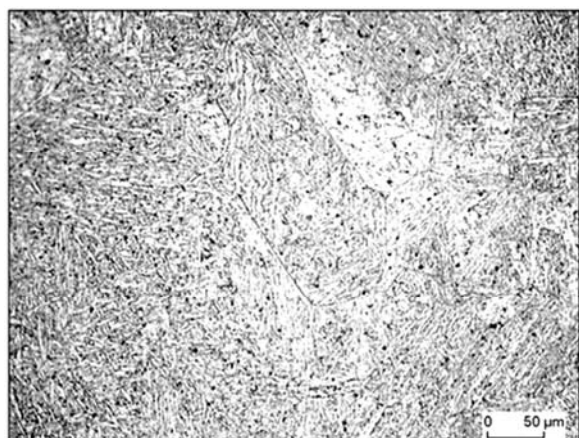
Replika izuzeta sa koljena cijevi svježe pare oznake RA, snimljena pod povećanjem od 200:1 i 500:1 data je slici 3. Na slici je uočljiva mikrostruktura lamelnog žarenog martenzita, sa ustanovljenim prisustvom mikropora u količini većoj od 150 po kvadratnom milimetru.

Mikrostruktura je ocjenjena metodom usporedbe s referentnim slikama u skladu sa klasom ocjene 2b prema standardu VGB-S 517 (slika 4).

Prosječna tvrdoća dobivena kao srednja vrijednost 7 mjerenja iznosi 229 HV.



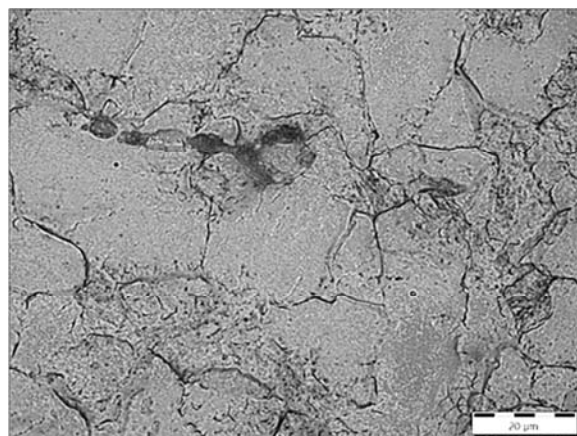
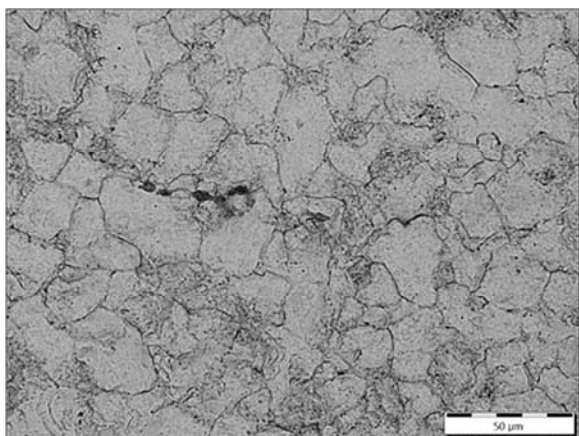
Slika 3. Mikrostruktura replike koljena cijevi od materijala X20CrMoV12-1 povećanje 200:1 i 500:1
Figure 3. Microstructure of the pipe elbow replica made of material X20CrMoV12-1, magnification 200 times and 500 times



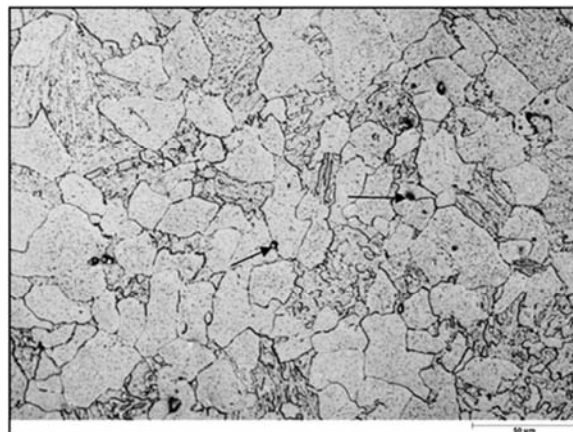
Slika 4. Referentne slike za materijal X20CrMoV12-1 klasa ocjene 2b, prema standardu VGB-S 517 [5]
Figure 4. Reference images for material X20CrMoV12-1 grade 2b, according to standard VGB-S 517 [5]

Na slici 5. prikazana je mikrostruktura izuzeta sa koljena cijevi pregrijane pare oznake RB. Na slikama uvećanja 200:1 i 500:1 dominantna je feritna struktura sa karbidima, odnosno struktura raspadnutog bainita.

Zastupljenost mikropora je veća od 150 po kvadratnom milimetru. Prosječna tvrdoća dobivena kao srednja vrijednost 7 mjerenja je 190 HV. Na slici 6 dat je prikaz referentnih slika za čelik 10CrMo9-10, klasa ocjene 2a (slika 6).



Slika 5. Mikrostruktura replike koljena cijevi od materijala 10CrMo9-10 povećanje 200:1 i 500:1
Figure 5. Microstructure of a replica elbow made of 10CrMo9-10 material, magnification 200 times and 500 times

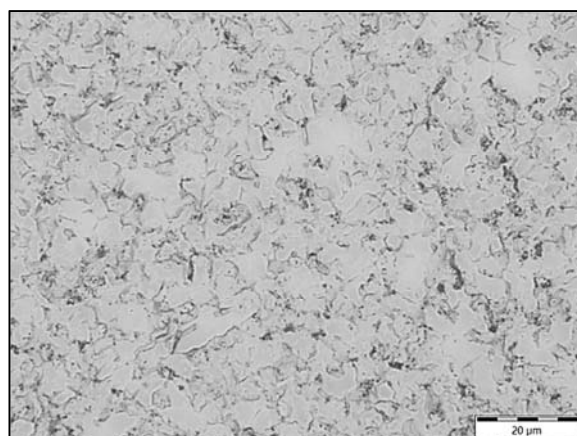
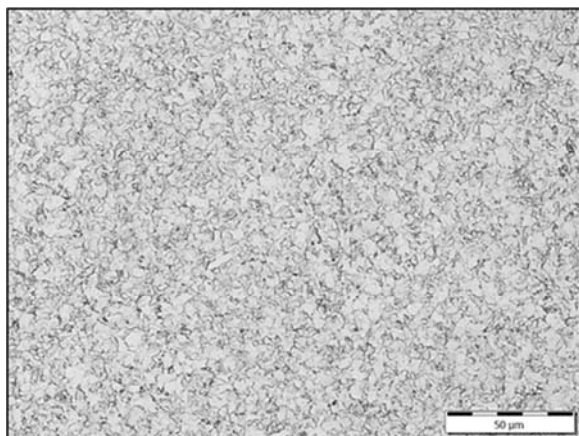


Slika 6. Referentne slike za materijal 10CrMo9-10 klasa ocjene 2a, prema standardu VGB-S 517 [5]

Figure 6. Reference images for material 10CrMo9-10 grade 2a, according to standard VGB-S 517 [5]

