



ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE

WELDING & WELDED STRUCTURES

God. 66 Vol. 66	Br. 4 No. 4	145-192 145-192	Beograd Belgrade	Srbija Serbia	2021. 2021.
--------------------	----------------	--------------------	---------------------	------------------	----------------

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 Bore Jegdić, dipl.ing.

Miloš Pavlović, dipl.ing.

REDAKCIJA I MARKETING / EDITORIAL OFFICE AND MARKETING

Vesna Jović

Grčića Milenka 67, I sprat
11000 Beograd

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

duzs@eunet.rs

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 2021.

Cena pojedinačnog broja 825,00 dinara

Godišnja pretplata 2500,00 dinara

Tekući račun: 325-9500600002588-46

PRICE AND ORDER

Annual subscription: EUR 100

Account No. RS35325960160000041546

OTPVRS22 (VOJVOĐANSKA BANKA AD)

IBAN RS35325960160000041546

ŠTAMPA / PRINTED

“VIS STUDIO” d.o.o.

Bulevar Arsenija Čamojevića 123, Beograd

Tiraž: 400 kom.

SADRŽAJ

CONTENTS



NAUKA•ISTRAŽIVANJE•RAZVOJ

SCIENCE•RESEARCH•DEVELOPMENT

149

**KARAKTERIZACIJA ZAVARENIH SPOJEVA SA
DELIMIČNOM PENETRACIJOM NA
KONSTRUKCIONOM ČELIKU S355N**

**CHARACTERIZATION OF WELDED JOINTS WITH
PARTIAL PENETRATION ON S355N STRUCTURAL
STEEL**

D. Milčić, D. Mitić, N. Radović, M. Milčić, A. Đurić



NAUKA•ISTRAŽIVANJE•RAZVOJ

SCIENCE•RESEARCH•DEVELOPMENT

161

**UTICAJ UNOSA TOPLOTE NA GEOMETRIJU
UGAONIH SPOJEVA PRI MAG ZAVARIVANJU LIMOVA
OD NELEGIRANOG ČELIKA**

**INFLUENCE OF HEAT INPUT ON GEOMETRY OF
GMAW FILLET WELDS OF UNALLOYED STEEL**

P. Tasić, I. Hajro



NAUKA•ISTRAŽIVANJE•RAZVOJ

SCIENCE•RESEARCH•DEVELOPMENT

168

**SVOJSTVA I ZAVARLJIVOST NISKOLEGIRANOG
ČELIKA VISOKE ČVRSTOČE S1100QL**

**PROPERTIES AND WELDABILITY OF HIGH-
STRENGTH LOW-ALLOY S1100QL STEEL**

A. Skumavc, A. Smolej, E. Bjelajac, T. Vuherer



PRAKSA

PRACTICE

176

**ZAVARIVANJE, KONTROLA I POPRAVKA
MEMBRANSKIH VAROVA**

**WELDING, CONTROL AND REPAIR OF MEMBRANE
WELDS**

M. Samardžić, T. Marsenić, A. Herceg, D. Marić, B. Despotović



VESTI

NEWS

147

UVODNIK

148

AKTIVNOSTI DUZS-CERTPERS-A TOKOM 2020/21. GODINE

160

31. SAVETOVANJE SA MEĐUNARODNIM UČEŠĆEM "ZAVARIVANJE 2020"

190

31. SAVETOVANJE SA MEĐUNARODNIM UČEŠĆEM "ZAVARIVANJE 2020" - NASTAVAK

192

MARKETING

Poštovani čitaoci,

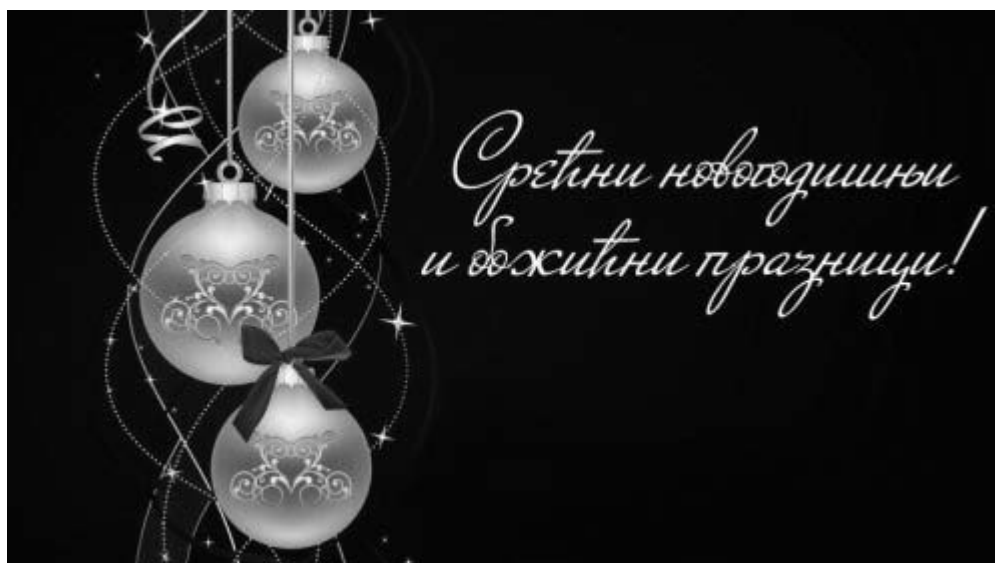
Odlazeća 2021. godina ostavlja nas sa pandemijom virusa Covid 19. Globalna pandemija promenila je mnoge stvari u našim životima od toga kako radimo, do toga kako se i koliko družimo. Vlade širom sveta preduzele su korake da smanje efekte ovog virusa na zdravlje ljudi, pa se uticaj pandemije oseća u svim sektorima javnog života, a posebno utiče na ekonomiju. Negativan uticaj na svetsku ekonomiju se osetio već od početka pandemije, ali nažalost postoji i potencijal za dugotrajnu štetu. Privrede zemalja se prilagođavaju nastalim uslovima i pokušavaju da se oporave od uticaja pandemije. Prema nekim podacima oporavak se evidentira u svetskoj ekonomiji i industriji, što se odražava i na oblast zavarivanja. Očekuje se da će doći do porasta globalnog tržišta proizvoda za zavarivanje, pa se predviđa da će taj porast u 2022. godini, prema najnovijim podacima, iznositi 10%. Rast je uglavnom rezultat nastavka rada kompanija uz prilagođavanje novoj realnosti u uslovima pandemije. Predviđa se da će inovacije i tehnološki napredak u industrijama krajnje upotrebe, gde se široko koristi zavarivanje, kao što su transportna i građevinska industrija, kao i mnoge druge, unaprediti i povećati obim svog poslovanja. Naravno takvi trendovi se očekuju i kod nas, kao i u okruženju.

U uslovima različitih ograničenja koja su uzrokovana pandemijom, i koja i dalje važe i u našoj zemlji, ipak smo uspeli da u junu u Beogradu održimo redovnu, 68. godišnju skupštinu Društva za unapređivanje zavarivanja u Srbiji (DUZS). Mogućnost druženja pružila nam se i na Savetovanju sa međunarodnim učešćem - Zavarivanje 2020, u okviru kog je održana i prateća izložba opreme i materijala za zavarivanje i IBR. Savetovanje je uspešno održano u oktobru 2021. godine u Kladovu. Takođe su tokom odlazeće godine u svim ATB centrima za obuku, održani planirani kursevi za međunarodne/evropske inženjere, tehnologe i inspektore zavarivanja.

Nadajmo se da će nam sledeća 2022. godina doneti obuzdavanje pandemije i vraćanje mirnijem i normalnijem životu bez ograničenja i pružiti nam više prilika za druženje.

Želimo vam srećnu, zdravu i uspešnu nastupajuću Novu 2022. godinu.

*Glavni i odgovorni urednik
Dr Zoran Odanović, dipl.ing.*





Aktivnosti DUZS-CertPers-a tokom 2020/21. godine

DUZS-CertPers, Ovlašćeno Nominovano Telo (ANB) za sprovođenje međunarodnog sistema za obrazovanje, kvalifikaciju i sertifikaciju osoblja u zavarivanju funkcioniše u okviru DUZS od 2004. godine.

Uloga DUZS-CertPers, kao ovlašćenog tela od strane Međunarodnog instituta za zavarivanje (IIW) uključuje sprovođenje svih postupaka u pogledu kvalifikacije / sertifikacije osoblja za zavarivanje koji su definisani obimom kao i sprovođenje ocenjivanja centara za obuku (ATB - Approved Training Body – Odobren centar za obuku). To znači da je DUZS-CertPers zadužen i ovlašćen ispred IAB grupe Međunarodnog instituta za zavarivanje (IIW) da izdaje odobrenja institucijama koje ispune uslove za formiranje centara za obuku osoblja u zavarivanju, kontrolu istih po pitanju da li se kursevi organizuju i sprovode po pravilima IIW i EWF, pripremu i sprovođenje ispita za sve kvalifikacione nivoe i izdavanje međunarodnih i evropskih diploma i pečata za polaznike koji su uspešno pohađali i položili predviđene ispite. Diploma IIW / EWF je trajnog karaktera.

Takođe, DUZS-CertPers je ovlašćen za sertifikaciju zavarivačkog osoblja i u mogućnosti je da izdaje sertifikate pod okriljem Međunarodnog instituta za zavarivanje. Za razliku od diplome, sertifikat nije trajnog karaktera i obnavlja se na 3 godine. Sertifikacijom se dokazuje da zavarivačko osoblje, edukovano prema IAB/EWF programu, kontinuirano nadograđuje svoja znanja i aktivno se bavi strukom.

ANB - DUZS-CertPers trenutno prati rad pet ATB centra:

- ATB Zavod za zavarivanje d.o.o, Beograd (Sertifikat No.1)
- ATB Institut GOŠA d.o.o, Beograd (Sertifikat No.2)
- ATB Mašinski fakultet Niš – Centar za zavarivanje i zavarene konstrukcije (Sertifikat No.3)
- ATB Institut za zavarivanje – Tuzla, BIH (Sertifikat No.4)
- ATB Mašinski fakultet Beograd – Centar za obuku osoblja u zavarivanju (Sertifikat No.5)

Tokom prethodne sezone (2020/21) u svim ATB centrima za obuku održani su kursevi za međunarodne/evropske inženjere, tehnologe i inspektore zavarivanja i DUZS-CertPers je tokom 2021. godine izdao ukupno 117 međunarodnih i evropskih diploma, od čega 53 IWE, 33 EWE, 9 IWT, 5 EWT i 17 IWI-C. Izdato je 2 CIWE i 1 CEWE sertifikat.

Tokom juna i jula 2021. godine, u ATB Zavodu za zavarivanje, uspešno je održan 18. po redu IWI-C kurs za međunarodne inspektore zavarivanja, sa 11 kandidata, a u novembru mesecu u ATB Institutu GOŠA u Beogradu uspešno je završen 4. kurs za IWI-C sa 5 kandidata.

Od oktobra i novembra 2021. godine u svim ATB centrima za obuku započeli su kursevi za međunarodne/evropske inženjere, tehnologe i specijaliste zavarivanja.

ATB Mašinski fakultet Beograd kurs je započeo 21.10. 2021. godine sa 29 polaznika (26 IWE i 3 IWT polaznika). Istog dana kurs je započeo i ATB Mašinski fakultet Niš sa 24 polaznika (11 IWS, 10 IWE i 3 IWT). ATB Institut za zavarivanje Tuzla kurs je počeo je 27. oktobra sa 9 polaznika (6 IWE, 2 IWT, 1 IWS), ATB Zavod za zavarivanje 28. oktobra sa 30 polaznika (22 IWE i 8 IWT, a ATB Institut GOŠA 12. novembra sa 15 polaznika (14 IWE i 1 IWT).



Dragan Milčić^{1a}, Dragan Mitić², Nenad Radović³, Miodrag Milčić¹, Aleksija Đurić⁵

KARAKTERIZACIJA ZAVARENIH SPOJEVA SA DELIMIČNOM PENETRACIJOM NA KONSTRUKCIONOM ČELIKU S355N

CHARACTERIZATION OF WELDED JOINTS WITH PARTIAL PENETRATION ON S355N STRUCTURAL STEEL

Originalni naučni rad / Original scientific paper

Rad je u izvornom obliku objavljen u Zborniku sa 31. Savetovanja sa međunarodnim učešćem "Zavarivanje 2020" održanog u Kladovu 13-16. Oktobra 2021

Rad primljen / Paper received:

Septembar 2021.

Adresa autora / Author's address:

¹Mašinski fakultet, Univerzitet u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija

²NIVAR d.o.o., Čarnojevića 11/1, 18000 Niš, Srbija

³Tehnološko metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, Karnegijeva 4, 11120 Beograd, Srbija

⁴Mašinski fakultet, Univerzitet u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija

⁵Mašinski fakultet, Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Vuka Karadžića 30, 71123 Istočno Sarajevo, Bosna i Hercegovina, Republika Srpska

^adragan.milcic@masfak.ni.ac.rs

Ključne reči: Zavareni spojevi sa delimičnom penetracijom, MAG postupak zavarivanja, destruktivna i nedestruktivna ispitivanja zavarenih spojeva

Keywords: Partial penetration welds, MAG welding process, destructive and non destructive testing of welds

Rezime

Postojeći standardi zahtevaju zavarene spojeve sa potpunom penetracijom. Smatra se, da se zavarenim spojevima sa potpunom penetracijom, minimizira koncentracija napona u korenskom prolazu. Međutim, brojne su situacije u industriji, u kojima je zadovoljavajuća nosivost zavarenog spoja sa delimičnom penetracijom.

Ako ispitivanja zavarenih spojeva sa delimičnom penetracijom pokažu zadovoljavajuću nosivost, benefiti u odnosu na zavarene spojeve sa potpunom penetracijom se ogledaju u nižim troškovima, odnosno manje je potrebno vreme za pripremu spoja, manje je potrebno dodatnog materijala, odnosno kraće je vreme neophodno za izradu zavarenog spoja.

U radu je dato ispitivanje sučeonih zavarivanih spojeva konstrukcionog čelika S355N, sa delimičnom penetracijom, ostvarenih MAG postupkom u nadglavnom položaju (PD) u zaštiti mešavine gasova. Uzorci su zavarivani sa različitim parametrima zavarivanja i sa različitom pripremom spoja – dubina spoja, a ispitivanja su vršena nedestruktivnim metodama (vizuelna kontrola, ispitivanje penetrantima i magnetnim česticama) i destruktivnim metodama –zatezanje, savijanje i tvrdoća.

Abstract

Existing standards require welded joints with full penetration. It is considered that welded joints with complete penetration minimize the stress concentration in the root passage. However, there are numerous situations in the industry, in which the load-bearing capacity of the welded joint with partial penetration is satisfactory.

If the tests of partially penetrated welds show satisfactory load capacity, the benefits compared to fully penetrated welds are reflected in lower costs, ie less time is required to prepare the joint, less additional material is needed, ie shorter time is required to make the welded joint.

The paper presents the testing of butt welded joints of structural steel S355N, with partial penetration, achieved by the MAG welding in the overhead position (PD) in the protection of the gas mixture. The samples were welded with different welding parameters and with different joint preparation, and the tests were performed by non destructive methods (visual inspection, testing with penetrants and magnetic particles) and destructive methods - tension and bending tests, *Vickers hardness testing*.



1. Uvod

Zavarivanje je proces izrade nerazdvojivog spoja uspostavljanjem međuatomskih veza između delova koji se zavaruju, pri kome se pojedinačno ili kombinovano koristi toplotna i mehanička energija, a po potrebi i dodatni materijal.

Postupci zavarivanja, koji se najčešće koriste u praksi, zasnovani su na lokalnom zagrevanju materijala iznad temperature topljenja, kada zavareni spoj nastaje očvršćavanjem (npr. elektrolučno zavarivanje), ili na lokalnom zagrevanju materijala do temperature topljenja, kada zavareni spoj nastaje uz dodatno delovanje pritiska (npr. elektrootporno zavarivanje).

Zavarivanjem je moguće spajanje metala sa metalom, nemetala sa nemetalom i metala sa nemetalom, ali se u praktičnom smislu podrazumeva spajanje metala sa metalom. Zavarivanje je proces spajanja koji ima svojstva visoke efikasnosti spoja, jednostavnog pozicioniranja, visoke fleksibilnosti i niskih troškova izrade [1].

Zavareni spojevi nalaze primenu i kod kritičnih komponenata gde otkazi zavarenih spojeva mogu biti katastrofalni. Zbog toga se zahteva kod takvih zavarenih konstrukcija visok nivo primene metoda ispitivanja bez razaranja i pridržavanje brojnih standarda u oblasti zavarenih konstrukcija.

Zavarivanje uključuje širok raspon parametara zavarivanja kao što su struja, napon, brzina zavarivanja, temperature predgrevanja, dodatni materijal, koji utiču na strukturalna i mehanička svojstva metala zavara [2-9]. Postoji potreba za odabirom optimalnih parametara zavarivanja kako bi se obezbedio najbolji kvalitet zavarenih spojeva zavarenih konstrukcija.

Zavarene konstrukcije predstavljaju u mnogim slučajevima odgovorne tehničke sisteme čiji integritet i radni vek se mora posmatrati sa više aspekata.

Aspekti proučavanja integriteta i radnog veka zavarene konstrukcije vezani su za bezbedan rad i zaštitu životne sredine, odnosno vezani su za postavljanju zahteva za obezbeđivanje kvaliteta, sigurnosti i pouzdanosti zavarene konstrukcije.

Eksploatacioni uslovi utiču na integritet i radni vek konstrukcije, a određivanje eksploatacionog veka zavarene konstrukcije se nameće kao nužnost. Eksploatacioni uslovi podrazumevaju skup parametara, koji deluju na zavarenu konstrukciju, tako što direktno ili indirektno utiču na tri osnovne performanse iste, to jest na pouzdanost, sigurnost i radni vek.

Pouzdanost zavarene konstrukcije predstavlja verovatnoću da neće doći do pojave otkaza, odnosno zamora ili loma zavarene konstrukcije u predviđenom radnom veku i uslovima okoline.

Sigurnost zavarene konstrukcije podrazumeva da uslovi eksploatacije u svakom radnom trenutku svojim uticajem ne izazovu promenu radnog napona, to jest, da isti ne sme preći kritičnu vrednost.