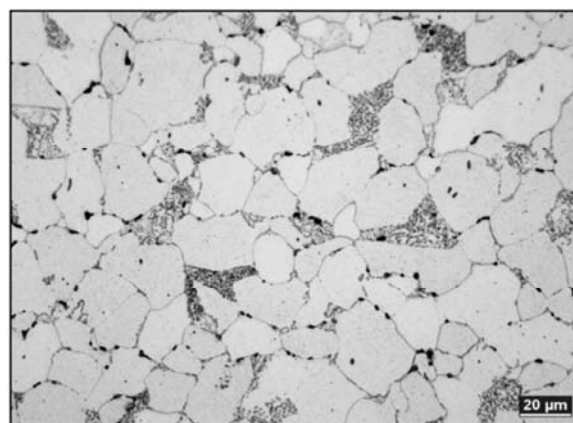
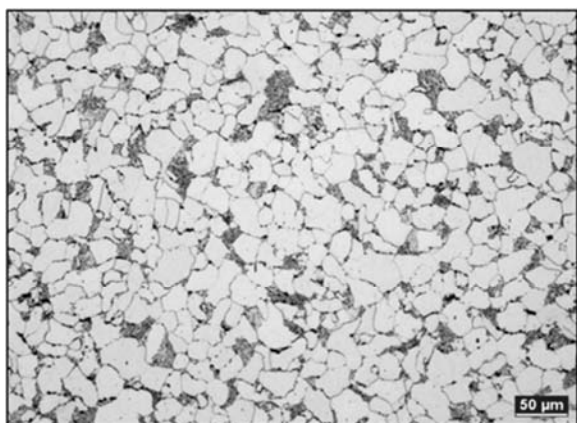
Na slici 7 uočljiva je feritna mikrostruktura izuzeta sa koljena cijevi hladne pare oznake RC, izrađenog od materijala 16Mo3. Iako je dominantnija feritna struktura, može se uočiti i struktura bainita. Zastupljenost mikropora je manja od 150 po milimetru kvadratnom.

Mikrostruktura je ocjenjena u skladu sa klasom ocjene 3a prema standardu VGB-S 517 (slika 8). Prosječna vrijednost tvrdoće 160 HV.



Slika 7. Mikrostruktura replike koljena cijevi od materijala 16Mo3 povećanje 200:1 i 500:1

Figure 7. Microstructure of a replica of a pipe elbow made of 16Mo3 material, magnification 200 times and 500 times



Slika 8. Referentne slike za materijal 16Mo3 klasa ocjene 3a, prema standardu VGB-S 517 [5]

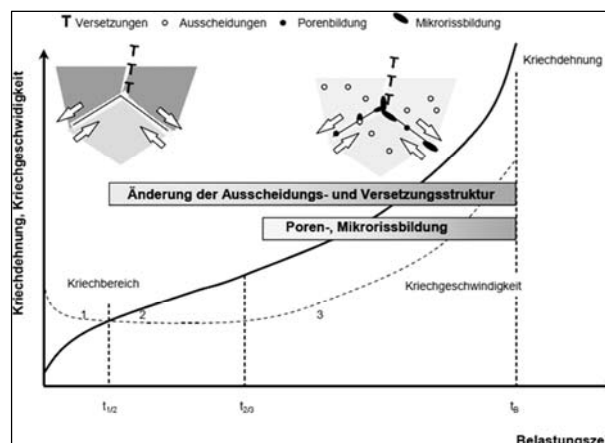
Figure 8. Reference images for material 16Mo3 grade 3a, according to standard VGB-S 517 [5]



Dobijeni rezultati ukazuju na prisustvo puzanja materijala uslijed dugotrajne eksploatacije, pri čemu se stanje materijala nalazi u skladu s projektovanim vijekom. Važno je istaknuti da prema predviđanjima, upravo u ovom periodu može doći do eksponencijalnog povećanja degradacije materijala, što može rezultirati pojavom mikro i makro pukotina.

Mikro pukotine se mogu detektovati primjenom metoda metalografskih replika, dok se makro pukotine identifikuju pomoću površinskih metoda ispitivanja bez razaranja, ali kada dođe do njihove pojave, često je već kasno za preventivne mjere.

Na slici 9 dat je dijagram procesa nastanka puzanja, koji je prikazan u standardu VGB-S 517.



Legende Bild 3.7	Tumačenja oznaka sa slike 3.7
Versetzen	Dislokacije
Ausscheidungen	Taloženje
Porenbildung	Formiranje pore
Mikrorissbildung	Formiranje mikropukotine
Kriechdehnung	Izduženje uslijed puzanja
Kriechdehnung, Kriechgeschwindigkeit	Napon puzanja, brzina puzanja
Änderung der Ausscheidungs und Versetzungsstruktur	Promjena eliminacijske i prelazne structure
Poren, Mikrorissbildung	Pore, nastanak mikropukotina
Kriechbereich	Nivo propagacije puzanja
Kriechgeschwindigkeit	Nivo puzanja
Belastungszeit	Vrijeme izloženosti naprezanju

Slika 9. Odnos između deformacije uslijed puzanja i vremena naprezanja, razvoj mikrostrukturnih oštećenja [5]

Figure 9. Relationship between creep deformation and stress time, development of microstructural damage [5]

4. Zaključak

U ovom radu provedeno je ispitivanje mikrostrukture i tvrdoće glavnih parovodnih cijevi nakon 200 000 sati rada.

Ispitivanje je provedeno na cijevima parovoda izrađenih od različitih materijala, uključujući:

- Cijevi svježe pare oznake RA (Ø258x38 mm), izrađene od visokolegiranog čelika X20CrMoV12-1 (1.4922). Ovaj čelik odlikuje otpornost na visoku temperaturu i pritisak, što ga čini pogodnim za izradu cijevi parovoda visokog pritiska.

4. Conclusion

In this paper, the microstructure and hardness of the main steam pipes were tested after 200,000 hours of operation.

The test was carried out on steam pipes made of different materials, including:

- Pipes of fresh steam marked RA (Ø258x38 mm), made of high-alloy steel X20CrMoV12-1 (1.4922). This steel is characterized by resistance to high temperature and pressure, which makes it suitable for making high-pressure steam pipes.



- Cijevi pregrijane pare oznake RB (Ø648x38 mm), izrađene od niskolegiranog čelika 10CrMo9-10 (1.7380). Ovaj čelik još poznat po oznaci P22 je legirani čelik sa sadržajem kroma (Cr) i molibdena (Mo), karakterističan po visokoj otpornosti na oksidaciju pri povišenim temperaturama i srednjim pritiscima.
- Cijevi hladne pare oznake RC (Ø470x15,5 mm), izrađene od niskolegiranog čelika 16Mo3 (1.5415), kog odlikuju dobre mehaničke osobine, prije svega visoka otpornost na puzanje.

Ispitivanje mikrostrukture je provedeno i skladu sa standardom BAS ISO 3057:1998, a dobijeni rezultati ocjenjeni u skladu s standardom VGB-S 517, metodom usporedbe referentnim slikama, kao i softverskom analizom količine mikropora.

Provedenim ispitivanjem utvrđeno je da:

- Kod svih ispitanih cijevi došlo je do puzanja materijala uslijed eksploatacije.
- Stanje materijala svih cijevi je u skladu sa projektovanim vijekom.
- Nema pojava mikro pukotina, ali postoje mikro pore u određenom nivou za sva pojedinačna ispitivanja.
- Tvrdće svih pojedinačnih ispitivanja zadovoljavaju projektovane vrijednosti.

Rezultati analize dobivenih rezultata pokazuju da je potrebno u redovnim intervalima pratiti stanje cjevovoda kako bi se adekvatno reagovalo u slučaju pojave struktura opisanih u standardu VGB-S 517 ocjenama 3B i 4, odnosno datih slikom 9. Budući da se radi o opremi koja zahtijeva kontinuirano praćenje i ispitivanje tokom eksploatacije, dobiveni rezultati će poslužiti kao referenca za poređenje sa budućim analizama. S obzirom na to da je parovod nadmašio svoj projektovani vijek, neophodno je učestalije ispitivanje materijala, jer upravo u ovoj fazi materijal se nalazi u procesu ubrzanog rasta dislokacija, mikropora, mikro i makropukotina.

References / Literatura

- [1] BAS EN 10088-1:2015, Institut za standardizaciju Bosne i Hercegovine
- [2] BAS EN 10216-2:2021; Institut za standardizaciju Bosne i Hercegovine
- [3] BAS EN 10216-2:2021; Institut za standardizaciju Bosne i Hercegovine.
- [4] BAS ISO 3057:1998 - Ispitivanje bez razaranja - Metoda ispitivanja površine pomoću metalografskih replika; Institut za standardizaciju Bosne i Hercegovine.