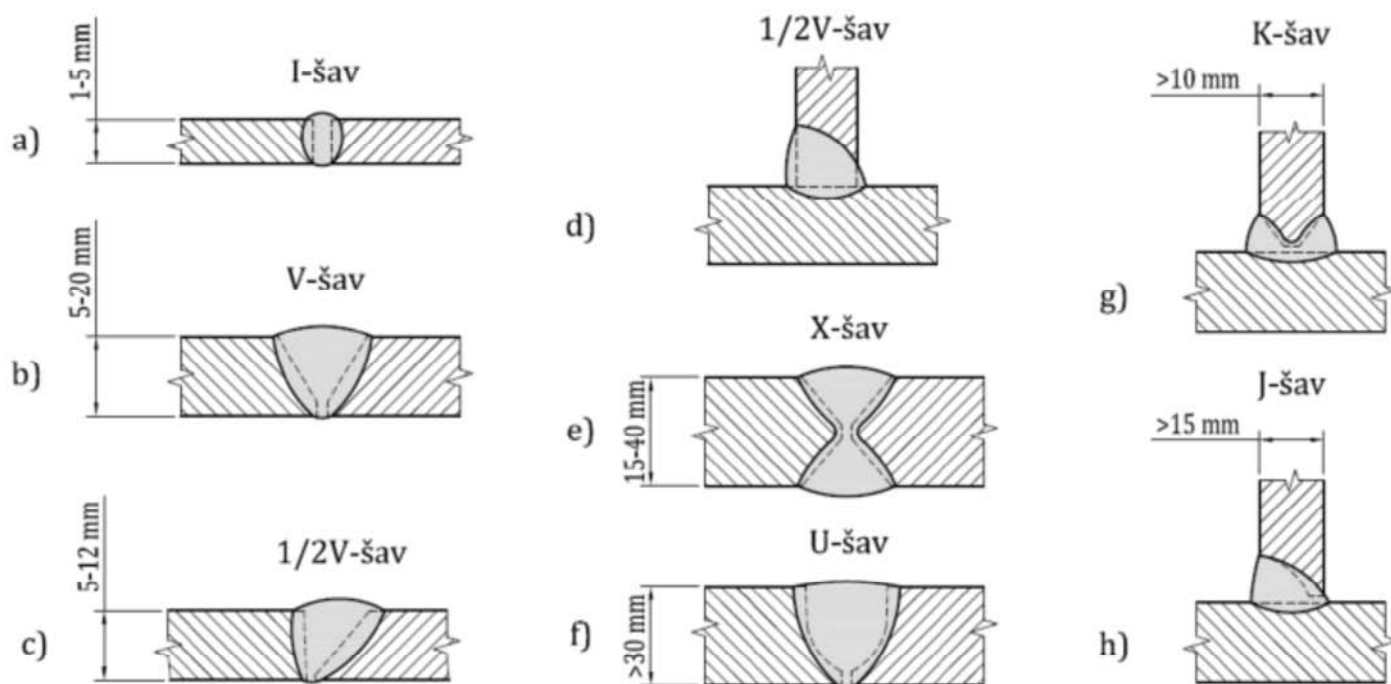
Eksploatacioni uticaji su najčešće: radna temperatura, radni pritisak, agresivnost radne sredine, akumulaciona energija radne materije, direktno stanje radne materije, fizičko hemijske karakteristike radne materije, itd.

Danas se sa velikom izvesnošću može tvrditi da je sigurnost zavarenih konstrukcija tokom eksploatacije na visokom nivou. To je postignuto ugrađivanjem višegodišnjih iskustava u propise i standarde i razvojem materijala, tehnologija izrade i metoda kontrole tokom izrade i eksploatacije konstrukcija.

Postojeći standardi zahtevaju zavarene spojeve sa potpunom penetracijom. Smatra se, da se zavarenim spojevima sa potpunom penetracijom, minimizira koncentracija napona u korenskom prolazu.

Zavareni spojevi sa potpunom penetracijom (Complete Joint Penetration - CJP) je zavar za žlebom koji se u potpunosti proteže kroz debljinu delova koji se zavaruju.

Primarna svrha upotrebe zavarenih spojeva sa potpunom penetracijom je dobijanje zavarenih spojeva sa punom nosivosti konstrukcijskih komponenti koje spajaju. Na slici 1 su dati zavareni spojevi sa potpunom penetracijom.



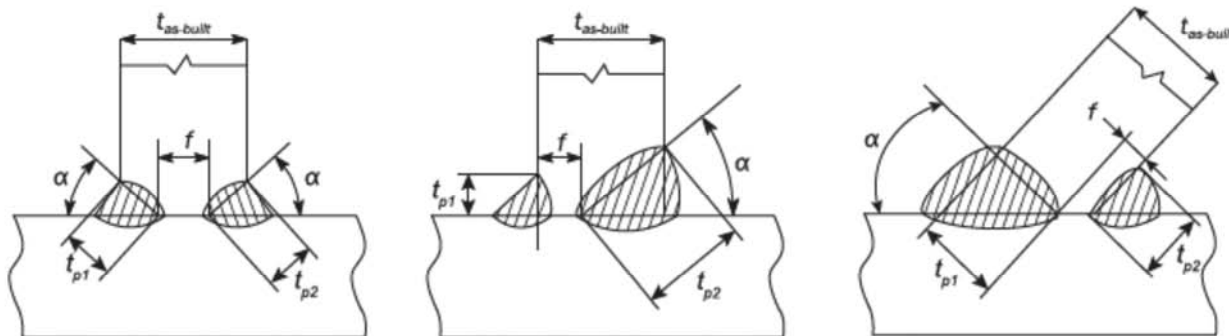
Slika 1. Zavareni spojevi sa potpunom penetracijom

Figure 1. Welded joints with complete penetration

Međutim, brojne su situacije u industriji, u kojima je zadovoljavajuća nosivost zavarenog spoja sa delimičnom penetracijom. Ako ispitivanja zavarenih spojeva sa delimičnom penetracijom pokažu zadovoljavajuću nosivost, benefiti u odnosu na zavarene spojeve sa potpunom penetracijom se ogledaju u nižim troškovima, odnosno manje je potrebno vreme za pripremu spoja, manje je potrebno dodatnog materijala, odnosno kraće je vreme neophodno za izradu zavarenog spoja.

Zavareni spojevi sa delimičnom penetracijom (Partial Joint Penetration - PJP) (slika 2) ograničeni su na zavarene spojeve projektovane za prenos naprezanja na pritisak kako kod sučeonih spojeva,

tako i kod ugaonih i T-spojeva. Zavareni spojevi sa delimičnom penetracijom (PJP) takođe se mogu koristiti kod nekonstrukcijskih dodataka, kao što su pomoćni proizvodi. Mogu se koristiti za prenos pritiskog naprezanja, ali se nikada ne smeju koristiti za nošenje zateznih naprezanja u elementima mostne konstrukcije zbog kratkog radnog veka. Kada treba da se koriste zavareni spojevi sa delimičnom penetracijom, efektivna veličina zavara treba biti navedena na konstrukcionoj dokumentaciji, a izvođač obezbeđuje pripremu žleba neophodnu za proizvodnju potrebne veličine zavara.



Slika 2. Zavareni spojevi sa delimičnom penetracijom

Figure 2. Welded joints with partial penetration



Preporuke za zavarivanje konstrukcija sa delimičnim penetracijom [10], lice koren f (slika 2), generalno se uzima između 3 mm i $t_{as_built} / 3$. Ugao žleba je obično 40-60°. U slučaju da se koriste zavareni spojevi sa delimičnom penetracijom (slika 2) u uslovima zateznih naprezanja, preporuka [11] je:

$$t_{p1} + t_{p2} = 2(f_{yd} \cdot f_c \cdot f_{ten} \cdot t_{as_built} + t_{gap}) \quad (1)$$

gde je:

f_{ten} – faktor zavarivanja za slučaj opterećenja zavarenih spojeva sa delimičnom penetracijom opterećen zateznim naprezanjima

$$f_{ten} = 0,85 \left[0,25 + (\eta - 0,2) \frac{f}{t_{as_built}} \right]$$

$\eta = \frac{\sigma}{\sigma_{perm}}$ – faktor iskorišćenja

σ – maksimalni zatezni napon u MPa,

σ_{perm} – dozvoljeni napon prema projektovanim uslovima opterećenja u MPa

f_c – koeficijent koji zavisi od primene zavarene konstrukcije

f_{yd} – koeficijent koji zavisi od čvrstoće dodatnog materijala

f – lice korena u mm

U uslovima zateznih naprezanja da bi bili sigurni u nosivost zavarenih spojeva sa delimičnom penetracijom, neophodno je raditi kvalifikaciju postupka zavarivanja, što znači treba zavarene spojeve ispitati destruktivnim i nedestruktivnim metodama ispitivanja.

U radu je dato istraživanje nosivosti zavarenih spojeva sa delimičnom penetracijom (PJP) ostvarenih MAG postupkom u nadglavnom položaju u zaštiti mešavine gasova. Na osnovu ispitivanja zavarenih uzoraka sa delimičnim provarom ostvarenih različitim parametrima zavarivanja, urađena je analiza makrostrukture zavarenih spojeva, izvršena mehanička ispitivanja svojstava dobijenih zavarenih spojeva i shodno tome date su preporuke za dobijanje kvalitetnih zavarenih spojeva.

2. Eksperimentalni rad

Osnovni metal je konstrukcioni čelik S355N sa hemijskim sastavom datim u tabeli 1.

Tabela 1. Hemijski sastav u (%), čelika S355N (1.0545): EN 10025-3-2004
Table 1. Chemical composition in (%), steel S355N (1.0545): EN 10025-3-2004

C	Si	Mn	Ni	P	S	Cr	Mo	V	N	Nb	Ti	Al	Cu	CEV
max 0.2	max 0.5	0.9 - 1.65	max 0.5	max 0.03	max 0.025	max 0.3	max 0.1	max 0.12	max 0.015	max 0.05	max 0.05	max 0.02	max 0.55	max 0.45

i sa mehaničkim svojstvima datim u tabeli 2.

Tabela 2. Mehanička svojstva čelika S355N (1.0545)
Table 2. Mechanical properties of the steel S355N (1.0545)

Nominalna debljina (mm):	do 100		100 - 200				200 - 250		
Zatezna čvrstoća R_m (MPa)	470-630		450-600				450-600		
Nominal debljina (mm):	do 16	16 – 40	40 - 63	63 - 80	80 - 100	100 - 150	150 - 200	200 - 250	
Minimalna granica tečenja R_{eH} (MPa)	355	345	335	325	315	295	285	275	



Eksperimentalno su zavarena 4 uzorka debljine 25 mm i 15 mm, pri čemu je na 2 uzorka ploče debljine od 25mm, napravljen žljeb 5mm/45°(slika

3a), a na druga dva uzorka žljeb 10mm/45° (slika 3b).



Slika 3. Priprema žleba za zavarivanje uzoraka, a) žljeb 5mm/45°, b) žljeb 10mm/45°

Figure 3. Bevel preparation for samples welding a) bevel 5mm/45°, b) bevel 10mm/45°

Zavareni uzorci sa delimičnom penetracijom su sušeono zavareni MAG postupkom u mešavini gasova u nadglavnom položaju PD. Dva zavarena uzorka (SPQR5 i SPQR6) su zavarena sa nižim vrednostima struje zavarivanja - meki režim, a dva uzorka (SPQR7 i SPQR8) sa višim vrednostima

struje zavarivanja - tvrdi režim. Dodatni material je bio EN ISO14341-A G 46 4 M21 4Si1 OK AristoRod 12.63. Uporedne mehaničke karakteristike dodatnog i osnovnog metala su date u tabeli 3.

Tabela 3. Uporedne mehaničke karakteristike dodatnog i osnovnog materijala

Table 3. Mechanical properties of the filler and parent materials

	Elongacija / %	Zatezna čvrstoća / MPa	Granica tečenja/ MPa
Dodatni materijal EN ISO14341-A G 46 4 M21 4Si1 OK AristoRod 12.63	29%	590	490
Osnovni materijal S355N	22%	470-630	345

Izabran dodatni materijal ima viša mehanička svojstva, nego što ima osnovni materijal.

3. Rezultati i diskusija


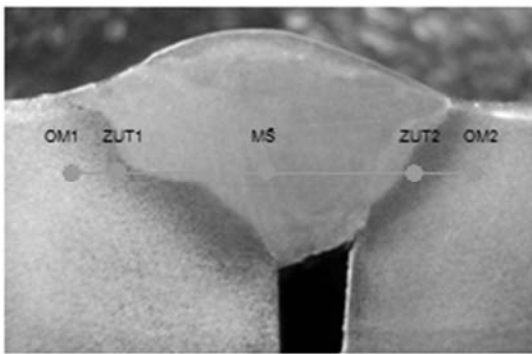
Svi zavareni uzorci su mehanički ispitani na zatezanje, na savijanje (savijanje sa strane lica i korena) i ispitivana je tvrdoće u zoni osnovnog metala 1, ZUT1, metala šava – MŠ, ZUT2 i osnovnog metala 2.

Uzorak SPQR5 sa pripremljenim žlebom prema slici 3a je zavaren u jednom prolazu sa parametrima zavarivanja datim u tabeli 4.



Tabela 4. Parametri zavarivanja, zavareni spoj, makrostruktura zavarenog spoja, rezultati ispitivanja na zatezanje, savijanje i prosečna tvrdoća uzorka SPQR5

Table 4. Welding parameters, weld joint, weld joint macrostructure, results of the tensile testing, bend testing and hardness mean value of the sample SPQR5

Parametri zavarivanja			
No.	I u A	U u V	Brzina dodavanja žice u m/min
1	115-120	17,5	3,1
			
<p>Slika 4. Izgled zavarenog spoja SPQR5 Figure 4. Appearance of welded joint SPQR5</p>		<p>Slika 5. Makro struktura zavarenog spoja SPQR5 Figure 5. Macrostructure of the SPQR5 welded joint</p>	
<p>Ispitivanje na zatezanje do loma u N</p>		<p>Prosečna tvrdoća zavarenog spoja u HV</p>	
1. uzorak	2. uzorak	Osnovni metal OM1	143
73000	70500	Zona uticaja toplote ZUT1	269
Lom u metalu šava		Metal šava MŠ	299
<p>Ispitivanje na savijanje</p>		Zona uticaja toplote ZUT2	234
Savijanje sa strane lica	Ugao savijanja	Osnovni metal OM2	175
	180° - bez preloma		
Savijanje sa strane korena	Ugao savijanja		
	32° - prelom		

Vizuelnim pregledom zavarenog spoja nisu uočene nedozvoljene greške prema SRPS EN ISO 5817 za nivo kvaliteta "B". Ispitivanjem magnetnim česticama sušeonog zavarenog spoja sa delimičnim provarom utvrđeno je da zadovoljava nivo kvaliteta prema SRPS EN ISO 5817 "B".

Makroskopskim ispitivanjem sušeonog zavarenog spoja sa delimičnim provarom uzorka SPQR5, konstatovano je da je debljina zavarenog spoja 7mm, a zazor između delova, koji su spojeni h=2mm i da nema geometrijskih nepravilnosti.

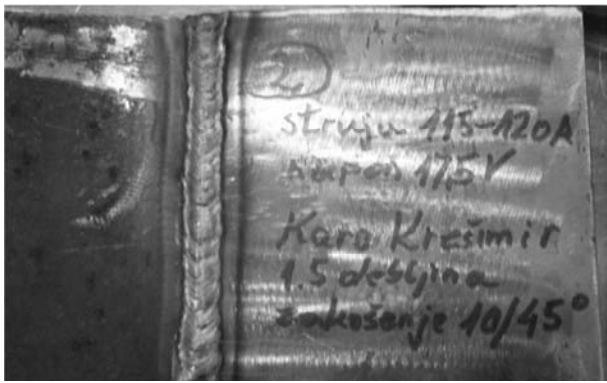
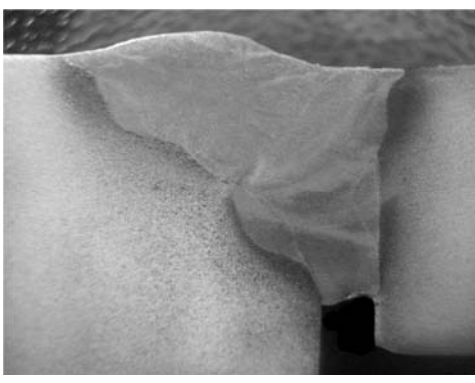
Klasifikacija geometrijskih nepravilnosti rađena je prema SRPS EN ISO 6520-1 2008.

Zavareni uzorak sa oznakom SPQR6 je sušeona proba urađena zavarivanjem MAG postupkom u mešavini gasova u nadglavnom položaju PD, pri čemu je prva ploča debljine 25mm sa žlebom 10mm/45°, a druga ploča debljine 15mm. Uzorak SPQR6 je zavaren u položaju PD u tri prolaza sa istim parametrima zavarivanja u sva tri prolaza. Parametri zavarivanja dati su u tabeli 5.



Tabela 5. Parametri zavarivanja, zavareni spoj, makrostruktura zavrenog spoja, rezultati ispitivanja na zatezanje, savijanje i prosečna tvrdoća uzorka SPQR6

Table 5. Welding parameters, weld joint, weld joint macrostructure, results of the tensile testing, bend testing and hardness mean value of the sample SPQR6

Parametri zavarivanja			
No.	I u A	U u V	Brzina dodavanja žice u m/min
1	115-120	17,5	3,1
			
<p>Slika 6. Izgled zavrenog spoja SPQR6 Figure 6. Appearance of welded joint SPQR6</p>		<p>Slika 7. Makro struktura zavrenog spoja SPQR6 Figure 7. Macrostructure of the SPQR6 welded joint</p>	
Ispitivanje na zatezanje do loma u N		Prosečna tvrdoća zavrenog spoja u HV	
1. uzorak - 7x25	2. uzorak - 15x25	Osnovni metal OM1	161
81500	100000	Zona uticaja toplote ZUT1	234
Lom u metalu šava		Metal šava MŠ	292
Ispitivanje na savijanje		Zona uticaja toplote ZUT2	235
Savijanje sa strane lica	Ugao savijanja	Osnovni metal OM2	201
	180° - prslina sa bočne strane		
Savijanje sa strane korena	Ugao savijanja		
	10° - prelom		

Vizuelnim pregledom zavrenog spoja na uzorku SPQR6, nisu uočene nedozvoljene greške prema SRPS EN ISO 5817 za nivo kvaliteta "B". Ispitivanjem magnetnim česticama sučeonog zavrenog spoja sa delimičnim provarom SPQR6, utvrđeno je da zadovoljava nivo kvaliteta prema SRPS EN ISO 5817 "B".

Makroskopskim ispitivanjem sučeonog zavrenog spoja sa delimičnim provarom uzorka SPQR6, konstatovano je da je debljina zavrenog

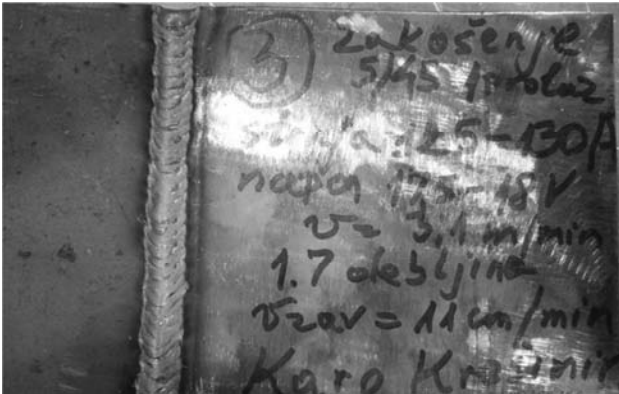
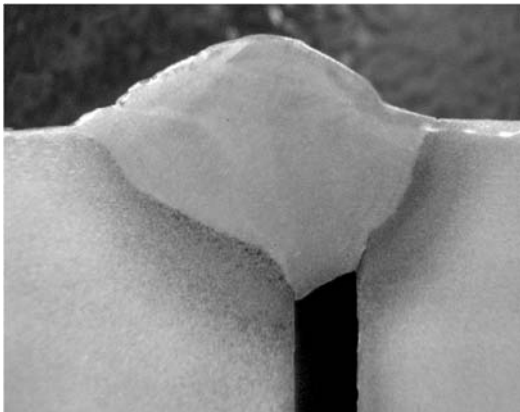
spoja 10mm, a zazor između delova, koji su spojeni $h=2\text{mm}$. Uočeno je takođe, da ima geometrijskih nepravilnosti prema SRPS EN ISO 6520-1 2008- nedostatak uvarivanja 402 i asimetrično nadvišenje šava 502.

Za uzorak SPQR7 priprema žleba za zavarivanje je bila ista kao kod uzorka SPQR5 (slika 3a), ali je zavarivanje izvršeno sa jačinom struje većeg intenziteta. Uzorak SPQR7 je zavaren u položaju PD u jednom prolazu. Parametri zavarivanja su dati u tabeli 6.



Tabela 6. Parametri zavarivanja, zavareni spoj, makrostruktura zaavrenog spoja, rezultati ispitivanja na zatezanje, savijanje i prosečna tvrdoća uzorka SPQR7

Table 6. Welding parameters, weld joint, weld joint macrostructure, results of the tensile testing, bend testing and hardness mean value of the sample SPQR7

Parametri zavarivanja				
No.	I u A	U u V	Brzina dodavanja žice u m/min	Brzina zavarivanja u cm/min
1	125-130	17,5-18	3,1	11
				
<p>Slika 8. Izgled zavarenog spoja SPQR7 Figure 8. Appearance of welded joint SPQR7</p>			<p>Slika 9. Makro struktura zavarenog spoja SPQR7 Figure 9. Macrostructure of the SPQR7 welded joint</p>	
<p>Ispitivanje na zatezanje do loma u N</p>			<p>Prosečna tvrdoća zavarenog spoja u HV</p>	
1. uzorak - 5x25	2. uzorak - 5x25	Osnovni metal OM1	179	
78000	81500	Zona uticaja toplote ZUT1	231	
Lom u metalu šava		Metal šava MŠ	298	
<p>Ispitivanje na savijanje</p>			Zona uticaja toplote ZUT2	265
Savijanje sa strane lica	Ugao savijanja	Osnovni metal OM2	200	
	180° - bez preloma			
Savijanje sa strane korena	Ugao savijanja			
	16° - prelom			

Vizuelnim pregledom zavarenog spoja na uzorku SPQR7, nisu uočene nedozvoljene greške prema SRPS EN ISO 5817 za nivo kvaliteta "B". Ispitivanjem magnetnim česticama sučeonog zavarenog spoja sa delimičnim provarom SPQR7, utvrđeno je da zadovoljava nivo kvaliteta prema SRPS EN ISO 5817 "B".

Makroskopskim ispitivanjem sučeonog zavarenog spoja uzorka SPQR7 (slika 7), konstatovano je da je debljina zavarenog spoja

7,5mm, a zazor između delova, koji su spojeni $h=2,3\text{mm}$ i da nema geometrijskih nepravilnosti.

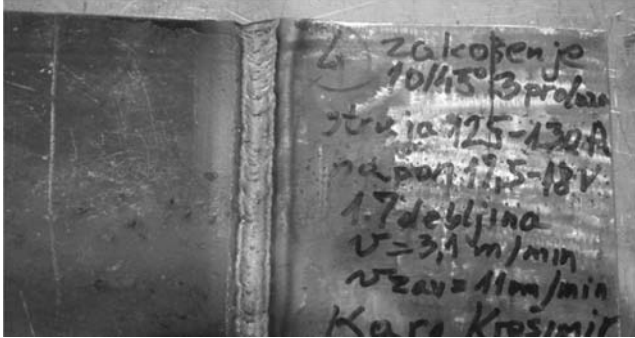
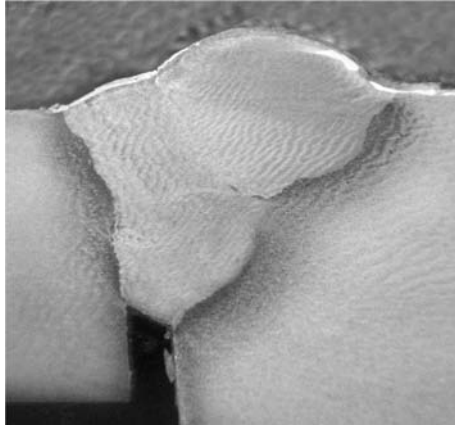
Zavareni uzorak sa oznakom SPQR8 je sučeona proba urađena zavarivanjem MAG postupkom u mešavini gasova u nadglavnom položaju PD, pri čemu je prva ploča debljine 25mm sa žlebom sa skošenjem $10\text{mm}/45^\circ$, a druga ploča debljine 15mm- slika 3b.

Parametri zavarivanja su dati u tabeli 7.



Tabela 7. Parametri zavarivanja, zavareni spoj, makrostruktura zavarenog spoja, rezultati ispitivanja na zatezanje, savijanje i prosečna tvrdoća uzorka SPQR8

Table 7. Welding parameters, weld joint, weld joint macrostructure, results of the tensile testing, bend testing and hardness mean value of the sample SPQR8

Parametri zavarivanja				
No.	I u A	U u V	Brzina dodavanja žice u m/min	Brzina zavarivanja u cm/min
1	125-130	17,5-18	3,1	11
2	115-120	17,5	3,1	11
3	115-120	17,5	3,1	11
				
<p>Slika 10. Izgled zavarenog spoja SPQR8 Figure 10. Appearance of welded joint SPQR8</p>		<p>Slika 11. Makro struktura zavarenog spoja SPQR8 Figure 11. Macrostructure of the SPQR8 welded joint</p>		
Ispitivanje na zatezanje do loma u N		Prosečna tvrdoća zavarenog spoja u HV		
1. uzorak – 7,5x25	2. uzorak - 10x25	Osnovni metal OM1	169	
91000	100500	Zona uticaja toplote ZUT1	247	
Lom u osnovnom metalu	Lom u metalu šava	Metal šava MŠ	310	
Ispitivanje na savijanje		Zona uticaja toplote ZUT2	263	
Savijanje sa strane lica	Ugao savijanja	Osnovni metal OM2	191	
	180° - prslina sa bočne strane			
Savijanje sa strane korena	Ugao savijanja			
	18° - prelom			



Vizuelnim pregledom zavarenog spoja i ispitivanjem magnetnim česticama na uzorku SPQR8 nisu uočene nedozvoljene greške prema SRPS EN ISO 5817 za nivo kvaliteta "B". Makroskopskim ispitivanjem sučeonog zavarenog spoja sa delimičnim provarom uzorka SPQR8 konstatovano je da je debljina zavarenog spoja 13mm, a zazor između delova, koji su spojeni $h=2,2\text{mm}$. Uočeno su prema SRPS EN ISO 6520-1 2008 geometrijske nepravilnosti zavarenog spoja i to: nedostatak uvarivanja 402, asimetrično nadvišenje šava 502, nedostatak stapanja između slojeva 4012.

Analizom ispitivanja tvrdoće zavarenih spojeva svih uzoraka, može da se zaključi da nema velikih odstupanja u tvrdoći metala šava MŠ, kao ni u tvrdoći zone uticaja toplote ZUT, ali se uočava velika razlika u tvrdoći između MŠ i OM-a, što opet ukazuje da se koristi žica sa višim mehaničkim karakteristikama, nego što ima osnovni materijal čelik S355N.

Analizom uzoraka SPQR5 i SPQR7 sa uzorcima SPQR6 i SPQR8, to jest uzorke, kod kojih je izrađen žleb $5\text{mm}/45^\circ$, sa uzorcima kod kojih je pripremljen žleb $10\text{mm}/45^\circ$, vidi se kod metalografskog ispitivanja da uzorci SPQR6 i SPQR8 imaju geometrijske nepravilnosti-nedostatak provara 402, asimetrično nadvišenje 500, nedostatak stapanja između slojeva 4012, a da kod uzoraka SPQR5 i SPQR7 toga nema. Ako se uzme u obzir da se uzorci SPQR5 i SPQR7 zavaruju u jednom prolazu, a da se uzorci SPQR6 i SPQR8 zavaruju u tri prolaza, jasno je da zbog produktivnosti, zavarivanje u jednom prolazu ima prednost.

Ako se uporede sile kidanja kod uzoraka SPQR5 ($F=70500-73000\text{N}$) i SPQR7 ($F=78000-81000\text{N}$) sa uzorcima SPQR6 ($F=81500$ do 100000N) i SPQR8 ($F=91000-100500\text{N}$), vidi se da uzorci, koji su imali žleb $10\text{mm}/45^\circ$ imaju veće sile kidanja i do 20%, ali se kod njih javlja nedostatak stapanja prilikom zavarivanja.

Sa tehnološke strane procesa, daje se prednost uzorcima kod kojih je izrađen žleb $5\text{mm}/45^\circ$, jer su tri puta produktivniji pri zavarivanju, nemaju grešaka u zavarenom spoju, a imaju relativno veliku moć nošenja.

Ako se uporede rezultati ispitivanja na savijanje uzoraka SPQR5 i SPQR7 sa uzorcima SPQR6 i SPQR8, vidi se da uzorci SPQR5 i SPQR7 se savijaju sa lica do 180° i da pri tom nema nepravilnosti, dok uzorci SPQR6 i SPQR8 se

savijaju do 180° , ali pri tome imaju prslinu sa bočne strane od 7-8 mm.

Upoređivanjem uzoraka na savijanje sa strane korena nema velikih razlika u vrednosti ugla savijanja i svi uzorci imaju prelom.

Što se tiče ispitivanja savijanjem bolje su se pokazali uzorci SPQR5 i SPQR7, to jest, oni uzorci koji su imali pripremljen žleb $5\text{mm}/45^\circ$.

Poređenjem uzorka SPQR5 - mekši parametri zavarivanja, sa uzorkom SPQR7 - tvrdi parametri zavarivanja, uočava se da i jedan i drugi zadovoljavaju vizuelno ispitivanje, ispitivanje magnetskim česticama, ispitivanje tvrdoće, makrografska ispitivanja, ali da uzorak SPQR7 ima veće vrednosti sile kidanja za 10% od uzorka SPQR5, dok je ugao savijanja sa korena znatno manji od uzorka SPQR5.

4. Zaključak

Postojeći standardi zahtevaju zavarene spojeve sa potpunom penetracijom. Međutim, brojne su situacije u industriji, u kojima je zadovoljavajuća nosivost zavarenog spoja sa delimičnom penetracijom. Ako ispitivanja zavarenih spojeva sa delimičnom penetracijom pokažu zadovoljavajuću nosivost, benefiti u odnosu na zavarene spojeve sa potpunom penetracijom se ogledaju u nižim troškovima, odnosno manje je potrebno vreme za pripremu spoja, manje je potrebno dodatnog materijala, odnosno kraće je vreme neophodno za izradu zavarenog spoja.

U radu su prikazani rezultati ispitivanja zavarenih uzoraka sa delimičnom penetracijom, koji su uradjeni MAG postupkom u zaštiti mešavine gasova u nadglavnom položaju zadovoljavaju vizuelnu kontrolu i ispitivanje magnetskim česticama za nivo kvaliteta B prema SRPS EN ISO 5817. Uzorci su rađeni sa pripremom žleba $5\text{mm}/45^\circ$ i $10\text{mm}/45^\circ$. Zavarivanje je vršeno u uslovima slabijih i jačih struja (mekši / tvrdi režim zavarivanja).

Kao konačan zaključak, na osnovu uporednih mehaničkih ispitivanja sučeonih zavarenih spojeva sa delimičnom penetracijom ostvareni MAG postupkom zavarivanja u nadglavnom položaju, zavareni uzorak sa najboljim mehaničkim svojstvima je SPQR7 (priprema žleba $5\text{mm}/45^\circ$) sa tvrdim režimom zavarivanja (većim jačinama struja).



Literatura / References

- [1] Armentani, E., Esposito, R., Sepe, R. (2007), Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Vol. 20, No. 1-2, 319-322.
- [2] Jariyaboon, M., Davenport, A.J., Ambat, R., Connolly, B.J., Williams, S.W., Price, D.A. (2007), Corrosion Science, Vol. 49, No. 2, 877-909, doi: 10.1016/j.corsci.2006.05.038.
- [3] Karadeniz, E., Ozsarac, U., Yildiz, C. (2007), Materials & Design, Vol. 28, No. 2, 649-656, doi: 10.1016/j.matdes.2005.07.014.
- [4] Lothongkum, G., Viyanit, E., Bhandhubanyong, P. (2001), Journal of Materials Processing Technology, Vol. 110, No. 2, 233-238, doi: 10.1016/S0924-0136(00)00875-X.
- [5] Lothongkum, G., Chaumbai, P., Bhandhubanyong, P. (1999), Journal of Materials Processing Technology, Vol. 89-90, 410-414, doi: 10.1016/S0924-0136(99)00046-1.
- [6] Mirzaei, M., Arabi Jeshvaghani, R., Yazdipour, A., Zangeneh-Madar, K. (2013), Materials & Design, Vol. 51, 709-713, doi: 10.1016/j.matdes.2013.04.077.
- [7] Sakthivel, T., Sengar, G.S., Mukhopadhyay, J. (2009), The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 43, No. 5-6, 468-473, doi: 10.1007/s00170-008-1727-7.
- [8] Razal Rose, A., Manisekar, K., Balasubramanian, V. (2012), Journal of Materials Engineering and Performance, Vol. 21, No. 2, 257-265, doi: 10.1007/s11665-011-9889-0.
- [9] Afolabi, A.S. (2008), AU Journal of Technology, Vol. 11, No. 3, 171-180.
- [10] AASHTO/AWS D1.5M/D1.5:2008 An American National Standard, Bridge Welding Code
- [11] Rules for classification of ships - July 2018 edition, Part 3 Hull Chapter 13 Welding, DNV GL AS.

**Internacionalni inženjeri zavarivanja (IWE) / Evropski inženjeri zavarivanja (EWE);
Internacionalni tehnolozi zavarivanja (IWT) / Evropski tehnolozi zavarivanja (EWT);
Internacionalni inspektori zavarivanja (IWI-C)**

kojima je diplome izdao DUZS-CertPers mogu javno da prikažu nivo kvalifikacije na relevantnim dokumentima korišćenjem IIW/EFW pečata izdatim od strane DUZS-CertPers



Na zahtev kandidata koji imaju IWE / IWT / IWI-C diplome izdate od strane DUZS-CertPers-a, DUZS-CertPers može izdati i IIW pečate (izdaju se na osnovu IIW diploma).

Takođe, na zahtev kandidata koji imaju IWE ili IWT diplome izdate od strane DUZS-CertPers-a, DUZS-CertPers može izdati i evropske ekvivalentne diplome EWE/EWT i EWF pečat (izdaje se na osnovu EWF diplome).

Ukoliko ste zainteresovani za izdavanje EWF diplome/pečata ili IIW pečata, ZAHTEV(E) je potrebno popuniti i dostaviti sekretarijatu DUZS-CertPers – a.

Zahteve za izdavanje pečata možete preuzeti na sajtu DUZS: www.duzs.org.rs tj. putem sledećih linkova:

http://duzs0011.mycpanel.rs/2016/wp-content/uploads/2017/05/Zahtev-za-izdavanje-IIW-pecata_IWE-IWT-IWI-C.pdf

http://duzs0011.mycpanel.rs/2016/wp-content/uploads/2017/05/Zahtev-za-dobijanje-EWF-diplome_pecata.pdf

Informacije:

+ 381 (11) 2420-652

duzs011@gmail.com





31. SAVETOVANJE SA MEĐUNARODNIM UČEŠĆEM “ZAVARIVANJE 2020”

31. Savetovanje “ZAVARIVANJE 2020” je održano od 13-16. oktobra 2021. godine u Kladovu. Zbog poznatih epidemioloških razloga na prostorima EX-Jugoslavije, tačnije u regionu, nije održan nijedan zavarivački skup već dve pune godine, a u Srbiji od 2018. godine. Želja da se zavarivačka zajednica iz regiona sastane, pokaže da je i koliko je aktivna, je bila toliko jaka, da je Društvo za unapređivanje zavarivanja u Srbiji, odlučilo da Savetovanje, koje je bilo planirano da se održi kako mu je bio red u oktobru 2020. godine i više puta odlagano, održi oktobra 2021. godine.

Ne pamtimo da je organizacija bilo kakve ili bilo koje aktivnosti u vezi sa unapređivanjem zavarivanja u Srbiji, bila praćena sa toliko teškoća i nezivesnosti kao ovo tradicionalno i redovno 31. Savetovanje ZAVARIVANJE 2020.

Da tačno ste videli “ZAVARIVANJE 2020”, a održano je 2021. godine. Razlog za to je itekako poznat, pandemija izazvana virusom COVID 19. Skoro dve godine od kada se sve na globalnom nivou odvija u senci tog nevidljivog neprijatelja, te pošasti. Šteta je nemerljiva, od ljudskih života koje nemaju cenu, preko ekonomsko-finansijskih do sociološko i socijalno – emotivnih. Mnoge drage osobe smo izgubili u toj borbi, nenadoknadive gubitke smo pretrpeli i to će nas pratiti do kraja naših života, ali i zbog toga, a i u ime njih smo rešili da i dalje gajimo ono što je bitno nama iz zavarivačke zajednice, a to je naš spoj, naša neraskidiva veza. Nemogućnost druženja teško je palo, jer je osnova da ZAVARIVANJE SPAJA. Zato smo, možda i tvrdoglavo, odlučili da se suprostavimo pandemiji i da organizujemo ovaj događaj. Ne toliko sa željom da pokažemo ko je i koliko napredovao u oblasti zavarivanja, ne toliko da razmenimo iskustva i vidimo ko je šta uradio, koliko da se sretnemo, da pokažemo da se i dalje držimo jedni drugih neraskidivo kao zavareni spoj.

Organizacioni i Programski odbor Savetovanja, poštujući odluku UO DUZS je organizavo ovaj skup poštujući sve mere predostrožnosti i primenjujući mere zaštite. Pod pokroviteljstvom i uz podršku Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, organizator 31. Savetovanja “ZAVARIVANJE 2020” je bilo Društvo za unapređivanje zavarivanja u Srbiji. Pozvali smo naše saradnike, prijatelje, članove zavarivačke zajednice iz svih bivših Yu republika i nismo insistirali na predstavnicima iz Evrope i sveta, jer osnovno je bilo da svi govorimo jezikom koji svi razumemo. Jedini uslov je bio pripadnost zavarivačkom esnafu.

Savetovanje je održano u prijatnom ambijentu hotela Aquastar Danube u Kladovu. Gostoprimstvo i raspoloživost zaposlenih u hotelu, samo su dopunili izvanrednu tehničku organizaciju Savetovanja, koje je bilo povereno, sada već našim partnerima iz BBN Congress Management agencije, koji su bili i suorganizatori Savetovanja.