- Tubes of superheated steam marked RB (Ø648x38 mm), made of low-alloy steel 10CrMo9-10 (1.7380). This steel, also known by the designation P22, is an alloy steel with a content of chromium (Cr) and molybdenum (Mo), characterized by high resistance to oxidation at elevated temperatures and medium pressures.
- Cold steam pipes marked RC (Ø470x15.5 mm), made of low-alloy steel 16Mo3 (1.5415), characterized by good mechanical properties, above all, high creep resistance.

The microstructure test was also carried out in accordance with the BAS ISO 3057:1998 standard, and the obtained results were evaluated in accordance with the VGB-S 517 standard by the method of comparison with reference images, as well as software analysis of the amount of micropores.

The conducted investigation established that:

- In all tested pipes, material creep occurred due to exploitation.
- The material condition of all pipes is in accordance with the designed life.
- There are no occurrences of micro-cracks, but there are micro-pores in a certain level for all individual tests.
- The hardness of all individual tests meets the projected values.

The results of the analysis of the obtained results show that it is necessary to monitor the condition of the pipeline at regular intervals in order to adequately react in the event of the appearance of the unsafe structures described in the standard VGB-S 517 grades 3B and 4 that is, given in Figure 9. Since this is equipment that requires continuous monitoring and testing during exploitation, the obtained results will serve as a reference for comparison with future analyses. Given that the steam pipeline has exceeded its designed life, more frequent testing of the material is necessary, because it is precisely at this stage that the material is in the process of accelerated growth of dislocations, micropores, micro- and macrocracks.

- [5] VGB-S 517 - Smjernice za ocjenjivanje mikrostrukturnog sastava i oštećenja od puzanja čelika otpornog na puzanje za cjevovode visokog pritiska i komponente kotlova i njihove zavarene spojeve; VGB PowerTech Service GmbH, Essen, Germany.

- [6] Transcopy Instruction for use; Struers 2016.



Dragan Mitić ^{1,a}, Nikola Jović ^{2,b}, Davor Gruber ^{3,c}

TEHNOLOGIJA ZAVARIVANJA MAG POSTUPKOM TRAMVAJSKE ŠINE 54G2 ZA BLOK OD COGIDURA SA PODLOŠKOM OD BAKRA MAG WELDING OF THE TRAM-RAIL 5G2 TO A COGIDUR BLOCK WITH A COPPER BACKING

Stručni rad / Professional paper

Rad primljen / Paper received:

Avgust 2024.

Rad prihvaćen / Paper accepted:

Novembar 2024.

Adresa autora / Author's address

¹ NIVAR Niš, Srbija

² VOSSLOH Niš, Srbija

³ DGNDT Niš, Srbija

Email / ORCID ID

^a mitanivar@gmail.com /

^b nikola.jovic@vossloh.com /

^c davor.gruber@dgndt.com /

Ključne reči: tramvajska skretnica, Cogidur

Keywords: the tram switch, Cogidure

Rezime

U radu je prikazana tehnologija zavarivanja tramvajske skretnice sučeonog spoja tramvajske šine 54G2 (W.N.1.0623, grupa 11.3) za blok od Cogidura (W.N.111111.8715, grupa 3.2) primenom MAG IBE postupka sa žicom punog preseka i podloške od bakra. Pored toga, rad se bavi pregledom ispitivanja bez razaranja (VT, PT, UT) zavarenog spoja, kao i pregledom ispitivanja makrostrukture i tvrdoće. Urađene su dve kvalifikacione probe, od kojih jedna je prošla ispitivanje na lom sa promenljivim opterećenjem i frekvencom, a druga makro ispitivanja.

Abstract

The paper presents the technology of MAG welding of the tram switch of butt joint of tram-rail 54G2 (W.N.1.0623, group 11.3) to a block of Cogidure (W.N.1.8715, group 3.2) using a solid wire and a copper backing. In addition, an overview of non-destructive testing of the welded joint is given (VT, PT, UT), as well as macrostructure and hardness was given. Two qualification tests were performed, one of which passed the fracture test with variable load and frequency, and the other passed the macro-test.

Rad je u originalnom obliku objavljen u Zborniku radova sa 33. Savetovanja sa međunarodnim učešćem „Zavarivanje 2024“ održanog u Vrnjačkoj Banji, Srbija od 2. do 5. oktobra 2024. godine.



1. Uvod

Postupci kojima se zavaruju tramvajske šine kvaliteta 54G2 prema standardu EN14811 (Primena na železnici-kolosek -šina sa žlebom, odgovarajući profil šina u skretnicama i ukrštenjima), su: aluminotermitsko zavarivanje (AT), elektrootporno zavarivanje (ET), zavarivanje samozaštitnom praškom punjenom žicom (FCAW) i zavarivanje MAG postupkom punom žicom (IBE metoda).

Najčešća metoda zavarivanja tramvajskih šina je aluminotermitska, kako u radionici tako i na terenu.

Elektrootporno zavarivanje je u većini slučajeva vezano za rad u radionici. Zavarivanje FCAW postupkom se primenjuje najviše u Americi i retko u Evropi, dok se IBE metoda isključivo primenjuje u Evropi.

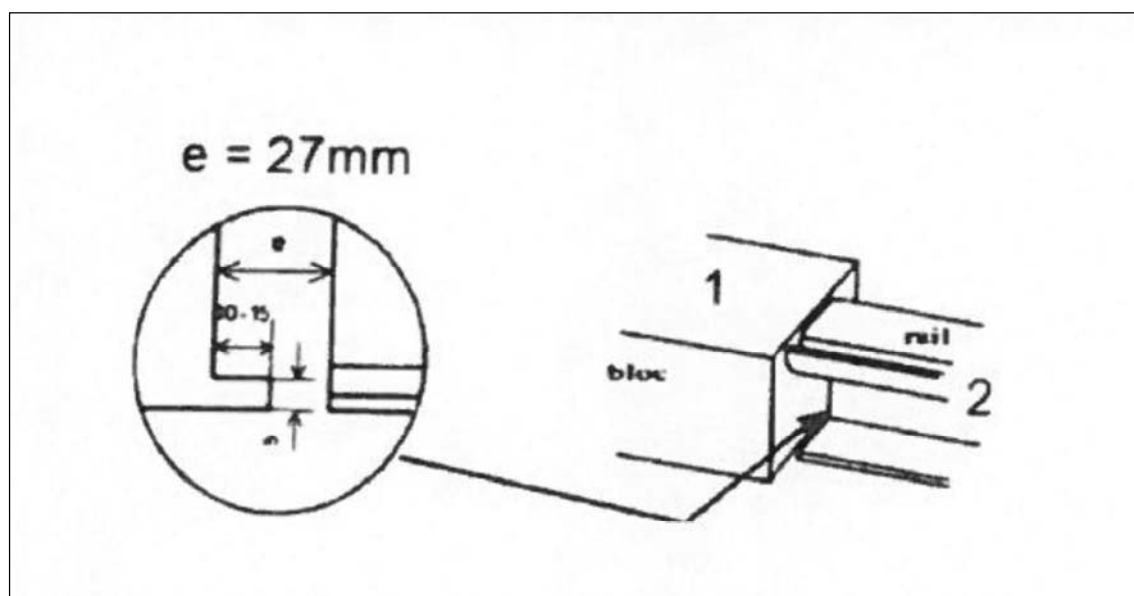
IBE metoda je odgovor evropskih železnica na američku metodu zavarivanja FCAW. Za ovu metodu su potrebni dodavači žica, pištolji za žicu prečnika $\geq 2,0$ mm, kao i dodatni materijal koji se

proizvodi u Americi). S druge strane, kod zavarivanja IBE metodom, uređaji za zavarivanje se proizvode u Evropi, kao i dodatni materijal (prečnik žice $\varnothing 1.2$ mm).

Problemi koji se javljaju prilikom zavarivanja šina za blok od Cogidure IBE metodom su:

- masivni komadi šine i bloka od Cogidura visine 150 mm i širine 117 mm (Slika 1.),
- temperatura predgrevanja šine koja iznosi 350°C , a Cogidura 150°C , što je u praksi veoma teško primeniti,
- problem je i mala toplotna moć MAG postupka pri korišćenju prečnika žice $\varnothing 1,2$ mm zbog ograničene vrednosti jačine struje.

Kao dodatna poteškoća, izdvaja se loš kvalitet materijala i neadekvatni profili podloške od bakra, kao i otežani pristup zavarenom spoju, kako za samo zavarivanje, tako i za praćenje zavarivačkog luka zbog uskog razmaka između šine i bloka koji iznosi 27 mm (Slika 1).



Slika 1. Skica spoja šina-blok

Figure 1. Sketch of rail-block joint

2. Materijali i metode

2.1 Osnovni materijal

Prilikom izrade tramvajskih skretnica, potrebno je zavariti šinu 54 G2, materijal šine je R260 prema EN14811 ili čelik 1.0623, Tabele 1 i 2, za

blok od Cogidura (EN10083-2, 1.8715, Tabele 1 i 2), što je urađeno u pogonu fabrike „Vossloh MIN Skretnice“ iz Niša.

**Tabela 1.** Hemijski sastavi osnovnih materijala.**Table 1.** Chemical compositions of base materials.

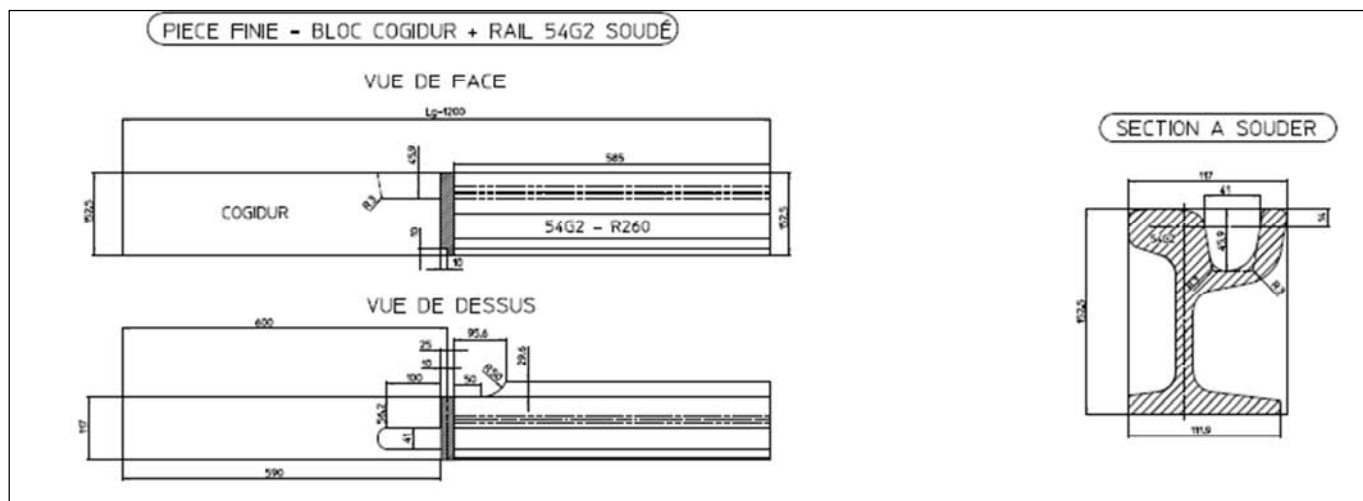
Osnovni materijal	Elementi [mas %]									
	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	Ti	V	Cu	Fe
R260	0,62-0,8	0,7-1,2	0,15-0,58							ostatak
Cogidur	0,15-0,25	1,3	0,38	0,42	1,65	0,174	0,005	0,002	0,239	ostatak

Tabela 2. Mehanička svojstva osnovnih materijala**Table 2.** Mechanical properties of base materials

Osnovni materijal	Mehanička svojstva				
	Rm [N/mm ²]	Rv [N/mm ²]	Izduženje [%]	Udarna žilavost [J]	Tvrdoća [HB]
R 260	933-947	493-510	12,5-14,4		275-284
Cogidur	1355	1005	13	-40°C 53 J	388-401

Zavarivanje šine za blok postiže se tako što se postave u takav položaj sa razmakom od 15 do 25 mm, u zavisnosti da li se rastojanje meri u predelu šape šine ili na vrhu glave šine. Ivice šine i bloka su obruštene do metalnog sjaja, a nakon provere saosnosti bloka u odnosu na šinu postavlja se stega koja ih drži na tačnom rastojanju.

Nakon toga se postavljaju bakarni podmetači sa strane šine u delu šape, a predhodno je već postavljen bakarni podmetač sa žlebom ispod šine i bloka. (Slika 2.)

**Slika 2.** Tehnički crtež spoja šine i bloka**Figure 2.** Technical drawing of rail-block joint

Pre zavarivanja, šina i blok se predgrevaju mešavinom propan-butan (300 mm levo i desno od spoja) kako bi se materijal šine i bloka progrejao po dubini (Slika 3). Temperatura predgrevanja šine se kreće do 350°C, a bloka do 200°C, što nije lako izvesti u praksi.

Nakon predgrevanja, odmah se pristupa zavarivanju šape šine za blok u dva prolaza (Slika 4), a zatim se skidaju bakarni podmetači i zavaruje se još jedan prolaz.



Slika 3. Predgrevanje šine i bloka

Figure 3. Preheating of rail foot and block



Slika 4. Zavarivanje šape šine za blok

Figure 4. Welding of rail foot to block

Nakon što su postavljeni bakarni podmetači sa bočnih strana spoja, ponovo se vrši predgrevanje. Razlog je taj što dolazi do brzog hladjenja osnovnog materijala zbog potrebnog vremena za postavljanje bakarnih podmetača na prethodno zavareni spoj šape, što je procedura koja zahteva posebnu veštinu zavarivača. U slučaju kad temperature materijala šine i bloka ne odstupaju više od 10% od vrednosti koje su zadate WPS listom, nastavlja se sa neprekidnim zavarivanjem IBE postupkom vrata šine za blok sve dok zavar ne dostigne kraj vrata šine.

Tada se sklanjaju bakarni podmetači, zavar se očisti od šljake pneumatskim pištoljem sa vibrirajućim žicama, a nakon toga se zavare još najmanje tri prolaza, pri čemu zadnjih 30 mm glave šine ne zavaruje, već navaruje austenitnim dodatnim materijalom.

Tokom zavarivanja se sve vreme prate vrednosti jačine struje, koja treba da odstupa minimalno od vrednosti koje su zadate WPS listom.

2.1 Dodatni materijali za zavarivanje i navarivanje spoja tramvajske šine za blok

Za zavarivanje spoja šina-blok IBE postupkom, upotrebljava se puna žica SRPS EN ISO 14341-A G3Si1, komercijalne oznake OK Autrod 12.50 ESAB (Švedska) prečnika Ø 1,2 mm (Tabele 3 i 4) u zaštiti mešavine gasa EN ISO 14175 M21

Za navarivanje IBE postupkom koristi se austenitna puna žica SRPS EN ISO 14343-A G 18 8 Mn komercijalne oznake OK Autrod 16.95 ESAB (Švedska) prečnika Ø 1,2 mm (Tabele 3 i 4) u zaštiti mešavine gasa EN ISO 14174 M13.