Savetovanje je otvorio državni sekretar u Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja, prof. Dr Ivica Radović, obraćanjem prisutnima putem video veze.



Otvaranje savetovanja “Zavarivanje 2020”



Petar Tasić^{1a}, Ismar Hajro¹

UTICAJ UNOSA TOPLOTE NA GEOMETRIJU UGAONIH SPOJEVA PRI MAG ZAVARIVANJU LIMOVA OD NELEGIRANOG ČELIKA

INFLUENCE OF HEAT INPUT ON GEOMETRY OF GMAW FILLET WELDS OF UNALLOYED STEEL

Originalni naučni rad / Original scientific paper

Rad je u izvornom obliku objavljen u Zborniku sa 31. Savetovanja sa međunarodnim učešćem "Zavarivanje 2020" održanog u Kladovu 13-16. Oktobra 2021

Rad primljen / Paper received:

Septembar 2021.

Adresa autora / Author's address:

¹ Mašinski fakultet Sarajevo, Vilsonovo šetalište 9, 71000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina

^atasic@mef.unsa.ba

Ključne reči: Unos toplote, MAG, ugaoni spoj, nelegirani čelik

Keywords: Heat input, GMAW, fillet weld, unalloyed steel

Rezime

Ovaj rad opisuje uticaj unosa toplote na geometriju ugaonih spojeva pri MAG zavarivanju limova od nelegiranog čelika debljine 8 mm. Varirani su parametri koji utiču na unos toplote, odnosno jačina struje i brzina zavarivanja, a kao geometrijske karakteristike uzete su dimenzije zavarenog spoja, nadvišenje, penetracija, mešanje metala i asimetričnost spoja. One su dobijene kroz merenje na makrošlifovima. Uticaj unosa toplote na geometrijske karakteristike je predstavljen putem modela koji se bazira na regresionoj analizi.

Abstract

This paper describes influences of heat input on geometry of GMAW fillet welds of unalloyed steel with thicknesses of 8 mm. Welding current and speed are varied, as parameters influencing heat input, while weld size, reinforcement, penetration, dilution and weld asymmetry are considered as geometry properties. All of them are obtained through measurements on macro-sections. Influence of heat input on geometry is presented through the model based on regression analysis.

1. Uvod

Konstrukcionim čelicima se uobičajeno nazivaju oni čelici koji se primjenjuju za izradu dijelova mašina, te različitih građevinskih i mašinskih proizvoda, postolja, transportnih sredstava, vozova i brodova. Za zavarivanje konstrukcionih čelika pogodni su svi postupci zavarivanja topljenjem. [1] Pri ovome se kvalitet, odnosno klase kvaliteta, definišu odgovarajućim standardima i kodovima (na primjer ISO 5817). Između ostalog, ti standardi definišu šta su zahtjevi u pogledu geometrijskih karakteristika spojeva, od kojih se neki provjeravaju bez razaranja (mjerenje i vizuelni pregled), a neki sa razaranjem (rezanjem zavara, nagrizanjem i mjerenjem). Definisano je također šta se smatra prihvatljivim i neprihvatljivim za zahtijevanu klasu kvaliteta. Sa druge strane, proizvođači osnovnog i dodatnog materijala, a nekada i proizvođači opreme za zavarivanje, daju opšte smjernice za izbor esencijalnih parametara zavarivanja.

MAG zavarivanje ima široku primjenu u proizvodnji različitih zavarenih proizvoda. To je postupak sa velikom brzinom deponovanja koji se može jednostavno mehanizovati ili robotizovati, a

pogodan je za spajanje nelegiranih i niskolegiranih konstrukcionih čelika [2]. Pri ovome, ispravno i pažljivo odabrani parametri mogu spriječiti prevelik unos toplote i posljedično, deformacije predmeta i druge nesavršenosti spojeva [3]. Bez obzira na sve prednosti koje nudi njegova automatizacija, MAG zavarivanje je još uvijek značajnim dijelom ručni proces. Pri tome, zavarivači su kao radna snaga skupi, a njihov umor zbog ponavljanja vrlo preciznih pokreta je značajan problem metalne industrije. Takav umor može uzrokovati ozbiljne zdravstvene probleme, ali i dovesti do pada kvaliteta zavarenih spojeva i povećanja potrebe za naknadnim intervencijama (popravljanja ili ispravljanja zavara). Sve ovo vodi povećanju troškova, ali i mogućim kašnjenjima u proizvodnji. [4] Međutim, ako se koristi robot, on vrši te precizne pokrete kojima se kontroliše pištolj, te u takvim slučajevima zavarivač (odnosno sada već operater) samo nadgleda proces zavarivanja i ukoliko je potrebno, vrši korekcije kretanja ili parametara zavarivanja. [5]



2. Veza unosa toplote i geometrije

Veliki napredak MAG zavarivanja predstavlja uvođenje kontrole brzine žice i mogućnosti mijenjanje i prilagođavanja struje i napona tokom samog zavarivanja, pri već uspostavljenom električnom luku. Na ovaj način je postignuta optimizacija procesa i smanjen unos toplote [3]. Istovremeno je potrebno razviti i pouzdanu kontrolu unosa toplote, a ona bi se mogla bazirati na provjeri geometrije i dimenzija spoja i poređenju sa referentnim vrijednostima. Kako MAG postupak nema šljaku, za mjerenje dimenzija se može upotrijebiti vještački vid baziran na laseru [6]. Onda bi se tokom samog zavarivanja izvršilo podešavanje parametara električnog luka (ukoliko je potrebno) i to nakon poređenja ostvarenog oblika i dimenzija spoja sa referentnim. Ovakav koncept kontrole zavarenog spoja u realnom vremenu je suštinski veoma jednostavan, a njegova osnova bi bio pouzdan i tačan odnos *ulaza* (parametri zavarivanja) i *izlaza* (oblik i dimenzije zavarenog spoja) pri datim *uslovima* (vrsta i debljina osnovnog i dodatnog materijala i položaj zavarivanja). Tako bi se podešavao set parametara zavarivanja koji bi dao ugaoni spoj potrebnih dimenzija [7].

Ulaz, odnosno parametri zavarivanja, se mogu mijenjati u određenom rasponu bez ugrožavanja potrebne kvalitete zavara. Glavni (esencijalni) parametri kod MAG postupka zavarivanja su jačina struje, napon i brzina zavarivanja, koji određuju unos toplote. On je jedan od osnovnih faktora koji utiče na osobine zavarenih spojeva [7, 8]. Na računsku vrijednost unosa toplote utiče i termički stepen iskorištenja postupka. Ovo je veličina za koju postoje preporučeni rasponi i kao takva se usvaja. Za MAG iznosi od 65% do 85% [9].

Izlaz su geometrijske karakteristike zavarenog spoja, od kojih se neke mogu izmjeriti ili izračunati tek nakon presijecanja spoja. Mjere se dužina kateta, debljina i širina zavarenog spoja, nadvišenje i penetracija, dok se računaju površine osnovnog i dodatnog materijala u metalu šava, miješanje osnovnog i dodatnog materijala i asimetričnost spoja. [7, 10].

Jedan od najjednostavnijih izraza koji definiše odnos između unosa toplote Q i katete spoja z je primjenjiv na sve jednoprolazne zavarene spojeva izvedene konvencionalnim elektrolučnim postupcima [8]. Neki od ostalih pristupa i modela su dosta kompleksniji i uključuju praćenje više ulaznih i izlaznih parametara, kao i upotrebu složenih statističkih alata [11, 12]. Neka istraživanja uzimaju u obzir i dodatne parametre, poput brzine dotura žice, ugla pištolja i udaljenosti vrha pištolja [13], a neka se odnose na MAG zavarivanje upotrebom punjenih žica [14]. Neka od istraživanja su čak ispitivala koncept po kojem bi se zvuk električnog luka koristio kao osnova za kontrolu procesa i procjenu kvaliteta zavarenih spojeva [15, 16]. Primjenom ovakve kontrole procesa je pokazano da se može predvidjeti i kontrolisati i širina zone uticaja toplote [17]. Na osnovu izloženog je moguće zaključiti da ideja o ovakvom načinu kontrole kvaliteta spoja putem kontrole geometrije nije novina.

3. Eksperiment

Kako bi se uspostavio model i izvršilo njegovo poređenje sa nekim od postojećih modela, izvršeno je zavarivanje serije spojeva na limovima od nelegiranog konstrukcionog čelika (S235JR, EN 10025-2) debljine 8 mm, a svi su izvedeni u jednom prolazu. Dodatni materijal je bila žica G 42 4 M21 3Si1 EN ISO 14341-A, prečnika 1,2 mm. Kao zaštitni gas je korištena mješavina 82% Ar sa 18% CO₂, čiji je protok bio 18-22 l/min. Udaljenost vrha pištolja od površine radnog komada se kretala u rasponu od 12 do 15 mm. Zavarivanje je vršeno ručno, u dvije pozicije (položena PB i nadglavna PD). Ukupno je zavareno 60 uzoraka, a za zavarivanje je korišten uređaj Daihen Welbee WB-P500L. Parametri zavarivanja su varirani u relativno ograničenom rasponu, kako bi se dobili samo unosi toplote koji su smisleni za date uslove zavarivanja, a njihov pregled daje tabela 1. Navedene jačine struje su srednje vrijednosti izmjerene tokom trajanja zavarivanja, a mjerenje je izvršeno upotrebom Fluke multimetra i strujnih kliješta.

Tabela 1. Parametri zavarivanja korišteni pri ispitivanju
Table 1. Welding parameters used in investigation

Pozicija / Position	Jačina struje / Current I (A)	Napon / Voltage U (V)	Brzina zavarivanja / Welding speed w (cm/min)	Unos toplote / Heat input Q (kJ/mm)
Položena / Horizontal	164 – 291	22,2 – 28,5	13,8 – 60,6	0,6 – 1,3
Nadglavna / Overhead	161 – 292	22,0 – 28,6	16,2 – 53,4	0,7 – 1,3



Unos toplote je izračunat pomoću izraza (1), a za stepen termičkog iskorištenja postupka η je usvojena vrijednost 0,8 [7]

$$Q = \frac{U \cdot I}{1000 \cdot w} \cdot \eta \quad (\text{kJ/mm}) \quad (1)$$

Ovde je:

U (V) – napon,

I (A) – jačina struje,

w (mm/s) – brzina zavarivanja,

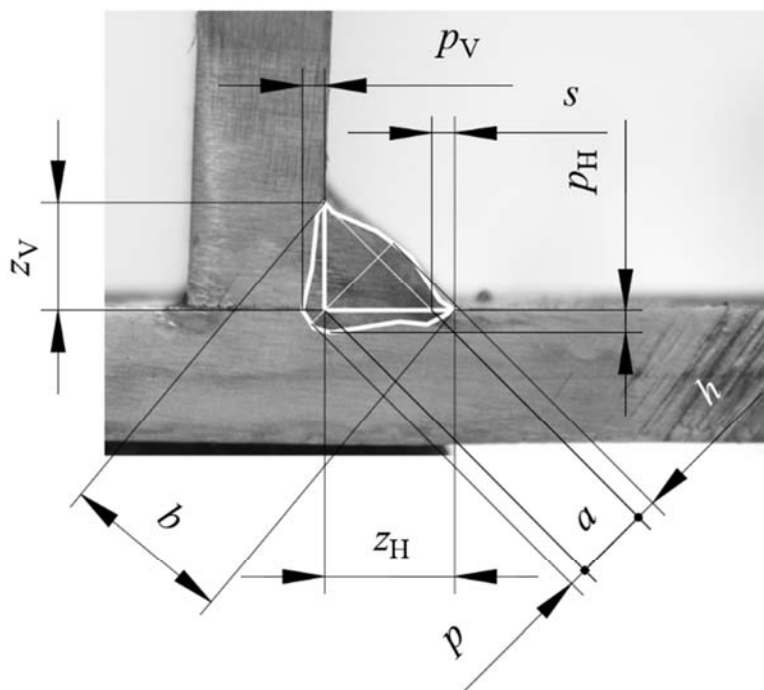
□ (-) – termički stepen iskorištenja postupka.

Nakon zavarivanja su svi uzorci vizuelno ispitani (pregledani). Izvršeno je i presijecanje svakog spoja na dva mjesta, te brušenje, poliranje i nagrizanje presjeka nitalom, nakon čega je slijedilo makroskopsko ispitivanje u skladu sa standardom

ISO 17639. Nakon fotografisanja tako pripremljenih spojeva, upotrebom aplikacije AutoCAD je izvršeno mjerenje kateta (z_H i z_V), debljine spoja (a), nadvišenja (h) i penetracije u korijenu (p) prema ISO TR 25901-1, te asimetričnosti (s) prema ISO 5817. Dodatno su izmjerene i penetracije u horizontalnom i vertikalnom pravcu (p_H i p_V , slika 1) i površine osnovnog i dodatnog metala (A_B i A_F) koji čine metal šava, te je prema izrazu (2) izračunato miješanje metala (D).

$$D = \frac{A_B}{A_B + A_F} \cdot 100\% \quad (\%) \quad (2)$$

Prikaz mjerenih dimenzija zavarenog spoja u aplikaciji AutoCAD na pripremljenom presjeku prikazuje slika 1, a pri ovome je korištena razmjera 1:1.



Slika 1. Primjer mjerenja dimenzija ugaonog spoja na limovima debljine 8 mm

Figure 1. Example of measuring dimensions of a fillet weld on 8 mm thick sheets

Debljina spoja (a) je izmjerena kao visina najvećeg istostraničnog trougla kojeg je moguće upisati u presjek zavarenog spoja, a širina lica šava (b) je dobijena preko izraza (3).

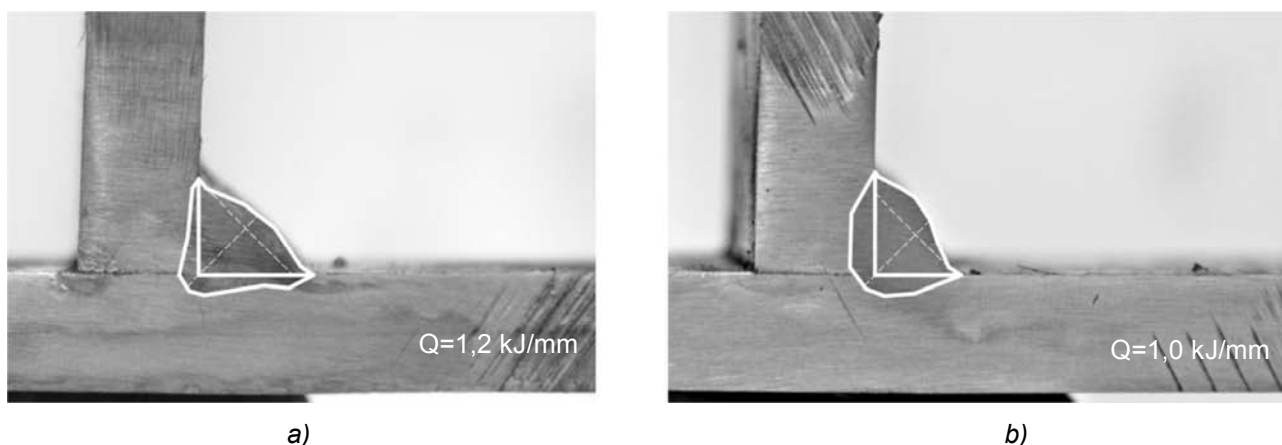
$$b = \sqrt{z_H^2 + z_V^2} \quad (\text{mm}) \quad (3)$$

4. Rezultati i diskusija

S obzirom da je zavarivanje vršeno u položenoj (PB) i nadglavnoj (PD) poziciji, rezultati mjerenja dimenzija zavarenih spojeva su dati odvojeno za

njih. Tako će se moći izvršiti i procjena uticaja pozicije zavarivanja na geometrijske karakteristike spoja, a ne samo unosa toplote.

Ono što je očekivano i jasno vidljivo na presjecima je uticaj gravitacije, odnosno razlika u profilu zavarenog spoja između položene i nadglavne pozicije. Ovo je prikazano na slici 2, gdje su dati presjeci dva spoja koja su zavarena istom jačinom struje ($I=225$ A), ali sa različitim unosima toplote u dvije pozicije. Vidljiva je i asimetrija koja odgovara uticaju gravitacije.

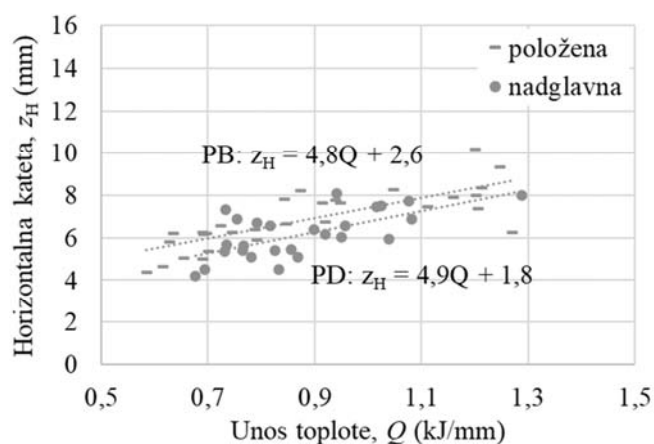


Slika 2. Primjer zavarenog spoja u položenoj (a) i nadglavnoj (b) poziciji

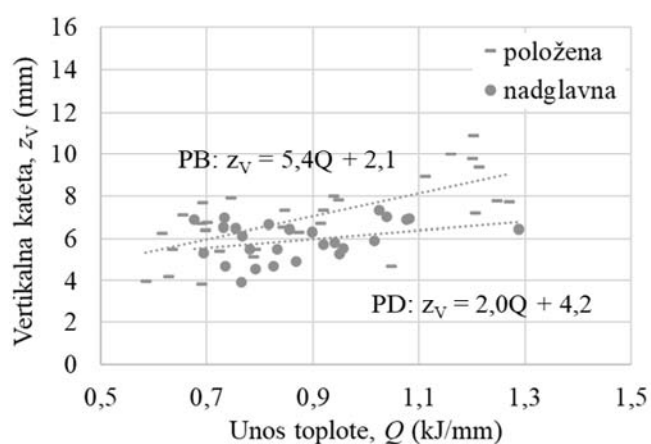
Figure 2. Example of a welded joint in the horizontal (a) and overhead (b) position

Prvi analizirani pokazatelj geometrije su dužine horizontalne i vertikalne katete za položenu i nadglavnu poziciju, i ovo prikazuje slika 3. Navedene su i jednačine koje opisuju zavisnost veličine katete od unosa toplote. Radi jednostavnosti, one su linearnog tipa, iako u literaturi postoje i drugi, često kompleksniji, modeli.