Tabela 3. Hemijski sastavi dodatnih materijala

Table 3. Chemical compositions of filler materials

Dodatni materijali	Elementi [mas.%]							
	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	Cu	Fe
OK 12.50	0.08	1.46	0.85					ostatak
OK 12.95	0,08	7,0	0,9	8,1	18,7	0,2	0,10	ostatak

Tabela 4. Mehanička svojstva dodatnih materijala

Table 4. Mechanical properties of filler materials

Dodatni materijal	Mehanička svojstva			
	Rm [N/mm ²]	Rv [N/mm ²]	Izduženje [%]	Udarna žilavost [J]
OK 12.50	560	480	26	60 (-40°C)
OK 12.95	640	450	41	130 (20°C)



2.3 Tehnike zavarivanja

Postoje dve tehnike zavarivanja spoja šine-blok IBE metodom. Prva tehnika podrazumeva da se električni luk vodi po sredini spoja, ali sa većim vrednostima jačine struje. Druga tehnika podrazumeva primenu manjih vrednosti jačine struje,

a izvodi se na način da se električni luk usmerava u prvom prolazu prema šini, a u sledećem prema bloku od Cogidura i tako naizmenično. Ova tehnika obezbeđuje veće uvarivanje prema blokovima materijala šine i bloka u odnosu na prvu tehniku, što sprečava pojavu povišene tvrdoće u ZUT-u, pa time i pojavu prslina.



Slika 5. Zavareni vrat šine za blok

Figure 5. Welded rail web to a block



Slika 6. Navarivanje glave šine

Figure 6. Hardfacing of the rail head

Parametri zavarivanja su dati u WPS listi. Vrednosti jačine struje se kreću od 230 do 240 A u zavisnosti da li se zavaruje šapa ili vrat šine. Napon zavarivanja se kreće oko 28 V, brzina zavarivanja od 25 do 28 cm/min, a unos toplote od 1,2 do 1,37 kJ/mm.

Parametri navarivanja su $I = 240 \text{ A}$, $U = 28 \text{ V}$, $v = 25 \text{ cm/min}$, $E = 1,37 \text{ kJ/mm}$. Nakon zavarivanja spoja šine-blok IBE postupkom, spoj se dogreva na temperaturu od 200°C u trajanju od pola sata, a nakon toga se pokriva vatrostalnim platnom i ostavlja da se hladi.



Slika 7. Uredjaj za zavarivanje MAG-IBE postupkom

Figure 7. MAG-IBE welding device



3. Rezultati i diskusija

3.1. Ispitivanja bez razaranja

Nakon 24 h, izvršena je vizuelno-dimenzionalna kontrola, kako samog zavarenog spoja tako i paralelnosti šina i bloka, kao i prisustva mogućih deformacija. Nakon toga, urađena su ispitivanja penetrantima i ultrazvukom. Kritična lokacija spoja je kraj vrata šine. Na ovoj lokaciji se prekida zavarivanje, sklanjaju bakarni podmetači i nastavlja sa zavarivanjem nakon čišćenja i predgrevanja. Tada se mogu javiti greške, nalepljivanje ili nemetalni uključci.

3.2. Ispitivanja razaranjem

Pošto su rezultati ispitivanja bez razaranja zadovoljavajući, pristupilo se ispitivanjima razaranjem. Urađena su ispitivanja tvrdoće (Slika 8) i makrostrukture (Slika 9) u laboratorijama kompanije RD Dijagnostika d.o.o. Beograd, koja je sertifikovana od strane TÜV SUD-a za ove tipove ispitivanja.

Lage der Messungen (Skizze) *)

Location of Measurements (Sketch) *)

Localisation des mesures (croquis) *)



I-II

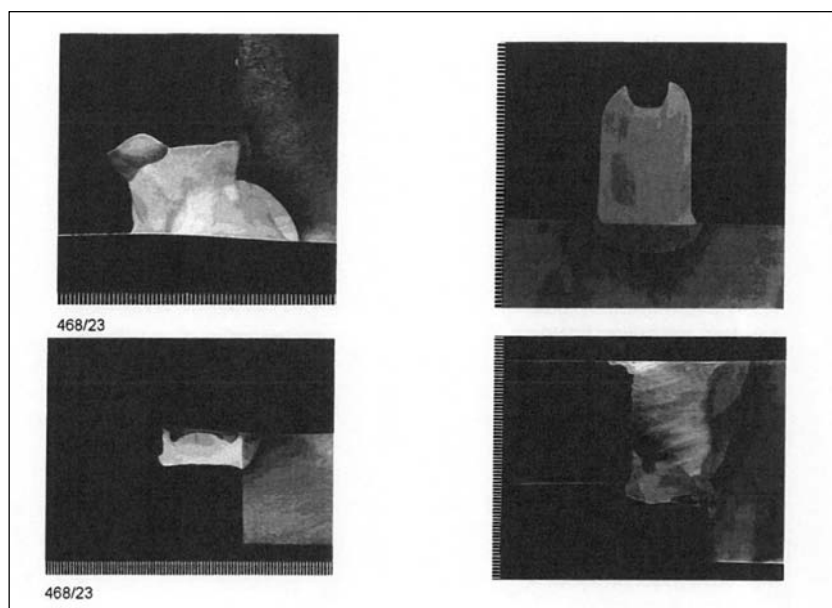
Art / Last: - Type / Load: - Type / Charge:

HV 10 – nur Informationen / only information

Nr. No. N°	Meßreihe Measuring Line Ligne de mesure	Grundwerkstoff Base Material Métal de base			WEZ HAZ ZAT			Schweißgut Weld Metal Métal déposé			WEZ HA ZAT			Grundwerkstoff Base Material Métal de base		
468/23	1-5-11-7-3	282	281	284	291	293	294	359	357	356	406	403	402	289	287	286
468/23	2-6-13-8-4	280	283	284	292	293	296	314	315	317	407	405	404	290	288	287
468/23	1-5-11-7-3	284	281	280	295	294	292	345	344	342	399	404	405	281	284	288
468/23	2-6-13-8-4	285	283	282	294	292	291	308	309	311	402	403	406	283	285	286
468/23	1-5-11-7-3	284	283	280	296	294	293	344	342	340	406	408	409	284	286	287
468/23	2-6-13-8-4	284	282	281	297	295	294	307	309	312	407	410	411	288	289	291
468/23	1-5-11-7-3	279	285	286	287	289	291	340	341	344	294	292	291	277	281	282
468/23	2-6-13-8-4	281	284	285	286	288	291	344	345	347	292	293	295	279	282	281

Slika 8. Rezultati ispitivanja tvrdoće osnovnih materijala (šina i blok) i zavarenog spoja

Figure 8. Results of hardness testing of base materials (rail and block) and welded joint



Slika 9. Fotografija makrošlifa šape, vrata i glave šina, kao i navaranog dela

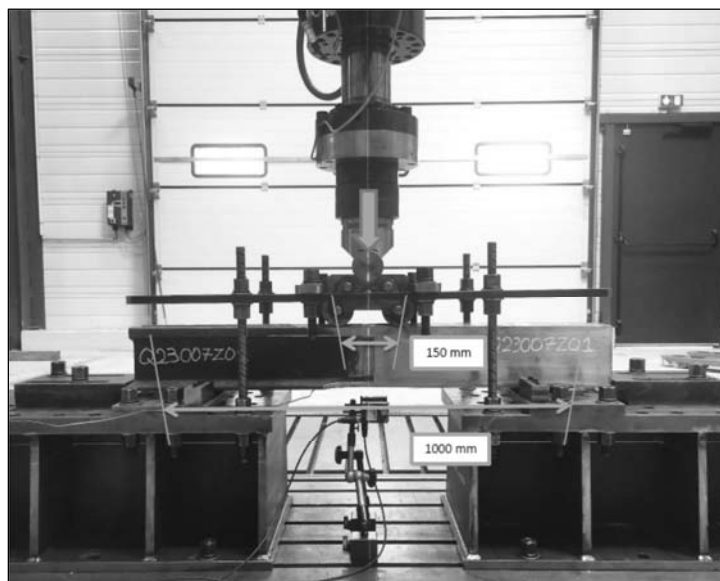
Figure 9. Photograph of the macrostructure of the foot, web and head of the rails, as well as the welded part



3.4. Ispitivanje savijanjem u četiri tačke

Test opterećenja je urađen na uzorku AWRBW (blok Cogidur-šina 54G2 R260) prema proceduri

T15002P01. Ukupna dužine uzorka je 1000 mm. Uzorak je zavaren MAG IBE postupkom u fabrici VOSSLOH MIN SKRETNICE iz Niša.

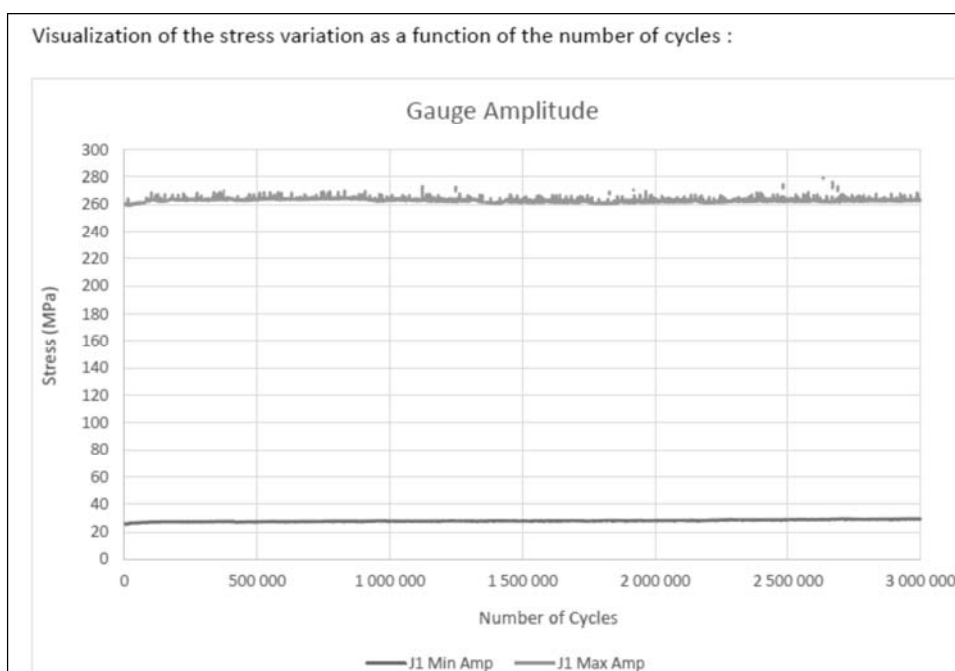


Slika 10. Ispitivanje zavarenog spoja savijanjem u četiri tačke.

Figure 10. Four-point bending test of welded joint

Test savijanja u četiri tačke je obavljen u Tehnološkom centru Vossloh Cogifer (Reichshoffen, Francuska) (Slika 10 i 11). Rastojanje između oslonca iznosi 1000 mm, a dva

laserska senzora se koriste za merenje amplitude. Pre ispitivanja izvršena je sertifikacija hidrauličkog cilindra i etaloniranje senzora.



Slika 11. Prikaz varijacije naprezanja u funkciji broja ciklusa

Figure 11. Illustration of stress variation with number of cycles



Maksimalno opterećenje je 130 MPa sa amplitudom od 5 Hz sa amplitudom od 13- 30 MPa: :5-148 kN. Test opterećenja je urađen u periodu od 5.09 do 12.09.2023. godine (Tabela 5).

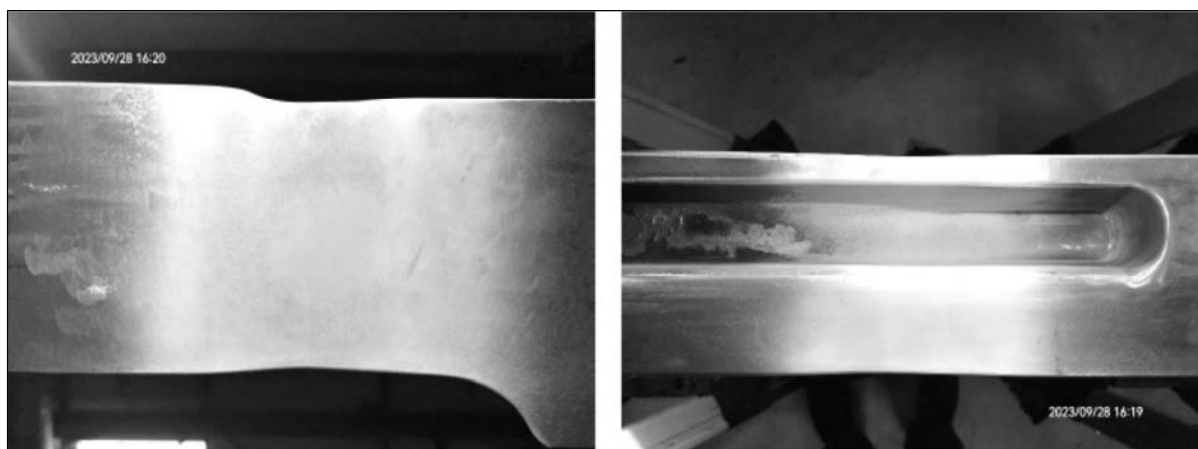
Tabela 5. Parametri ispitivanja

Table 5. Testing parameters

Tip	Broj ciklusa	Frekvencija [Hz]	L1 amplituda	L3 amplituda
Kvalifikacija	3.000.000	5	0,87	1,02

Na osnovu ispitivanja na lom nakon 3.000.000 ciklusa, sa promenljivim opterećenjem od 13 do 130 MPa, nije došlo do pojave prslina u zavarenom

spoju, što se jasno vidi na uzorku nakon ispitivanja penetrantima.



Slika 12. Izgled zavarenog spoja nakon ispitivanja na lom i ispitivanje penetrantima

Figure 12. The appearance of welded joint after fracture testing and penetrant inspection

4. Zaključak

Ako bi upoređivali zavarivanje šina-blok MAG IBE metodom sa zavarivanjem FCAW postupkom punjenom samozaštitnom žicom, naš zaključak da je zavarivanje punjenom samozaštitnom žicom pouzdaniji postupak, produktivniji i sa boljom penetracijom u bokove šina i bloka. To je zbog toga što ovaj postupak koristi žicu prečnika Ø 2,0 mm, koja omogućava rad sa većim vrednostima jačine struje, što omogućuje veću toplotnu moć, a samim tim i bolju penetraciju u bokove sa manjom mogućnošću nastanka nalepljivanja (hladan spoj). Ostale fabrike u sastavu grupacije Vossloh nisu još uspele da kvalifikuju tehnologiju zavarivanja blok-šina MAG IBE postupkom.

4. Conclusion

When comparing rail-to-block welding using the MAG IBE method with the FCAW process employing self-shielded flux-cored wire, our conclusion is that the self-shielded flux-cored wire process is more reliable, productive, and provides better penetration into the sides of the rails and blocks. This advantage stems from the use of Ø 2.0 mm diameter wire, which allows for higher current values, resulting in greater heat input and, consequently, improved side penetration with a reduced risk of adhesion defects (cold joints). Other factories within the Vossloh group have not yet succeeded in qualifying the MAG IBE welding technology for rail-to-block applications.

References / Literatura

[1] Atlas of Fatigue Curves, ASM International Materials Park, Ohio 44073-0002

[2] Kou, S Welding Metallurgy Handbook, 2nd ed. New York, USA: John Wiley and Sons, 2002



Savetovanje sa međunarodnim učešćem Zavarivanje 2024



Našlo se vremena i za slobodne aktivnosti...