Kako se vidi, za isti unos toplote, položena pozicija daje veće vrijednosti obje katete. Sa druge strane, gravitacija značajno utiče na proces ručnog zavarivanja u nadglavnoj poziciji, što zavarivač kompenzira manipulacijom pištolja, te se tako ostvaruje relativno širok raspon vrijednosti veličine vertikalne katete. Ipak, njena veličina u nadglavnoj poziciji je općenito manja u odnosu na položenu.



a)



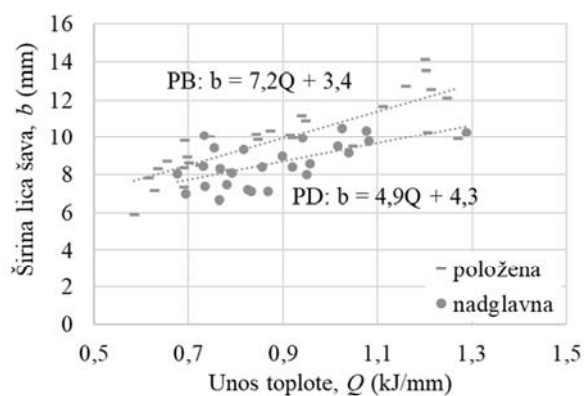
b)

Slika 3. Zavisnost veličine horizontalne (a) i vertikalne (b) katete od unosa toplote

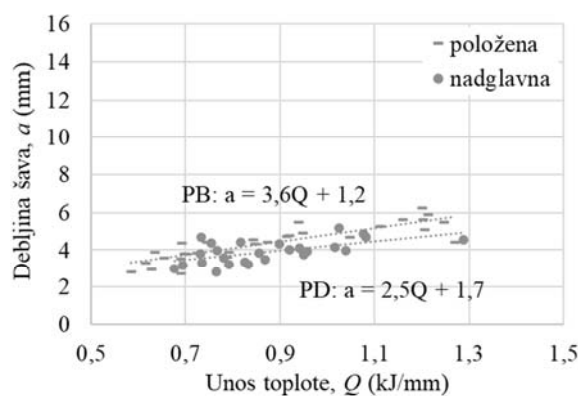
Figure 3. Dependence of the size of the horizontal (a) and vertical (b) triangle leg on heat input

Kako se može vidjeti sa slike 3, očigledno je da postoji određena asimetrija zavarenog spoja, odnosno razlika u veličinama kateta pri istom unosu toplote. Sama asimetrija je nešto izraženija u položenoj poziciji, ali na njenu vrijednost unos toplote nema uticaj.

Slika 4 prikazuje zavisnost širine šava, izračunate prema izrazu (3) i debljine šava od unosa toplote. Kako se vidi, i ove veličine imaju veće vrijednosti u položenoj poziciji. Objašnjenje za ovo može biti uticaj gravitacije u nadglavnoj poziciji, budući da manje materijala završi u šavu, ali i uticaj manipulativne sposobnosti zavarivača, budući da se radi o ručnom zavarivanju.



a)



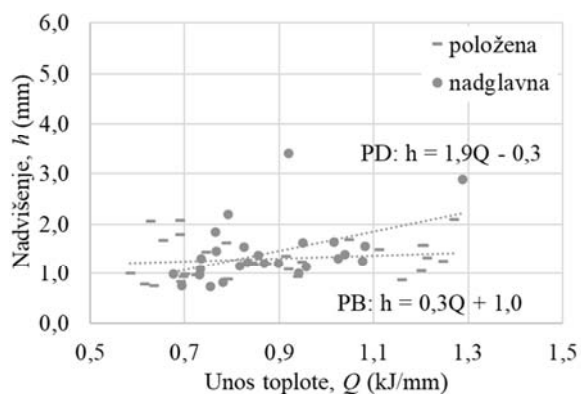
b)

Slika 4. Zavisnost širine (a) i debljine (b) šava od unosa toplote

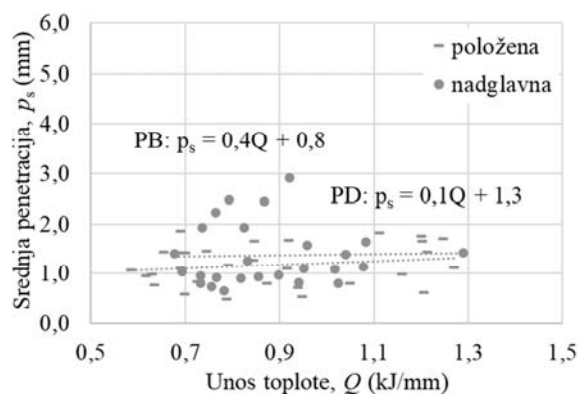
Figure 4. Dependence of width (a) and thickness (b) of the weld metal on heat input

Slika 5 prikazuje zavisnost nadvišenja šava i srednje penetracije u zavisnosti od unosa toplote. Srednja penetracija nije standardna veličina, a izračunata je kao srednja vrijednost maksimalne penetracije u horizontalnom i vertikalnom pravcu i

one u korijenu. Penetracija u korijenu nije bila uvijek ostvarena, nego je prisutna samo pri većim unosima toplote (od oko 1,1 kJ/mm). Ovo je posljedica i ručnog zavarivanja, ali i toga što nije vršena posebna priprema zavarenih spojeva.



a)



b)

Slika 5. Zavisnost nadvišenja šava (a) i penetracije (b) od unosa toplote

Figure 5. Dependence of excess weld metal reinforcement (a) and penetration (b) on heat input

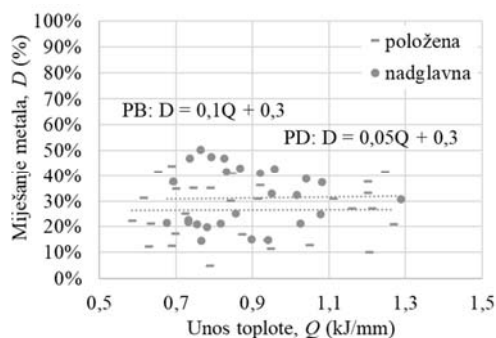
Kako se vidi, povećanje unosa toplote dovodi po povećanja nadvišenja. Zbog uticaja gravitacije, nadvišenje je mnogo više izraženo u nadglavnoj poziciji i više zavisi od unosa toplote. Uvidom u pojedinačne zavare je moguće vidjeti da nadvišenje nema isti oblik i dimenzije za slične unose toplote, što se može objasniti time da je u pitanju ručno zavarivanje. Pri ovome, vrijednost prihvatljivog nadvišenja standard EN ISO 5817 propisuje kao vrijednost koja zavisi od širine lica šava, i u većini slučajeva zavareni spojevi su ispunjavali bar najnižu D klasu kvaliteta.

Kako se vidi, kod obje pozicije je prisutan blagi rast srednje penetracije sa rastom unosa toplote. Ipak, može se reći da su nešto veće vrijednosti penetracije u nadglavnoj poziciji, ali je i veći raspon

ostvarenih penetracija za slične unose toplote. I ovo je posljedica manipulativne sposobnosti zavarivača, koji nastoji održati i kupku i električni luk u datim uslovima.

Jedna od karakteristika je i miješanje materijala, koje se izračunava pomoću izraza (2), a čiju zavisnost od unosa toplote prikazuje slika 6. Kako se vidi prema izrazima na dijagramu, unos toplote, u obje pozicije, nema značajnog uticaja na miješanje metala. Pri istom unosu toplote, nešto veće vrijednosti miješanja metala se dobijaju u nadglavnoj poziciji.

Miješanje materijala nije toliko značajan parametar kada se radi o čelicima iste vrste, što je ovdje slučaj, ali je ipak uključen u analizu budući da može biti indirektni pokazatelj intenziteta topljenja.

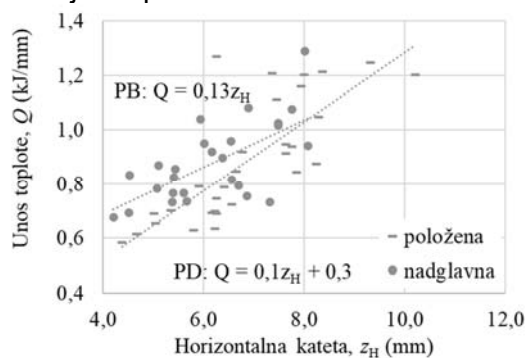


Slika 6. Zavisnost miješanja metala od unosa toplote

Figure 6. Dependence of metal mixing on heat input

Zanimljivo je iskoristi ovakav model, gdje je unos toplote ulaz a dimenzije izlaz, na obrnut način. U tom slučaju izlaz postaje unos toplote, pa bi se model koristio da se utvrdi unos toplote potreban da se u datim uslovima (ugaoni jednoprolazni

zavar, čelik S235JR debljine 8 mm) dobije određena veličina spoja. Slika 7 daje primjer takvog dijagrama, na kojem je dat i izraz koji linearno opisuje tu zavisnost.



Slika 7. Zavisnost unosa toplote od potrebne katete

Figure 7. Dependence of heat input on the required leg size

Isti koncept je moguće provesti za ostale geometrijske karakteristike, te bi se na taj način omogućio izbor raspona unosa toplote za potrebne raspone vrijednosti geometrijskih karakteristika. Ovo bi dalje moglo dovesti do automatizacije kontrole dimenzija i kvaliteta zavarenog spoja.

5. Zaključak

Rezultati navedeni u ovom radu se odnose na ručno zavarivanje ugaonih spojeva na nelegiranom konstrukcionom čeliku debljine 8 mm u dvije pozicije, položenoj i nadglavnoj. Pri tome je istraživao uticaj unosa toplote na geometrijske karakteristike zavara, koje su utvrđene mjerenjem na presjeku. Za svaki zavar su izvedena po tri presjeka.

Kako se vidi sa dijagrama, u slučaju povećanja unosa toplote dimenzije spoja se općenito povećavaju. U horizontalnoj poziciji se općenito ostvaruju veće dimenzije spoja za isti unos toplote.

Vidljivo je da se penetracija i miješanje materijala ne mijenjaju značajno sa promjenom

unosa toplote, kao i da ova dva pokazatelja imaju veće vrijednosti za nadglavnu poziciju.

Navedeni izrazi se baziraju na podacima koji su dobiveni mjerenjem. Uzimajući u obzir izmjerene vrijednosti nadvišenja i asimetrije, oko pola zavarenih spojeva zadovoljava klasu B kvaliteta (prema EN ISO 5817), dok preostali zadovoljavaju klase C i D. Ipak, na slikama je vidljivo da su rasponi vrijednosti geometrijskih karakteristika relativno široki, što se može pripisati tome da je u pitanju ručno zavarivanje. Naravno, u slučaju da se radi o robotskom zavarivanju, ponovljivost pokreta i preciznost izvedbe zavara postaje neupitna, te bi tako ovakav koncept bio upotrebljiviji jer bi imao i veću pouzdanost.

Sa druge strane, izložena je ideja da se sličan koncept i rezultati dobijeni ovakvim pristupom iskoriste za definisanje potrebnog unosa toplote kojim se dobija željena dimenzija spoja, kako je prikazano na slici 7. Međutim, u slučaju ručnog zavarivanja, ovo bi tražilo zavarivanje i analizu velikog broja spojeva ili upotrebu naprednih statističkih alata.

**Literatura / References**

- [1] Pašić, O., Zavarivanje, Svjetlost, Sarajevo, 1998.
- [2] Yaakub, M. Y., Tham, G., Rahim, W. M., Radzi, M. A. R. M., Mahmud, A., *Advanced Materials Research*, 686 (2018), 320-324.
- [3] Mvola, B., Kah, P., Martikainen, J., Hiltunen, E., *Mechanika*, 19 (2013) 6, 694-701.
- [4] Czifra, J., Vicikova, J., Szabo, P., Automated production system for pipelines of vessels, *Proceedings, 21st International DAAAM Symposium*, B. Katalinic (Ed.), 21 (2010), 1
- [5] Karimzadeh, S., *Welding journal*, 98 (2019), 5, 34-35.
- [6] Reddy, G. A., Raman A., Reddy H., Kumar G. S., *Proceedings, 2008 International Conference on Image Processing, Computer Vision, & Pattern Recognition*, July 14-17, 2008, Las Vegas, USA
- [7] Hajro, I., Tasic, P., *TEM J.*, 9 (2020), 2, 496-500.
- [8] Miller, D. K., Funderburk R. S., *Welding Journal*, 80 (2001), 7, 40-43.
- [9] Bosworth, M. R., *Welding Journal*, Supplement (1991), 111-117.
- [10] Ribeiro, R. A., Santos, E. B. F., Assunção, P. D. C., Maciel, R. R., Braga E. M., *Welding Journal*, 94 (2015), 9, 301-311.
- [11] Kumar, A., DebRoy, T., *Proceedings, 7th Int. conference Trends in Welding Research*, May 16-20, 2005, Pine Mountain, USA
- [12] Kumar, V., Parida, M. K., Albert, S. K., *Int J Syst Assur Eng Manag*, (2021)
- [13] Kolahan, F., Heidari, M., *Intl. J. Of Mechanical and Mechatronics Engineering*, 3 (2009), 11, 1391-1394.
- [14] Gucwa, M., Beczkowski, R., *Archives of Foundry Engineering*, 14 (2014), 127-130.
- [15] Horvat, J., Prezelj, J., Polajnar, I., Čudina, M., *Journal of Mech Eng*, 57 (2011), 3, 267-278.
- [16] Cayo, E. H., Absi, S. C. A., *ABCM Symposium Series in Mechatronics*, 3 (2008), 571-579.
- [17] Lima, E. J., Castro, C., Bracarense, A. Q., Campos M. M., *Proceedings, 7th Int. conference Trends in Welding Research*, May 16-20, 2005, Pine Mountain, USA

Članstvo u strukovnoj asocijaciji DUZS

je referenca za Vaš profesionalni status

Članarina za 2022. godinu je 3500,00 dinaraUplatom članarine stičete pravo na beneficirane cene
pretplate časopisa (strana MARKETING)

Tekući račun DUZS: 325-9500600002588-46

Informacije

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

duzs@eunet.rswww.duzs.org.rs



Andrej Skumavc^{1a}, Anže Smolej¹, Edvard Bjelajac², Tomaž Vuherer³

PROPERTIES AND WELDABILITY OF HIGH-STRENGTH LOW-ALLOY S1100QL STEEL

SVOJSTVA I ZAVARLJIVOST NISKOLEGIRANOG ČELIKA VISOKE ČVRSTOĆE S1100QL

Stručni rad / Professional paper

Rad je u izvornom obliku objavljen u Zborniku sa 31. Savetovanja sa međunarodnim učešćem "Zavarivanje 2020" održanog u Kladovu 13-16. Oktobra 2021

Rad primljen / Paper received:

Septembar 2021.

Adresa autora / Author's address:

¹ SIJ Acroni d.o.o. Cesta Borisa Kidriča 44, 4270 Jesenice, Slovenija

² Messer Slovenija d.o.o., Brnčičeva 27, 1231 Ljubljana-Črnuče, Slovenija

³ Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, Smetanova 17, 2000 Maribor, Slovenija

^a andrej.skumavc@acroni.si

Keywords: High-strength low-alloy S1100QL steel, weldability, EN ISO 15614-1, welding procedure qualification record, strength-to-weight ratio

Ključne reči: Niskolegirani čelik visoke čvrstoće S1100QL, zavarljivost, EN ISO 15614-1, zapis o kvalifikaciji postupka zavarivanja, odnos čvrstoće i težine

Abstract

The high-strength low-alloy steel S1100QL is used in the most demanding mechanical engineering applications. Typical structures made of this steel are hydraulically extendable pallet cranes in mobile lifting machinery, which require high strength-to-weight ratio. The high yield strength and toughness of S1100QL steel is achieved through proper chemical composition, hot rolling, and heat treatment. Those factors also have a strong effect on the weldability of this steel: the welded joint should have the properties required by EN ISO 15614-1. In this paper, the main properties of the S1100QL steel are shown. In addition, WPQR was performed on a 15 mm thick plate using the GMAW process. Analysed properties such as tensile test, impact toughness, hardness and microstructure are compared to the requirements of the international standards from the field of arc welding.

Rezime

Niskolegirani čelik visoke čvrstoće S1100QL koristi se u najzahtevnijim aplikacijama mašinstva. Tipične konstrukcije izrađene od ovog čelika uključuju hidraulički izvlačne paletne dizalice u pokretnim mašinama za podizanje koje zahtevaju veliki odnos čvrstoće i težine. Visoka granica tečenja i žilavost čelika S1100QL postiže se pravilnim hemijskim sastavom, toplim valjanjem i termičkom obradom. Ovi faktori takođe imaju snažan uticaj na zavarljivost ovog čelika: zavareni spoj treba da ima svojstva koja zahtevaju EN ISO 15614-1. U ovom radu su prikazana glavna svojstva čelika S1100QL. Pored toga, WPQR je izveden na ploči debljine 15 mm primenom MAG procesa. Analizirana svojstva kao što su ispitivanje zatezanjem, žilavost, tvrdoća i mikrostruktura, upoređuju se sa zahtevima međunarodnih standarda iz oblasti elektrolučnog zavarivanja.

1. Introduction

Steel S1100QL is a high-strength low-alloy (HSLA) steel with yield strength of 1100 MPa. According to some authors it is also called fine-grained or micro-alloyed steel [1]. Civil and mechanical engineering are two main fields of use where high strength-to-weight ratio of structures is required. HSLA steels with relatively high impact toughness were developed in order to lower mass of structures. To fulfil mechanical properties such as yield and tensile strength, elongation and impact toughness, the S1100QL is produced with special chemical composition.

Microalloying elements such as titanium, niobium, vanadium and boron are typically used during steel making process. Titanium addition is used for boron protection as well as austenite grain refinement. Microalloying is used to achieve fine ferritic grains in the microstructure. As a result, the yield strength and impact toughness of the steel increases. The phenomenon is defined with Hall-Petch equation [2]. Petch was also the first researcher who defined correlation between impact toughness and grain size. With the increase of temperature, during the austenitisation annealing, grains increase due to the grain boundary



migration. Austenite grains are increasing with quadratic relation to temperature. As a result of grain coarsening, the yield strength, tensile strength, elongation, contraction and impact toughness decrease.

Ferrite is formed from austenite during continuous cooling through A_{r3} temperature. In order to have control over austenite grain size, it is necessary to take care during heating before hot rolling process and also during hot processing. Two main mechanisms are known that have effect on grain size coarsening. Alloying elements dissolved in steel matrix cause additionally resistance to mobility of high-angle grain boundaries [3]. The second one, Zener drag effect, is correlated to attachment of fine precipitates along austenite grain boundaries. Small precipitates lower the surface energy between austenite grains and thus additional energy is necessary for grain coarsening.

Beside microalloying elements (V, Nb, Ti) high-strength low-alloy steels are typically alloyed with Cr, Ni and Mo. With the increases of those elements the curve of CCT diagram is moved to right, to longer transformation times, and as a result through thickness hardening effect increases. Homogenous microstructure over the thickness of the plate is necessary to fulfil mechanical requirements. Non-metallic inclusions have negative effect on impact toughness and thus content of phosphorus, sulphur, nitrogen, oxygen and hydrogen must be as low as possible.

Manufacturing process of S1100QL steel consists of following steps:

- **Steel making process in the melt shop:** Scrap metal is melted using electric arc furnace (EAF). Degassing and final alloying is done on vacuum-degassing unit (VD). Liquid metal is cast into slabs using continuous caster.

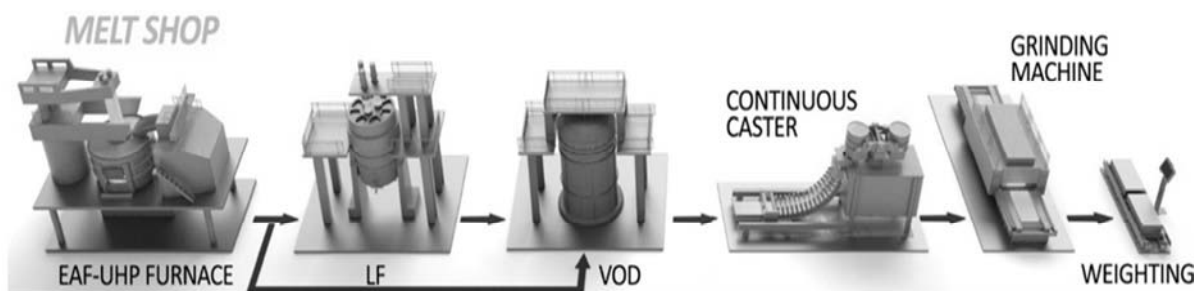


Figure 1. Steel making process in SIJ Acroni melt shop [4]

Slika 1. Proces proizvodnje čelika u čeličani SIJ Acroni [4]

- **Hot-rolling mill:** Slabs made of S1100QL steel are reheated into austenite region using pusher type furnace. Four-high rolling mill with capacity of 600 tons is used for rolling of the slabs into the final plates with the maximum width of 2500 mm.

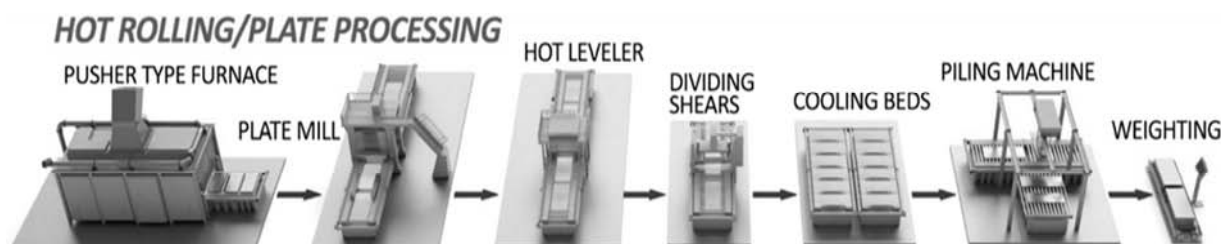


Figure 2. Hot rolling process in SIJ Acroni [4]

Slika 2. Proces toplog valjanja u SIJ Acroni [4].



• **Heat treatment and finalisation:** Quenching of steel plates from the austenite region is the first step of heat treatment. Steel in a form of a quarto plates is heated into austenite region, 30 – 50 °C above Ac3 temperature. Holding time between 15 – 30 minutes, depending on the plate thickness, is necessary for complete transformation of ferrite into austenite all over the plate thickness. After

austenitization annealing the plates are quenched using Multi-Flex quench heat treatment line. Cooling speed directly defines microstructural evolution in the steel plate and is thus defined as the crucial technological parameter. Critical cooling speed is required in order to get homogenous martensitic microstructure all over the plate thickness.

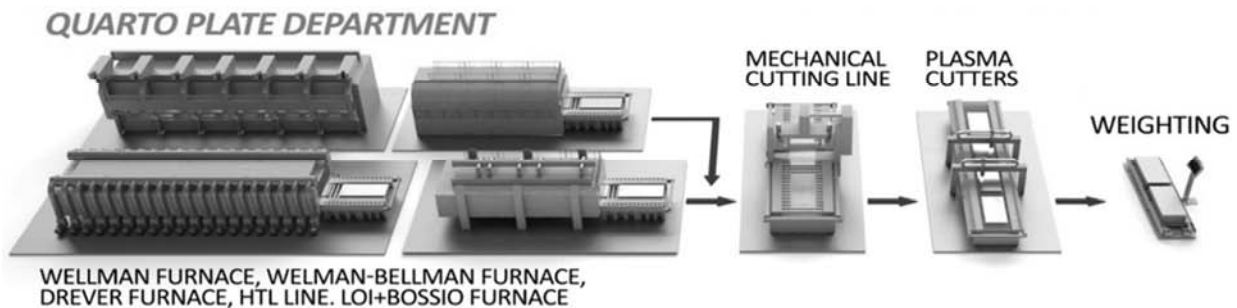


Figure 3. Heat treatment process in SIJ Acroni quarto plate department [4]

Slika 3. Proces termičke obrade u odeljenju kvarto ploča SIJ Acroni [4]

As a result of chemical composition and high cooling speed during quenching process the S1100QL steel plate have high hardness but low impact toughness and ductility. Additional step of

low temperature tempering is required after quenching to increase impact toughness and ductility. In final quenched and tempered condition, the microstructure consists of tempered martensite.

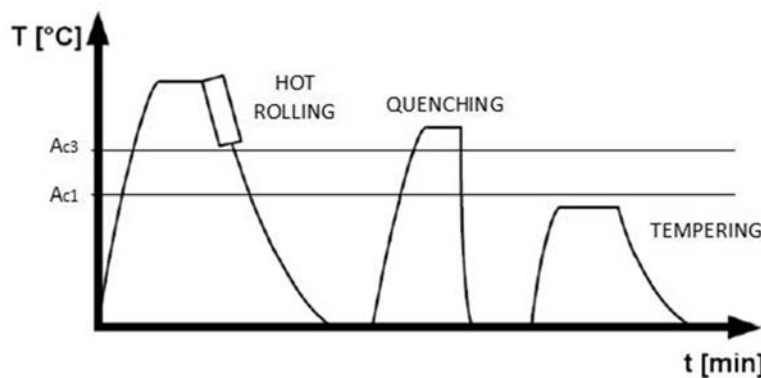


Figure 4. Heat treatment process of S1100QL steel in SIJ Acroni [5]

Slika 4. Proces termičke obrade čelika S1100 QL u SIJ Acroni [5]

Grade S1100QL is not conventional construction steel due to relatively high carbon content and consequently carbon equivalent value CEV. Additionally, S1100QL is a non-standard grade due to the yield strength over 960 MPa, which is the highest yield strength range included into EN ISO 10025-6 [6]. According to ISO/TR 15608 this grade can be included into the steel group 3.2 which covers quenched and tempered (QT) fine grained steels with a specified yield strength ReH > 690 MPa [7].

Welding is the main technological operation during manufacturing process of high strength

structures made of construction steel. Due to the heat input during arc welding microstructural changes occur in the material and hence also degradation of mechanical properties in the HAZ is to be expected.

According to above mentioned details the aim of this work was to investigate the properties of butt weld joint made of S1100QL steel in a form of a 15 mm thick plates using GMAW process. Characterisation was done according to EN ISO 15614 [8].



2. Experiment

Base material used for welding procedure test was produced by SIJ Acroni Jesenice with commercial name SIMAXX 1100QL. Chemical

composition with maximum mass content of alloying elements is defined in the Table 1. Weld edges of 15 mm thick plates were prepared in a form of letter V – 60° as seen on the Figure 5.

Table 1. Maximum content of alloying elements (in mass %) for SIMAXX 1100QL [9]

Tabela 1. Maksimalni sadržaj legirajućih elemenata (u mas. %) za SIMAXX 1100QL [9]

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	B
0,19	0,50	1,60	0,012	0,002	1,20	1,20	0,60	0,30	0,005

SIMAXX 1100QL is a HSLA steel with the mechanical properties that are not specified in EN ISO 10025-6 standard. Before order the mechanical properties should therefore be agreed

between customer and producer. European producers of HSLA steels with yield strength over 1100 MPa guarantee the properties according to the datasheets [10-14].

Table 2. Mechanical properties of SIMAXX 1100QL steel produced by SIJ ACRONI [9]

Tabela 2. Mehanička svojstva SIMAXX 1100QL čelika proizvođača SIJ ACRONI [9]

Yield strength Granica tečenja $R_{p0,2}$ [MPa]	Tensile strength Zatezna čvrstoća R_m [MPa]	Elongation Izduženje $A_{5,65}$ [%]	Impact toughness Energija udara KV2 at -40 °C [J]
≥ 1100	≥ 1150	≥ 10	27 transverse / 30 longitudinal

Welding parameters which were used for all eight weld passes were set according to the Table 3. Heat input varied between 0,6 kJ/mm to 1,3 kJ/mm. Selected welding parameters shall be used when welding HSLA steels due to two main reason. Extremely low heat input could result in high hardness in HAZ. On the other side high heat input could have negative effect on grain coarsening in

the HAZ close to the fusion line. Welding was done using GMAW with massive wire with diameter of 1,2 mm. Wire designation was G 89 6 M21Mn4Ni2CrMo. Before welding both plates of the welded joint were preheated to 150 °C. Mixture of 18 % CO₂ with 82 % Ar with volume flow of 17 l/min was used as a shielding gas.

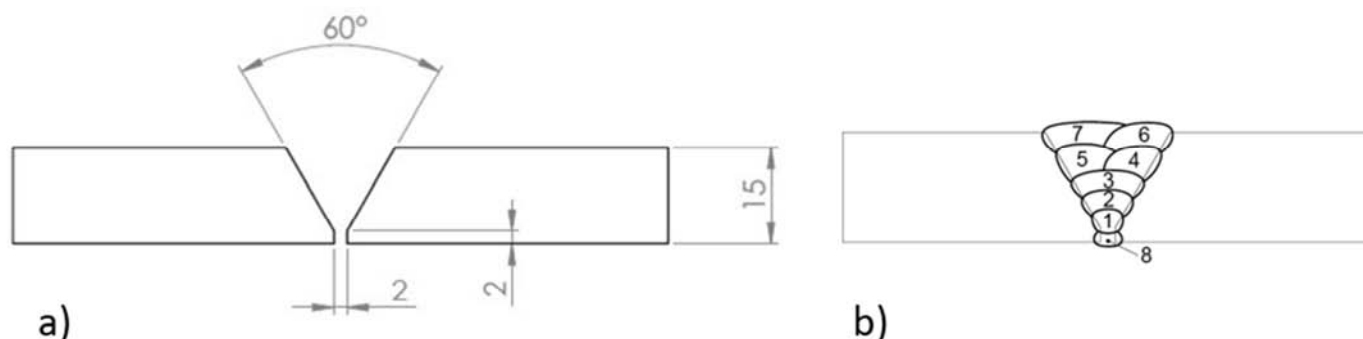


Figure 5. a) butt joint (BW) edge preparation, b) weld passes position

Slika 5. a) priprema ivice sučeonog spoja (BW), b) redosled polaganja zavara

**Table 3. Welding parameters****Tabela 3. Parametri zavarivanja**

Weld bead/ Prolaz	Arc voltage/ Napon [V]	Welding current/ Struja zavarivanja [A]	Welding speed/ Bzina zavarivanja [mm/s]	Preheated/ Predgrevanje Tp/Ti [°C]	Heat input Q Efficiency factor k= 0,8 included / Unos toplote Q Koeficijent efikasnosti k= 0,8 uključen [kJ/mm]
1	17,4	137	2,84	150	0,67
2	21,4	205	3,29	150	1,07
3	21,4	214	2,80	150	1,31
4	21,7	216	5,59	170	0,67
5	23,2	217	4,89	175	0,82
6	20,3	201	3,08	185	1,06
7	22,6	209	3,10	190	1,22
8	22,7	206	2,92	180	1,28

3. Results

The welded joint was analysed according to the requirements of EN ISO 15614-1. The focus of experimental work was on determination of mechanical properties. Therefore, yield strength, tensile strength, impact toughness and hardness

were measured. Additionally, also microstructure of the weld and HAZ was analysed.

3.1 Tensile strength

Two tensile specimens were cut in transverse direction of the welded joint. Results of the testing are shown in the Table 4.

Table 4. Tensile testing results and fracture location of the welded joint**Tabela 4. Rezultati ispitivanja zatezanjem i položaj preloma zavarenog spoja**

Tensile specimen/Uzorak za zatezanje	Yield strength/ Granica tečenja $R_{p0,2}$ [MPa]	Tensile strength/ Zatezna čvrstoća R_m [MPa]	Fracture location [base / HAZ / weld metal] Lokacija preloma [osnovni / ZUT / metal šava]
1	959	1012	Weld metal Metal šava
2	957	1009	

As seen from the results, the weld joint efficiency factor is lower as 1. Yield strength and also tensile strength of the weld joint is lower as it is specified for the base metal plate made of SIMAXX 1100QL steel. This under matching in mechanical properties was already expected according to the specification of the welding wire. Joint efficiency factor η can be calculated according to the equation 1.

$$\eta = \frac{R_{p0,2} \text{ weld joint}}{R_{p0,2} \text{ base metal}} \quad (1)$$

Joint efficiency factor $\eta = 0,87$ was determined for both tensile specimens.

3.2 Impact toughness

According to EN ISO 9016 two sets of specimens were machined from the butt joint [15]. Three specimens were machined with notch at the weld centreline (VWT) and three specimens with the notch in the HAZ (VHT). Testing was done on instrumented Charpy impact tester. For each specimen energy of crack initialisation (E_i) and energy of crack propagation (U_p) was determined. As seen from the Table 5 impact toughness of all specimens at -40 °C was higher as 27 J. What can also be observed is that energy of crack initialisation of VWT specimens is higher as energy



for crack propagation. Specimens from the HAZ zone show only minor difference between E_i and E_p .

Table 5. Impact testing results of the welded joint

Tabela 5. Rezultati ispitivanja energije udara zavarenog spoja

Specimen/ Uzork	Impact toughness/ Energija udara KV2 [J]	Average impact toughness/Srednja vrednost energije udara KV2 [J]	Energy of initialisation/ Energija stvaranja E_i [J]	Energy of propagation/ Energija širenja U_p [J]
VWT-1	37	37	27	10
VWT-2	35		26	9
VWT-3	40		29	11
VHT-1	76	89	43	33
VHT-2	97		45	52
VHT-3	94		51	43

3.3 Hardness of the welded joint

Hardness was measured according to EN ISO 9015 [16]. Due to the relatively high CEV of the base material with the value of 0,67 % care must be taken during welding. Limited maximum hardness value in as-welded condition for steels from a group 3.2 from ISO 15608 is 450 HV. In

order to exactly determine hardness distribution over the welded joint we made detailed hardness mapping. As seen from the Figure 6 the highest value of hardness was measured in the HAZ close to the weld bead eight, which was the last bead welded. The maximum hardness was measured at the position highlighted with an arrow on Figure 6 with the value of 416 HV5.

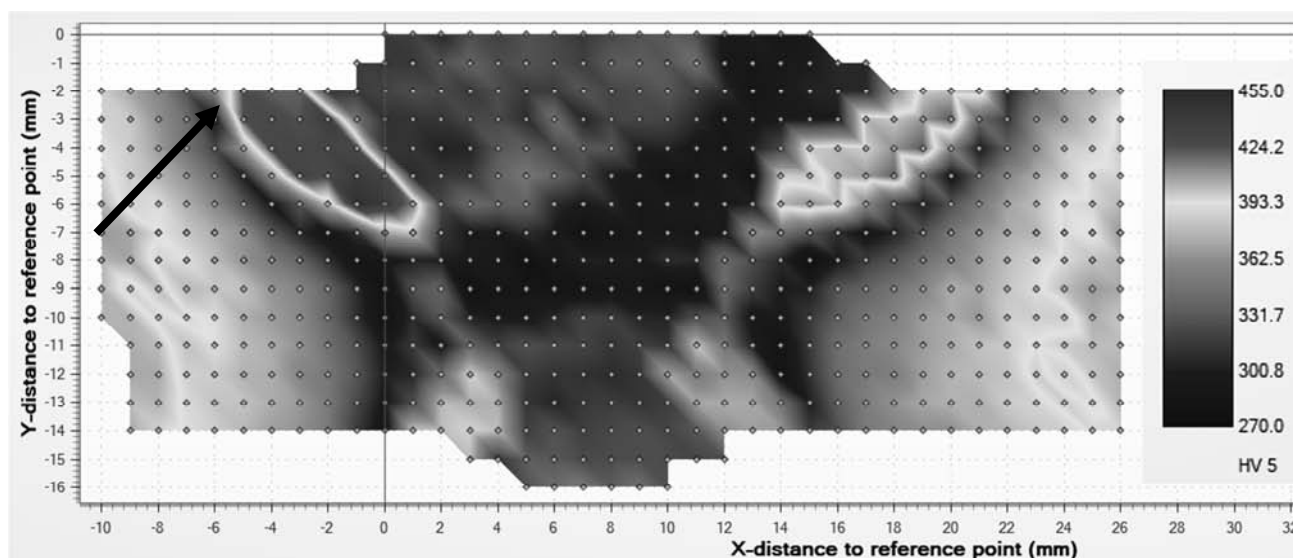


Figure 6. Hardness mapping on the cross section of the welded joint

Slika 6. Mapirana raspodela tvrdoće na poprečnom preseku zavarenog spoja

3.4 Microstructure of the welded joint

Metallographic samples were etched using 2 % Natal etchant. As seen from the Figure 7. no

undercuts or incomplete penetrations were observed on the macro-cross section.

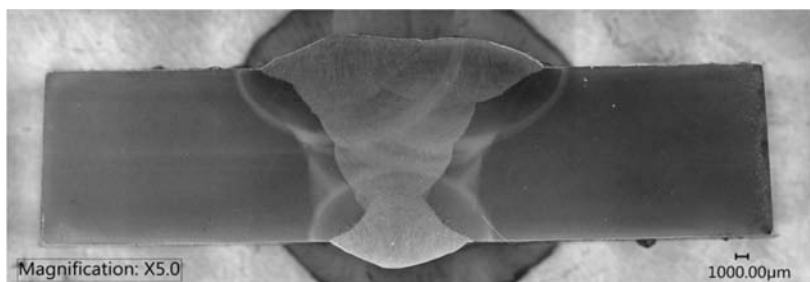


Figure 7. Macro-photo of the butt weld joint

Slika 7. Makro fotografija sučeonog spoja

Additionally, we also analysed microstructure of the weld metal as shown on the Figure 8. Microstructure in the weld metal consists mostly of

the acicular ferrite, which improves the impact toughness of the weld matrix.

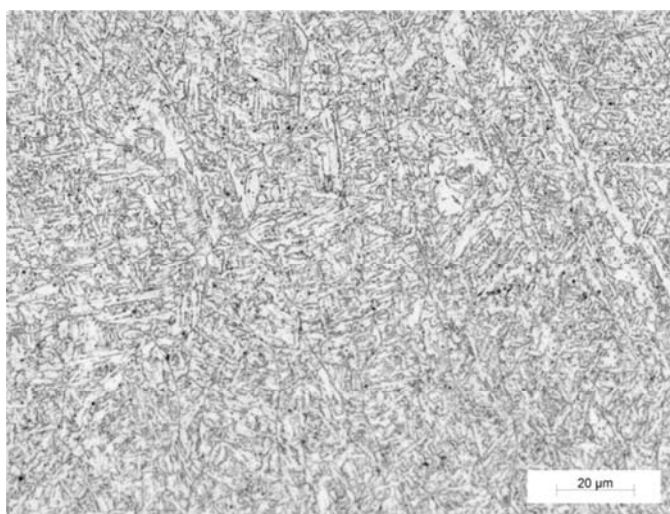


Figure 8. Microstructure in the weld metal, magnification 500 times

Slika 8. Mikrostruktura metala šava, uvećanje 500 puta

Microstructure in the HAZ is shown on the Figure 9. As seen, the microstructure in this region is martensitic. Due to the effect of heat input also

grain coarsening was observed. The largest grains with the diameter up to 100 µm were observed close to the fusion line.