Kao prvi i verovatno najvažniji zaključak je da je Savetovanje bilo veoma uspešno uz prisustvo eminentnih stručnjaka iz Srbije i regiona. Izloženo je preko 25 radova. Izloženi radovi su pokazali da su praktično svi segmenti (koji su inače i tematske celine Skupa) bili predmet interesovanja i rada ne samo mašinske i metaloprerađivačke industrije, već i da su postignuti izuzetni rezultati, osim u proizvodnom i tehnološkom delu, takođe i u delu istraživanja i/ili razvoja novih tehnologija i fenomena.

U prilog tome svedoči i značajan broj radova koji su bili izloženi, a predstavljaju aktivnosti vezane za istraživačko-razvojne projekte sa elementima osnovnih istraživanja, mada je najviše radova, bar što se autora iz Srbije tiče, bilo iz Projekata koji pripadaju kategoriji tehnološkog razvoja, a finansirani su od strane Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije. Zaključeno je da je kvalitet radova na visokom nivou, što je i ranije bio slučaj kod Savetovanja "ZAVARIVANJE".

Kao poseban doprinos izdvajamo da su autori većine radova bili članovi akdemske zajednice Univerziteta iz zemalja jugoistočne Evrope: Ljubljane, Maribora, Zagreba, Rijeke, Slavenskog Broda, Mostara, Tuzle, Istočnog Sarajeva, Sarajeva, Skoplja, Novog Sada, Kragujevca, Niša i Beograda.

Ovim putem još jednom želimo da izrazimo zahvalnost našim pokroviteljima, sponzorima i donatorima, koji su svojim doprinosom omogućili održavanje Savetovanja, abecednim redom: ELIMP doo Beograd, HONEX doo Beograd, ICI doo Beograd, IDEF d.o.o. Zagreb, MESSER TEHNOGAS ad Beograd, Ministarstvo nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije, NEMINIK d.o.o. Beograd i DOO REFIT Inženjering, Beograd. Organizacija ovkvog događaja ne bi bila moguća bez njihove podrške.

Jedinstven zaključak je da je Savetovanje "ZAVARIVANJE 2024" bilo veoma uspešno sa svih aspekata, što se odnosi i na spektar i kvalitet radova kao i izbalansiranost primenjenih tehnologija, aplikacija rezultata istraživačko-razvojnih aktivnosti i projekata podržanih od strane Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije. Takođe, neposredno prisustvo eminentnih stručnjaka i naučnih radnika iz oblasti zavarivanja je jedno od obeležja Savetovanja.

Većina radova sa savetovanja "ZAVARIVANJE 2024" biće sukcesivno objavljivana u narednim brojevima časopisa „Zavarivanje i zavarene konstrukcije“.

Vencislav Grabulov

Preostale fotografije mogu se pogledati na sajtu DUZS: www.duzs.org.rs



77. GODIŠNJA SKUPŠTINA MEĐUNARODNOG INSTITUTA ZA ZAVARIVANJE I MEĐUNARODNA KONFERENCIJA RODOS, GRČKA, 07-12. Jul 2024.

Ovogodišnja, 77. po redu, Godišnja skupština Međunarodnog instituta za zavarivanje (IIW/MIZ), sa ostalim pratećim sadržajima, održana je u hotelu Rhodos – Palace na grčkom ostrvu Rodos u periodu od 07-12. jula 2024. godine.

Organizator ove najznačajnije manifestacije, koja predstavlja skup zavarivačkih asocijacija iz čitavog sveta, je Grčko društvo za zavarivanje, uz podršku Sekretarijata Međunarodnog instituta za zavarivanje i menadžmenta Međunarodnog borda za ovlašćivanje (IAB - International Authorization Board).

Pored Godišnje skupštine Međunarodnog instituta za zavarivanja i redovnog sastanaka tehničkih komisija i radnih grupa MIZ-a, održana je i Međunarodna IIW konferencija na temu "Energetska infrastruktura i transporti preko mora", izložba fotografija pod nazivom "Umetnička duša zavarivanja" kao i Izložbe opreme za zavarivanje, dodatnih i potrošnih materijala za zavarivanje na kojoj su učestvovali sponzori 77. Godišnje skupštine Međunarodnog instituta za zavarivanje.

Prema zvaničnim podacima, u radu Godišnje skupštine Međunarodnog instituta za zavarivanje učestvovalo je ukupno oko 1000 učesnika iz preko 50 zemalja, od čega sa punom kotizacijom 466 participanata, 147 mladih profesionalaca i 205 studenata u svojstvu delegata, eksperata ili posmatrača u tehničkim Komisijama, članova radnih grupa - podkomisija, studijskih grupa, tehničkih komiteta, 25 učesnika samo na međunarodnoj IIW konferenciji, 17 učesnika samo na IIW Konferenciji u svojstvu studenata i mladih profesionalaca, 11 učesnika samo na Simpozijumu "Inteligentna proizvodnja" i 68 pratećih osoba.

Najbrojnije delegacije, kao i uvek, bile su delegacije Nemačke, Kine, Grčke, Japana, SAD i Južne Koreje.

Što se društvenih aktivnosti tiče, kako je uobičajeno, a i u skladu sa procedurama organizacije godišnjih skupština IIW-a, sve je počelo ceremonijom otvaranja Godišnje skupštine na kojoj su dodeljene nagrade i priznanja IIW kojih je bilo 15. U pitanju su nagrade i priznanja koje nose ime po članovima IIW-a, a najvećim delom su sponzorisanе od strane članova Međunarodnog Instituta za zavarivanje ili nacionalnih zavarivačkih asocijacija i odnose se na izuzetan doprinos pojedinaca u delu razvoja i implementaciji naučnog i tehnološkog napretka u zavarivanju i srodnim procesima, kao i pojedinaca koji su doprineli da IIW postane i ostane najprestižnija pozornica – svetska mreža za razmenu znanja i saradnju u širokom spektru spajanja i srodnih tehnologija.



Nosioci nagrade i priznanja IIW sa sponzorima



Društvo za unapređivanje zavarivanja u Srbiji, zajedno sa Rumunskim i Bugarskim asocijacijama za zavarivanje, je sponzor priznanja koje nosi ime po Chris Smallbone-u, a odnosi se na regionalne aktivnosti koje doprinose regionalnom razvoju zavarivanja i jačanju veza asocijacija koje se bave zavarivanjem i srodnim tehnologijama.



V.Grabulov uručuje priznanje "CHRIS SMALLBONE" dr. Emmanuelu Afrane Gyasi iz Gane

Ceremonija otvaranja i dodela IIW nagrada i priznanja zaokružena je koktelom dobrodošlice, nastavljena trećeg dana nacionalnom večerom (Grčko veče), a završena ceremonijom zatvaranja Godišnje skupštine na gala banketu.

Organizacija je bila sasvim dobra, kapaciteti hotela Palas su u najvećoj meri ispunili očekivanja učesnika, što važi i za osoblje koje je servisiralo aktivnosti.

AKTIVNOSTI IIW RADNIH JEDINICA

- Generalna skupština

Generalna skupština IIW je održana 07. jula 2024.g. uz prisustvo delegacija iz 51 zemlje, članice IIW-a. Na Skupštinskoj sednici su usvojeni izveštaji o radu svih tela IIW, donete rezolucije o daljim aktivnostima, usvojen finansijski izveštaj i plan budžeta za sledeću godinu.

Ova godina nije bila izborna što se tiče predsednika IIW, ali su na ovoj sednici izabrana 3 nova člana Borda direktora IIW, umesto onih kojima je istekao mandat.

Usvojen je kalendar budućih aktivnosti i regionalnih Kongresa IIW i potvrđeno da će organizatori narednih skupština biti: Đenova – Italija 2025. i Salzburg – Austrija 2026. godine.

- Radne jedinice IIW

Radne jedinice IIW čine 18 tehničkih komisija, 5 podkomisija, 4 radne grupe (Regionalna saradnja, Standardizacija, Komunikacija i Marketing), Tehnički komitet i Međunarodno telo za ovlašćivanje (IAB) sa dve radne grupe i to: Grupa A – Obrazovanje, obuka i kvalifikacija i Grupa B – Implementacija i ovlašćivanje.

Sastanci tehničkih komisija su održani tokom tri dana, od 08 do 11. jula. Na njima su razmatrani stručni materijali – dokumenti IIW. Izabrani dokumenti IIW su predloženi da se objave u časopisu "Welding in the world". Održani su i sastanci svih ostalih radnih jedinica i doneti odgovarajući zaključci.



IIW MEĐUNARODNA KONFERENCIJA

IIW međunarodna konferencija pod naslovom “Energetska infrastruktura i transporti preko mora”, održana je 11. i 12. jula. Izuzetni stručnjaci su predstavili rezultate svog naučnog rada i studija na 2 plenarne i 11 usmenih sesija, gde je prezentovano je 87 radova, dok je putem postera predstavljeno još 17 radova.

IZLOŽBA ZAVARIVANJA

Sponzori 77. Skupštine IIW su iskoristili mogućnost da predstave svoje proizvode na izložbi koja je organizovana u aulama hotela Palas na Rodosu za vreme trajanja Skupštine.

Izlagači su pored prezentacije svojih proizvoda iskoristili priliku da dopune svoju prezentaciju i kroz video zapise.

DIGITALNA KOLEKCIJA FOTOGRAFIJA PO TEMI “UMETNIČKA DUŠA ZAVARIVANJA 2024”

Nakon 2019. godine, kada je izložba “Umetnost u zavarivanju” prvi put održana kao prateća manifestacija Generalne skupštine IIW u Bratislavi sa preko 20 izloženih radova umetnika iz celog sveta koji su obrađivali tematiku zavarivanja ili primenjivali tehniku zavarivanja za izradu eksponata, od 2020. godine se organizuje virtuelna izložba digitalnih fotografija iz zavarivanja sve do 2023 godine.

Ove godine izložba digitalnih fotografija, pod nazivom “Umetnička duša zavarivanja” je deo projekta Ujedinjenih nacija o održivom razvoju zemalja sa niskim i srednjim nacionalnim dohotkom.

Ova izložba, zajedno sa IIW projektom o nacionalnim kapacitetima u zavarivanju, usvojena je kao projekat UN u realizaciji 17 ciljeva održivog razvoja zemalja sa niskim i srednjim dohotkom. Fokus je da se omogući uspostavljanje, održavanje i poboljša nacionalni kapacitet ovih zemalja u zavarivanju i pruži mogućnost da se unaprede ciljevi održivog razvoja.

AKTIVNOSTI DELEGACIJE SRBIJE

Na 77. sednici skupštine Međunarodnog instituta za zavarivanje je ispred naše zemlje bio prisutan nažalost samo jedan član, naučni savetnik dr Vencislav Grabulov, izvršni rukovodilac DUZS-CertPers-a.

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

Pored učešća u radu na samoj sednici Skupštine, koja je održana 07. jula, najznačajnija aktivnost je bila učešće u radu IAB Grupe A (održana 08.07.), IAB Grupe B (09.07.) i predstavnika članica IAB grupe (10.07.).

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

Na grupama A i B su donete ili potvrđene odluke koje se tiču ANB-a, a odnose se na autorizaciju DUZS-CertPers-a za sertifikaciju osoblja u zavarivanju (Međunarodnih inženjera, tehnologa, specijalista i inspektora).

Sastanak radne grupe za regionalnu saradnju održan je 07. jula.

Sastanak Komisija za obrazovanje, na kome je prisustvovao i naš predstavnik, je održan 11.jula.

Na ceremoniji otvranja Skupštine, dr Vencislav Grabulov je u ime sponzora (zavarivačkih asocijacija Rumunije, Bugarske i Srbije) dodelio IIW priznanje “Chris Smallbone” gospodinu dr Emmanuel Afrane Gyasi, predavaču na Kumasi Technical Univerzitetu u Gani za “izuzetan doprinos u saradnji globalnoj zavarivačkoj zajednici”.

Gospodin dr Emmanuel Afrane Gyasi je bio predložen od strane zavarivačkih asocijacija iz Gane, Nigerije, Kameruna...

Dr Vencislav Grabulov je imao više bilateralnih susreta, kao na primer sa predsednikom IIW-a, gospodinom prof. dr Thomas Boellinghausom, prethodnim predsednikom Sorin Kellerom, izvršnim direktorom IIW dr Luca Costa-om, predsednikom grupe A IAB-a g-dinom dr Horia Dascau-om i predsednikom IAB grupe B gospodinom Stefano Morra-om, kao i predsednikom Evropske zavarivačke federacije. Naravno, sastanci sa predstavnicima delegacija iz regiona se podrazumevaju. Konkretno sa predstavnicima Slovenije,



Rumunije, Bugarske, Grčke i Turske kao članice regiona Jugoistočna Evropa. Predstavnici iz Hrvatske nisu učestvovali u radu Skupštine. Njihov ovlašćeni delegat je bio dr Vencislav Grabulov.



Sa prijateljima iz Rumunije

Na kraju se može zaključiti da je učešće u radu Godišnjih skupština IIW-a i radnih grupa, pre svega IAB grupe, korisno i neophodno. Ostaje veliki problem što veoma mali broj aktivista i stručnjaka naše zavarivačke javnosti prati i učestvuje u pripremnom radu na izradi ili dopuni dokumenata IIW-a koji mogu bitno da utiču na naše nacionalne aktivnosti i imaju nesagledive posledice za razvoj i unapređivanje zavarivanja u Srbiji.

Neophodno je da se više stručnjaka i/ili subjekata uključi ne samo u praćenje, već da uzme i učešće u radu IIW-a i EWF-a, blagovremeno, još u fazi pripremnog perioda na izradi novih dokumenata ili pravila. U vezi sa tim, veoma je značajna i brojnost delegacije iz Srbije na ovakvim manifestacijama, odnosno radnim sastancima gde se "kroji sudbina" razvoja zavarivanja u svetu ali i kod nas.

Fizičko prisustvo je veoma bitno, jednočlana ili delegacija sastavljena od par članova ne može ni fizički da isprati sva bitna događanja i da prati izmene dokumenata i pravila. Da ne govorimo o potrebi da utiče na promene koje nam često nisu naklonjene.

Uspešnost zavisi i od brojnosti naše delegacije koja prisustvuje u radu stručnih tela.

Dr Vencislav Grabulov dipl.ing.IWE
naučni savetnik

**Članstvo u strukovnoj asocijaciji DUZS
je referenca za Vaš profesionalni status**
Odlukom Skupštine DUZS članarina za 2025. godinu iznosiće
5.000,00 dinara

**Uplatom članarine stičete pravo na GRATIS godišnje izdanje
časopisa "ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE"**

Tekući račun DUZS: 325-9500600002588-46

Informacije

+ 381 (11) 2420-652

duzs011@gmail.com



ČASOPIS ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE**Cenovnik oglasnog prostora u četiri uzastopna broja 2024**

	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	-	42 900	25 300	17 600	11 000
	kolor	115 500	82 500	-	-	-

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

WELDING & WELDED STRUCTURES, Quarterly review**Advertising prices for four successive numbers in 2024**

	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	-	924	480	372	264
	colour	2 880	1 848	-	-	-

- 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

TMS CEE D.O.O BEOGRAD

1. ČLANARINA DUZS za 2024. godinu **3.500 dinara**
Članovima DUZS **GRATIS** godišnje izdanje časopisa "ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE"
2. ČASOPIS "ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE" - 2024. 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 2023. godinu 500 dinara
 - cena pojedinačnog broja za prethodne godine..... 250 dinara
 - b) beneficirane cene za članove DUZS:
 - cena pojedinačnog broja za 2023. 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