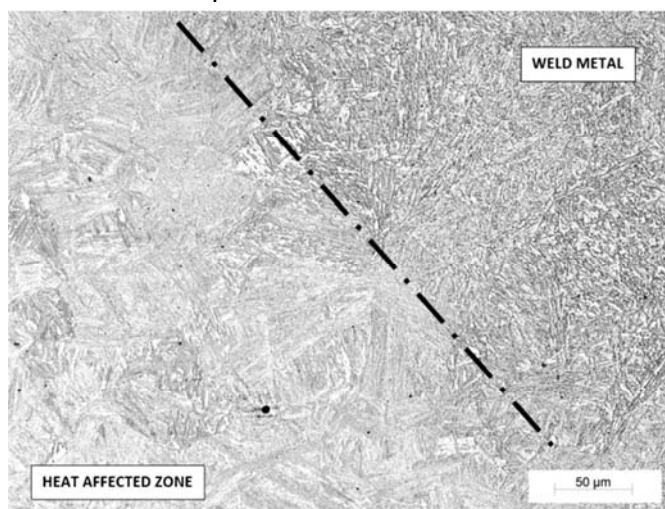


Figure 9. Microstructure in the HAZ near the fusion line (dashed line), magnification 200 times

Slika 9. Mikrostruktura ZUTa u blizini linije topljenja (isprekidana linija), uvećanje 200 puta



4. Conclusion

With this experimental work the mechanical properties of the welded joint made from SIMAXX 1100QL steel were analysed. Tensile testing showed that due to the under matching in mechanical properties the joint efficiency factor is 0,87. Additionally, it was observed that hardness across the weld joint is in safe region, approximately 30 HV under the limit defined by EN ISO 15614-1. Impact toughness in the weld metal and in the HAZ of the joint completely fulfils

requirement of international standard. As seen from this experimental work the tensile testing is the only test in which testing of the welded joint failed. Yield strength measured on the BW joint was lower as specified for base metal steel. Due to the under matching in mechanical properties the requirements of the welded joints made from S1100QL steel should be defined separately as an annex of the next edition of the standard EN ISO 15614-1. The minimum value of joint efficiency factor should therefore be specified.

References / Literatura

- [1] J. Nowak, A. Seek, P. Matkovski, Archives of Civil and Mechanical Engineering, 16 (2016), 777-783.
- [2] N. J. Petch, Acta Metallurgica, 34 (1986), 1387-1393.
- [3] S. J. Lee, Y. K. Lee, Materials and Design, 29 (2008), 1840-1844.
- [4] SIJ Acroni d.o.o. Jesenice internal, (2021).
- [5] A. Smolej, Master thesis, University of Ljubljana – Faculty of Mechanical engineering, Slovenija, (2021).
- [6] EN ISO 10025-6 (2019), Hot rolled products of structural steels – Part 6: Technical delivery conditions for flat products of high yield strength structural steels in the quenched and tempered condition.
- [7] ISO/TR 15608 (2013), Welding – Guidelines for metallic materials grouping system.
- [8] EN ISO 15614-1 (2004), Specification and qualification of welding procedures for metallic materials – Welding procedure test – Part1: Arc and gas welding of steels and arc welding of nickel and nickel alloys.
- [9] SIJ Acroni d.o.o. Jesenice, Internal catalogue of chemical compositions and mechanical properties.
- [10] SSAB, available on <https://www.ssab.com/products/brands/strenx/products/strenx-1100>
- [11] VOEST ALPINE, available on <https://www.voestalpine.com/alform/Produkte/x-treme>
- [12] DILLIGNER, available on <https://www.dillinger.de/d/en/products/proprietary-steels/dillimax/>
- [13] THYSSENKRUPP, available on <https://www.thyssenkrupp-steel.com/en/products/heavy-plate/structural-steel/n-a-xtraxabo/n-a-xtraxabo.html>
- [14] INDUSTEEL, available on <https://industeel.arcelormittal.com/wp-content/uploads/2021/03/Steels-solutions-for-high-strength-applications-1.pdf>
- [15] EN ISO 9016 (2012), Destructive tests on welds in metallic materials – Impact test – Test specimen location, notch orientation and examination.
- [16] EN ISO 9015-1 (2012), Destructive tests on welds in metallic materials – Hardness testing – Part 1: Hardness test on arc welded joints.



Mijat Samardžić^{1a}, Tihomir Marsenić^{1b}, Arijan Herceg^{1c}, Dejan Marić^{2d}, Božo Despotović^{3e}

WELDING, CONTROL AND REPAIR OF MEMBRANE WELDS

ZAVARIVANJE, KONTROLA I POPRAVKA MEMBRANSKIH VAROVA

Stručni rad / Professional paper

Rad je u izvornom obliku objavljen u Zborniku sa 31. Savetovanja sa međunarodnim učešćem "Zavarivanje 2020" održanog u Kladovu 13-16. Oktobra 2021

Rad primljen / Paper received:

Septembar 2021.

Prevod izvornog rada na srpski jezik: Z. Ođanović

Adresa autora / Author's address:

¹ Đuro Đaković Termoenergetska postrojenja d.o.o. ; Dr. Mile Budaka 1

² University in Slavonski Brod, Mechanical engineering faculty in Slavonski Brod; Trg Ivane Brlić Mažuranić 2

³ Društvo za tehniku zavarivanja Slavonski Brod; Trg Ivane Brlić Mažuranić 2

^a mijat.samardzic@ddtep.hr,

^b tihomir.marsenic@ddtep.hr,

^c arijan.herceg@ddtep.hr,

^d dmaric@unisb.hr,

^e despotovic.bozo@gmail.com

Keywords: Membrane welding, examination of membrane weld joint, membrane weld defects

Ključne reči: Zavarivanje membranskih zidova, ispitivanje membranskih zavora, greške na membranskim zavarima

Abstract

The paper describes design, production and inspection of membrane welds according to EN 12952-5 [1]. Stated procedures and technologies are based on water tube boiler manufacturing in the company ĐĐ Termoenergetska postrojenja d.o.o. Paper gives the overview of the standard manufacturing process: welding technology, marking and identification of welds, quality inspection and testing, macro and micro structure and hardness of welds. Presented testing results are used to show direct correlation between proper implementation of specified manufacturing process and achieved quality of welding.

1. Introduction

Parts of waste incineration plants are exposed to aggressive media that result from waste combustion. Waste incineration boilers operate at a pressure of 40 bars and steam temperature of 400°C, due to which they are at risk of corrosion caused by high-temperature. Development of corrosion and decay of material measured in millimeters per each year of exploitation increase along with increasing of operating conditions [1-2]. The most commonly used steels in boiler construction are 0.5CrMoV, 2.25Cr1Mo, 1CrMoV, X12, 304, 316, P91, P92, 304 H, P22, 13CrMo4-5 and 16Mo3. Therefore, samples were prepared by cutting segments from the membrane wall made

Rezime

U radu je opisan dizajn, izrada i ispitivanje membranskih zavarenih spojeva prema standardu EN 12952-5 [1]. Navedeni postupci i tehnologije temelje se na proizvodnji kotlova u kompaniji ĐĐ Termoenergetska postrojenja d.o.o. U radu se daje pregled standardnog proizvodnog procesa: tehnologija zavarivanja, označavanje i identifikacija zavarenih spojeva, pregled i ispitivanje kvaliteta, makro i mikro struktura, kao i tvrdoća zavarenih spojeva. Prikazani rezultati ispitivanja imaju za cilj prikazivanje izravne korelacije između pravilno izvedenog određenog proizvodnog procesa i postignutog kvaliteta zavarivanja.

from two pipe and strip positions as shown in Figure 1, and the tube and strip were made from

1. Uvod

Delovi postrojenja za spaljivanje otpada izloženi su agresivnim medijima koji nastaju sagorevanjem otpada. Kotlovi za spaljivanje otpada rade na pritisku od 40 bara i temperaturi pare od 400°C, zbog čega su izloženi riziku od korozije izazvane visokim temperaturama. Razvoj korozije i propadanje materijala mereno u milimetrima po svakoj godini eksploatacije raste sa povećanjem uslova rada [1-2]. U konstrukciji kotlova najčešće se koriste čelici 0,5CrMoV, 2,25Cr1Mo, 1CrMoV, X12, 304, 316, P91, P92, 304 H, P22, 13CrMo4-5 i 16Mo3. Zbog toga su uzorci za ispitivanja pripremljeni odsecanjem segmenata sa zida



membrane napravljenih od dve pozicije cevi i trake kao što je prikazano na slici 1, a cev i traka su napravljeni od osnovnog materijala, od čelika 16Mo3 steel base material (W. Nr. 1.5415). Welding by submerged arc welding (SA) is performed. Membrane walls are usually made of 16Mo3 low-carbon steel. [3-5].

The aim of this paper is to describe how membrane welds are welded and repaired, including:

- Mechanized submerged arc welding with wire electrode of membrane walls,
- Repairs of welds on membrane walls by manual arc welding,
- Control and review of welds according to the norm,
- Testing of welds according to the prescribed norm.

The most common standard used in membrane welding is EN 12952-5 [6].

2. Membrane welding proces

The welding technologist prescribes welding technology in WHTP (Welding, Heat Treatment and Testing Plan) and WPS (Welding Procedure Specification). The process manager in the field of membrane welding should provide the necessary documentation for the execution of the welding process and fill in the welding protocols. The head of membrane welding is the responsible person for monitoring the welding process. In case of deviation, the manager is obliged to stop the welding process and informs the welding technique service about it. [7]

Welding staff consists of: welders, welding operators on the machine and an auxiliary operator who must have valid certificates approved by the body in charge of the production of the certificate, and must comply with all technological measures prescribed by the welding technologist in the WPS.

2.1. Method of welding and control of membrane welds

Before starting welding membrane walls, it is necessary to weld a working test to check the welding parameters and the quality of the welded joint. The working test is performed per machine. The dimensions of the working test are a minimum of two tubes with a length of 1m, unless specified otherwise by the specification provided by the customer.

A working trial is done in case of:

- When we have a change in tube or fin material

16Mo3 (V. Nr. 1.5415). Zavarivanje se izvodi postupkom zavarivanja pod praškom (EPP). Membranski zidovi su obično napravljeni od čelika sa niskim sadržajem ugljenika 16Mo3. [3-5].

Cilj ovog rada je da opiše kako se membrane zavaruju i popravljaju, uključujući:

- Mehanizovano zavarivanje zidova membrane postupkom pod praškom (EPP),
- Popravke zavarenih spojeva na zidovima membrane ručnim elektrolučnim zavarivanjem,
- Kontrolu i pregled zavarenih spojeva prema standardima,
- Ispitivanje zavarenih spojeva prema propisanim standardima.

Najčešći standard koji se koristi u membranskom zavarivanju je EN 12952-5 [6].

2. Postupci membranskog zavarivanja

Tehnolog zavarivanja propisuje tehnologiju zavarivanja u WHTP (plan zavarivanja, termičku obradu i ispitivanja) i WPS (specifikacija postupka zavarivanja). Rukovodilac procesa u oblasti membranskog zavarivanja treba da obezbedi potrebnu dokumentaciju za izvođenje procesa zavarivanja i popuni protokole zavarivanja. Rukovodilac membranskog zavarivanja je odgovorno lice za praćenje procesa zavarivanja. U slučaju odstupanja, rukovodilac je dužan da prekine proces zavarivanja i o tome obavesti službu tehnike zavarivanja. [7]

Osoblje za zavarivanja čine: zavarivači, operateri zavarivanja i pomoćni rukovalac, koji moraju da imaju važeće sertifikate odobrene od strane sertifikacionog tela za sertifikaciju zavarivača, i moraju da poštuju sve tehnološke mere koje propisuje tehnolog zavarivanja u WPS-u.

- Change the dimension of a joint

2.1. Način zavarivanja i kontrola membranskih varova

Pre početka zavarivanja membranskih zidova potrebno je zavariti radnu probu kako bi se proverili parametri zavarivanja i kvalitet zavarenog spoja. Ispitivanje radne probe se vrši po mašini za zavarivanje. Dimenzije radne probe su najmanje dve cevi dužine 1m, osim ako nije drugačije određeno specifikacijom koju daje naručilac.

Radni test - proba se radi u slučaju:



- Kada je promenjen materijal cevi ili trake,
- Promene dimenziju spoja.

The method of control of the working rehearsal is a visual control that is carried out 100%, and the control of the macro cross section of the two tubes where the so-called "glasses" are made. After the work rehearsal control, the work rehearsal is certified by the controller and the manager of the membrane welding. In the case that the working trial does not meet the test criteria, it should be re-welded. The work rehearsal is checked by a qualified VT Level 2 person in front of the quality assurance service. The controller is obliged to inform QA/QC quality engineers and welding technologists about the results of the working rehearsal. If the results of the working rehearsal are acceptable welding of joints on the membrane walls can begin.

Welding of membrane welds is carried out in accordance with the WPS prescribed by the welding technologist. During welding, the welding operator monitors the process and welding parameters prescribed in WPS. The operator is obliged to check whether the geometry and quality of the weld is acceptable. If a welding error or deviations related to the geometry of the weld occur during the welding process, the operator is obliged to mark them with chalk. The operator controls the position of the tape with a depth meter or stencil, which must be moderate. With a moving scale, the operator checks the width of the default step.

In case of fatal defects such as contact conductor contamination and tube failure, the welding operator is obliged to mark them with a red felt tip pen and notify the welding manager. In case

3. Membrane weld errors

All errors on membrane welds are repaired by manual TIG procedure in accordance with the prescribed WPS. Type of errors and method of repair:

- Cracks - not allowed. If they appear, they will be removed by grinding. Test with a surface method of 100%, and weld according to the prescribed WPS.
- Vertebrae of molten metal – will be removed in case of a larger number of droplets, and individual drops of pristine can be allowed.
- Errors caused by contact conduit contamination will be inspected by the controller who will open a notification of deviations for each such error.

of such errors, the control engineer is obliged to open the NCR- Nonconformity report.

Način kontrole radne probe je vizuelna kontrola koja se vrši 100% i kontrola makro preseka dve cevi. Nakon kontrole radne probe, radnu probu overavaju kontrolor i rukovodilac membranskog zavarivanja. U slučaju da radna proba ne ispunjava kriterijume prihvatljivosti, treba ga ponovo zavariti. Radnu probu proverava kvalifikovana osoba VT nivoa 2, ispred službe za osiguranje kvaliteta. O rezultatima radne probe kontrolor je dužan da obavesti QA/QC inženjere kvaliteta i tehnologe zavarivanja. Ako su rezultati radne probe prihvatljivi, može se pristupiti zavarivanju spojeva na zidovima membrane.

Zavarivanje membranskih varova vrši se u skladu sa propisanim WPS koje propisuje tehnolog zavarivanja. Tokom zavarivanja, operater zavarivanja prati proces i parametre zavarivanja propisane u WPS. Operater je dužan da proveri da li su geometrija i kvalitet zavarenog spoja prihvatljivi. Ukoliko u toku procesa zavarivanja dođe do greške u zavarivanju ili odstupanja u vezi sa geometrijom šava, rukovalac je dužan da ih označi kredom. Operater kontroliše položaj trake pomoću dubinmera ili šablona, koji mora biti proveren. Sa pokretnom skalom, operater proverava širinu podrazumevanog koraka.

U slučaju fatalnih grešaka kao što su kontaminacija kontaktnog provodnika i lom cevi, operater zavarivanja je dužan da ih obeleži crvenim flomasterom i obavesti rukovodioca zavarivanja. U slučaju ovakvih grešaka, inženjer odgovoran za kontrolisanje je dužan da sačini NCR-Izveštaj o neusaglašenosti.

- Tube failure - not allowed. In the case of a failed tube, a Nonconformity report is opened.

3. Greške membranskog zavarivanja

Sve greške na membranskim zavarenim spojevima popravljaju se ručnim TIG postupkom u skladu sa propisanim WPS-om. Tip greške i način popravke:

- Prsline - nije dozvoljeno. Ako se pojave, uklanjaju se brušenjem. Ispituju se površinskim metodama 100% i zavaruju se prema propisanom WPS.
- Nalepci od rastopljenog metala – uklanjaju se u slučaju većeg broja kapljica, a mogu se dozvoliti pojedinačne kapi.



- Greške uzrokovane kontaminacijom kontaktnih vodova pregleda kontrolor koji svaku takvu grešku prijavljuje obaveštenjem o odstupanjima.

- Graying out – the maximum allowed weld depth with a smooth transitional one is 0.5 mm. For higher depths, they are repaired by grinding or/and welding according to WPS.

- Surface porosities – dimensionally smaller pores (with a diameter of less than 3 mm) can be repaired without grinding. When the pores are larger in size or formed in the form of a nest it will be removed by grinding and welded according to WPS.

- Slag ports - not allowed and will be removed by grinding. When the overheating of the membrane weld is insufficient, the irregularity will be fixed by subsequent welding.

- Shear of the fin - linear and angular to the images below:

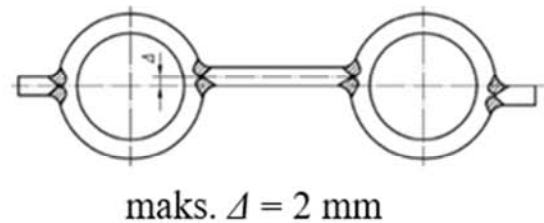
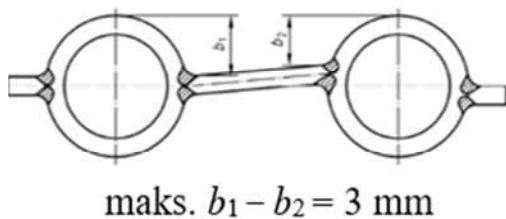


Figure 1. Shear fin

Slika 1. Smicanje traka

When the linear or angular shear of the fin is larger than the permissible fin will be carefully cut off and removed. Cutting the fin is carried out with a grinder with a cutting plate. During cutting, the cutting plate should be directed to the fin so that it does not damage the tube. The prepared fin is inserted into the membrane wall and welded according to the specified WPS. The form of the welding joint is K. After welding, the joint is tested using the surface method.

Visual inspection is performed by welding staff on membrane welding, and is given by VT Level 2. Also, 10% of repaired welds will be tested using the surface method (PT or MT). Specific test requirements (e.g. endoscopic or surface methods) may be carried out as appropriate or if requested according to the customer's technical specification. If when grinding or eliminating an error, the thickness of the tube is less than 3 mm, then it is necessary to replace at the tube with a new inserted pipe with a length of at least 500 mm. [8]. Cutting by thermal methods (e.g. gas) to remove tubes or fin is not allowed.

- Lom cevi - nije dozvoljeno. U slučaju neispravne cevi sačinjava se izveštaj o neusaglašenosti.

- Sivilo – maksimalna dozvoljena dubina zavara sa glatkim prelaznim je 0,5 mm. Veće dubine popravljaju se brušenjem i/ili zavarivanjem prema WPS.

- Poroznosti površine – dimenzionalno manje pore (prečnika manjeg od 3 mm) mogu se popraviti bez brušenja. Kada su pore veće ili formirane u obliku gnezda, one se uklanjaju brušenjem i zavaruju prema WPS.

- Uključci šljake - nisu dozvoljeni i uklanjaju se brušenjem. Kada je predgrevanje membranskog zavarenog spoja nedovoljno, nepravilnost se popravljiva naknadnim zavarivanjem.

- Smicanje traka - linearno i ugao prema slikama ispod:

Kada je linearno ili ugaono smicanje traka veća od dozvoljenog, pažljivo se odseca i uklanja. Rezanje traka se vrši brusilicom sa pločom za sečenje. Tokom sečenja, reznju ploču treba usmeriti ka traci kako se ne bi oštetila cev. Pripremljena traka se ubacuje u zid membrane i zavaruje prema navedenom WPS-u. Oblik zavarenog spoja je K. Nakon zavarivanja spoj se ispituje nekom površinskom metodom.

Vizuelnuo ispitivanje vrši zavarivačko osoblje na membranskom varu, koje poseduje sertifikat za vizuelno ispitivanje nivoa 2. Takođe, 10% popravljenih zavarenih spojeva se ispituje površinskim metodama (PT ili MT). Specifični zahtevi za ispitivanje (npr. endoskopske ili površinske metode) mogu da se sprovedu prema potrebi ili ako se to zahteva i mogu se izvršiti u skladu sa tehničkom specifikacijom kupca. Ako je prilikom brušenja ili otklanjanja greške debljina cevi manja od 3 mm, onda je potrebno zameniti cev sa ponovo umetnutom cevi dužine od najmanje 500



mm. [8]. Sečenje termičkim metodama (npr. gasom) za uklanjanje cevi ili traka nije dozvoljeno.

4. Marking weld

The operator is obliged to mark with a stamp welded joints by stamping the mark in the strip area on the points of view. A welder performing error repairs to welded joints stamps right next to the remediation site or at the beginning and end of separation in case of errors in a series (e.g. porosity).

5. Checking the quality of membrane welding

The methods (technologies) of quality testing and their extensive will depend on the basis of the product construction standards. In the case of membrane welding of water boiler panels according to EN, the necessary tests are determined by standard EN ISO 12952-6 [9], Table 9.1-3:

- All welds: VT 100%,
- Welds between tube and fin when making panels: limited to VT 100%,
- Additional welds between the tube and the fin and between the fin and din that do not include the primary panel construction: VT 100% and PT/MT 10%
- Additional requirements that are not based on the standard but may be a customer requirement: RT lane weld test - fin or fin/tube.

The VT test shall be carried out in accordance with standard EN ISO 17637 [10], and the eligibility criterion EN ISO 12952-6 [9], t9.3-1, EN ISO 12952-5 TC.1 annex C. In accordance with the standard, the test must also be carried out in accordance with the written test instruction. All welds regardless of additional testing methods must be tested VT 100%. In general, VT testing can be carried out before, during and after welding, with the standard practice being to conduct the test before and after the welding process.

In order to facilitate the implementation of the test, it is advisable to use the following aids: a measuring tape (meter) with a calibration of 1 mm, a magnifying glass with a scale (the possibility of increasing x5), and a manual lamp.

For surface indication detection, standard EN ISO 12952-6 [9] allows for a choice between penetrant (PT) and magnetic particle (MT) tests. It is recommended to use MT testing (Table 9.1-3) while penetration testing is not excluded if it is a

group of materials 1 and does not have access to MT testing equipment. The standard practice in the facilities of ĐĐ Termoenergetska postrojenja d.o.o. is to conduct a PT test in accordance with HRN EN

4. Označavanje zavarenog spoja

Operater je dužan da pečatom označi zavarene spojeve utiskivanjem oznake u zoni trake na vidnom mestu. Zavarivač koji vrši popravke grešaka na zavarenim spojevima označava pečatom neposredno pored mesta sanacije ili na početku i na kraju popravke u slučaju grešaka u nizu (npr. poroznost).

5. Provera kvaliteta zavarivanja membrane

Metode (tehnologije) ispitivanja kvaliteta i njihov obim, zavise od standarda na osnovu kojeg je proizvod konstruisan. U slučaju membranskog zavarivanja panela kotlova za vodu prema EN, neophodna ispitivanja su određena standardom EN ISO 12952-6 [9], tabela 9.1-3:

- Svi zavareni spojevi: VT 100%,
- Zavareni spojevi između cevi i rebra pri izradi panela: ograničeno na VT 100%,
- Dodatni zavareni spojevi između cevi i rebra i između rebra koji ne obuhvataju primarnu konstrukciju panela: VT 100% i PT/MT 10%
- Dodatni zahtevi koji nisu zasnovani na standardu, ali mogu biti zahtevi kupca: RT ispitivanje zavarenih traka ili traka i cevi.

VT ispitivanja se sprovode u skladu sa standardom EN ISO 17637 [10], i kriterijumom prihvatljivosti EN ISO 12952-6 [9], t9.3-1, EN ISO 12952-5 TC.1 aneksom C. U skladu sa standardom, ispitivanje mora biti sprovedeno u skladu sa pisanim uputstvom za ispitivanje. Svi zavareni spojevi bez obzira na dodatne metode ispitivanja moraju biti ispitani VT 100%. Uopšteno govoreći, VT ispitivanje se može sprovesti pre, tokom i posle zavarivanja, sa standardnom praksom da se ispitivanje sprovede pre i posle procesa zavarivanja.

Da bi se olakšalo sprovođenje ispitivanja, preporučljivo je koristiti sledeća pomagala: mernu traku (metar) kalibracije 1 mm, lupu sa skalom (mogućnost povećanja x5) i ručnu lampu .

Za detekciju površinskih indikacija, standard EN ISO 12952-6 [9] omogućava izbor između ispitivanja penetrantima (PT) i ispitivanja magnetnim česticama (MT). Preporučuje se korišćenje MT ispitivanja (Tabela 9.1-3) dok ispitivanje penetrantima nije isključeno ako se radi



o grupi materijala 1 i ako nema opreme za MT ispitivanje. Standardna praksa u objektima ĐD Termoenergetska postrojenja d.o.o. je sprovođenje PT ispitivanje u skladu sa HRN EN ISO 3452-1 [11] ISO 3452-1 [11] and a written instruction for penetrant testing. The eligibility criterion is determined by HRN EN ISO 23277/AL2X standard [12].

The equipment used to conduct the test is:

- Colored fluorescent penetrant for double application (type III),
- Solvent-based cleaner (method E) for cleaning excess penetrants,
- Solvent-based developer (type d) to develop indications [7]

It is necessary to take care that only one test kit, i.e. one test kit, is used during the test. It is not allowed to combine penetrant, cleaner and developer of different manufacturers. The test temperature shall be controlled regularly and shall not exceed 20°C, while the illumination of the room at all times must be at least 500 Lx. The concept of test temperature refers to the workplace temperature and temperature of the test piece, since both elements have a significant impact on the results of the test carried out.

With VT testing, which always represents the first step when assessing the quality of membrane welding. The choice of testing method will depend on the quality (group) of the material being welded and on the possibility or not, of the possibility of using some test technology due to limited space.

The buyer of the boiler plant may in special cases require the testing of strips-tapes or strips/pipes of welded joints by radiographic method, but this represents a requirement outside the norm that is relatively difficult to implement. From all of the above, it can be concluded that it is necessary to ensure that the methods of non-destructive tests overlap are appropriately overlapping in order to achieve the desired results. The quality of preparation for the selected welding technology, dimensional accuracy and accuracy of the form will be checked by VT testing before and after welding. Possible surface indications that may arise as a result of high heat intake during welding, or during cooling of a welded joint, should be detected by VT or penetrant testing. In accordance with HRN EN ISO 12952-6 [9], the test may be carried out by a Grade 1 operator certified under HRN EN ISO 9712 [13], while in order to assess

acceptable and unacceptable indications, this must be a level 2 tester in the appropriate method.

i pisanim uputstvom za ispitivanje penetrantima. Kriterijum prihvatljivosti određen je standardom HRN EN ISO 23277/AL2X [12].

Oprema koja se koristi za sprovođenje ispitivanja je:

- Obojeni fluorescentni penetrant za dvostruku primenu (tip III),
- Sredstvo za čišćenje na bazi rastvarača (metoda E) za čišćenje viška penetranta,
- Razvijlač na bazi rastvarača (tip d) za razvoj indikacija [7]

Neophodno je voditi računa da se tokom ispitivanja koristi samo jedan test komplet, odnosno jedan komplet za testiranje. Nije dozvoljeno kombinovati penetrante, čistač i razvijlač različitih proizvođača. Temperatura ispitivanja se redovno kontroluje i ne sme da prelazi 20°C, dok osvetljenost prostorije u svakom trenutku mora biti najmanje 500 Lx. Koncept temperature ispitivanja odnosi se na temperaturu radnog mesta i temperaturu ispitnog komada, pošto oba elementa imaju značajan uticaj na rezultate sprovedenog ispitivanja.

VT ispitivanje, uvek predstavlja prvi korak pri proceni kvaliteta membranskog zavarivanja. Izbor metode ispitivanja zavisi od kvaliteta (grupe) materijala koji se zavaruje i od mogućnosti/nemogućnosti korišćenja neke tehnologije ispitivanja zbog ograničenog prostora.

Kupac kotlovskeg postrojenja može u posebnim slučajevima zahtevati ispitivanje zavarenih spojeva traka/traka ili traka/cev radiografskom metodom, ali to predstavlja zahtev van norme koji je relativno teško sprovesti. Iz svega navedenog može se zaključiti da je neophodno obezbediti da se metode ispitivanja bez razaranja preklapaju na odgovarajući način, kako bi se postigli željeni rezultati. Kvalitet pripreme za izabranu tehnologiju zavarivanja, tačnost dimenzija i tačnost forme proverava se VT ispitivanjem pre i posle zavarivanja. Moguće površinske indikacije koje mogu nastati kao rezultat velikog unosa toplote tokom zavarivanja, ili tokom hlađenja zavarenog spoja, treba da se otkriju VT ili penetrantskim ispitivanjem. U skladu sa HRN EN ISO 12952-6 [9], ispitivanje može da obavlja operater nivoa 1 sertifikovan prema HRN EN ISO 9712 [13], dok procenu prihvatljivih i neprihvatljivih indikacija mora obavljati ispitivač nivoa 2 za odgovarajuću metodu.



given on the face of 2. The results are shown in Table 1.

6. Sample testing

Sample testing was included: macrostructures, hardness, microstructures and dimension control. The category forms was 1223RP.

Base materials were:

- Tube: P265GH, ϕ 38 x 4 mm.
- Fin: 16Mo3, t=6mm.

Additional materials were:

- BÖHLER DMO-IG, ϕ 2,4 mm – welding wire for TIG
- Lincoln 780FG – welding flux
- Bavaria SchweissT.- BA-S2Mo ϕ 2 mm - wire for SA welding

Applied test standards were: EN 15614-1: 2004. + A2: 2012; EN 12952-5: 2011; EN 17659: 2004.

6.1. Test results

On the submitted samples 1223RP-1 i 1223RP-2, a macrostructure of the welded compound was tested. The samples are free of anomalies such as microcrucies, cracks and similarly. The HV 10 hardness was also measured on the sample marked 1223RP-1. On the same samples, a dimensional control of the weld was performed as

Table 1. Dimensional control results

Tabella 1. Risultati dimensione kontrole

Sample/ Uzorak	1223RP-1			1223RP-2		
	Dim. 13 / mm	Dim. 14 / mm	e_r / mm	Dim. 13 / mm	Dim. 14 / mm	e_r / mm
1223RP-1A	2,51	2,33	2,87	2,69	2,41	2,49
1223RP-1B	2,11	2,27	2,87	3,09	2,55	3,13
1223RP-2A	2,41	2,24	2,76	2,45	2,27	2,59
1223RP-2B	2,07	2,29	2,89	2,54	2,54	3,02

6. Ispitivanje uzoraka

Ispitivanje uzoraka obuhvatalo je: makrostrukturu, tvrdoću, mikrostrukturu i kontrolu dimenzija. Uzorci su bili kategorije 1223RP.

Osnovni materijal bio je:

- Cev: P265GH, ϕ 38 x 4 mm.
- Traka: 16Mo3, t=6mm.

Dodatni materijal bio je:

- BOHLER DMO-IG, ϕ 2,4 mm – žica za zavarivanje za TIG
- Lincoln 780FG – fluks za zavarivanje
- Bavaria SchweissT.- BA-S2Mo ϕ 2 mm - žica za EPP zavarivanje

Primenjeni standardi za ispitivanja: EN 15614-1: 2004. + A2: 2012; EN 12952-5: 2011; EN 17659: 2004.

6.1. Rezultati ispitivanja

Na dostavljenim uzorcima 1223RP-1 i 1223RP-2 ispitana je makrostruktura. Uzorci su bez grešaka kao što su mikroprslina, prslina i slično. Tvrdoća HV 10 takođe je merena na uzorku sa oznakom 1223RP-1. Na istim uzorcima je izvršena kontrola dimenzija zavarenog spoja kao što je dato na strani 2. Rezultati su prikazani u Tabeli 1.

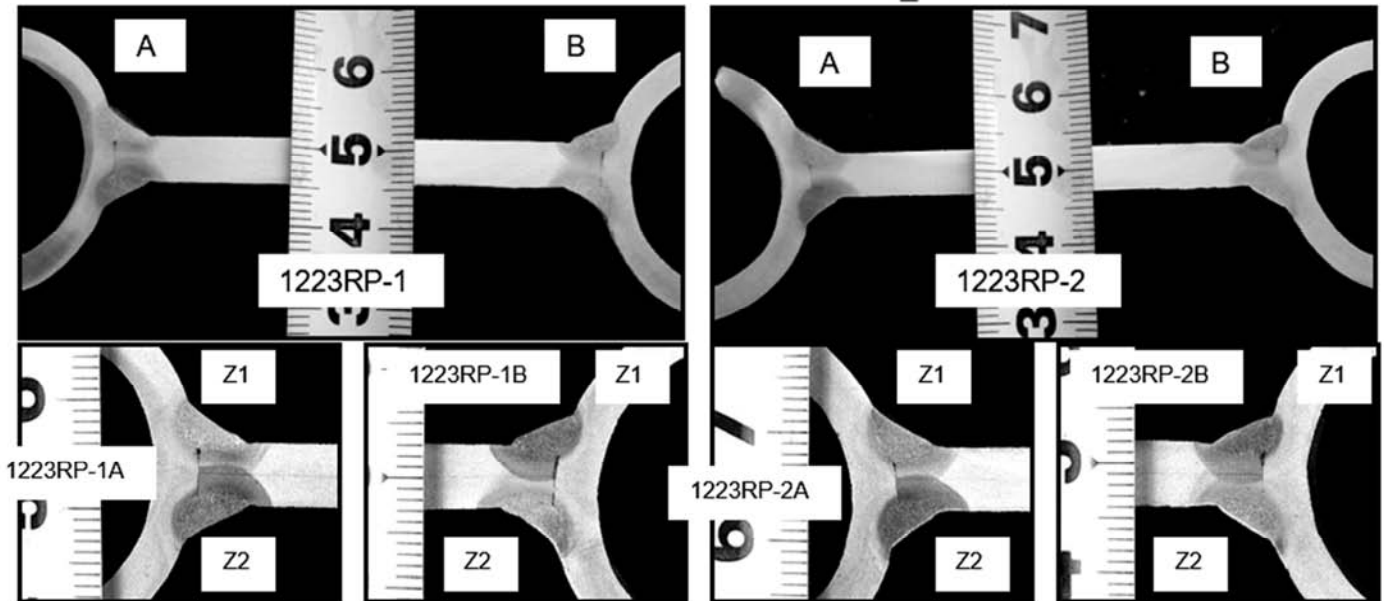
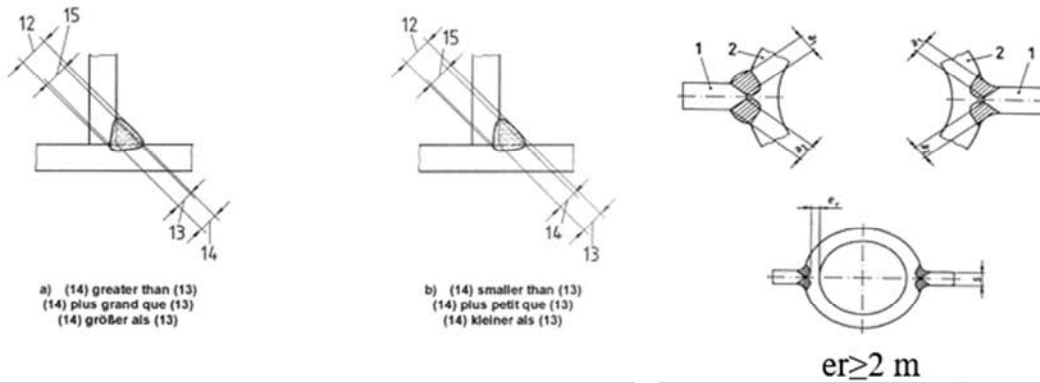


Figure 2. Dimensional Control

Slika 2. Dimeziona kontrola

Hardness was tested with HV10 and results are shown in Figure 3.

Tvrdoća je ispitivana sa HV10 i rezultati su prikazani na slici 3.

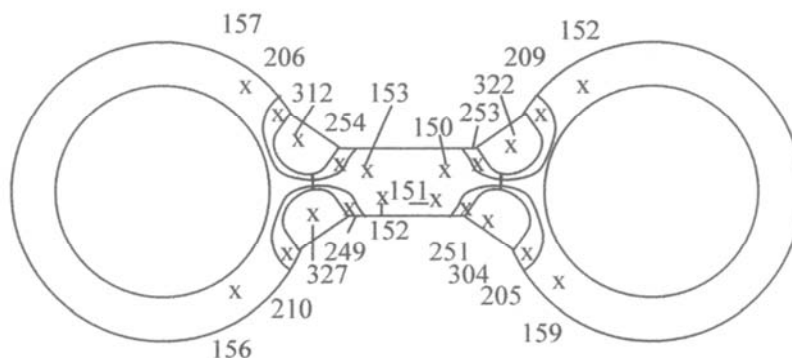


Figure 3. Hardness test results

Slika 3. Rezultati ispitivanja tvrdoće

Figure 4 to Figure 5 present the P265GH carbon steel microstructure characterized by an equiaxed structure of mid-sized grains of 4–11 and 10–20 μm for pearlite and ferrite.

Na slikama 4 do 5 prikazana je mikrostruktura ugljeničnog čelika P265GH koju karakteriše ravnoosna struktura sa zrnima srednje veličine od 4–11 i 10–20 μm za perlit i ferit.

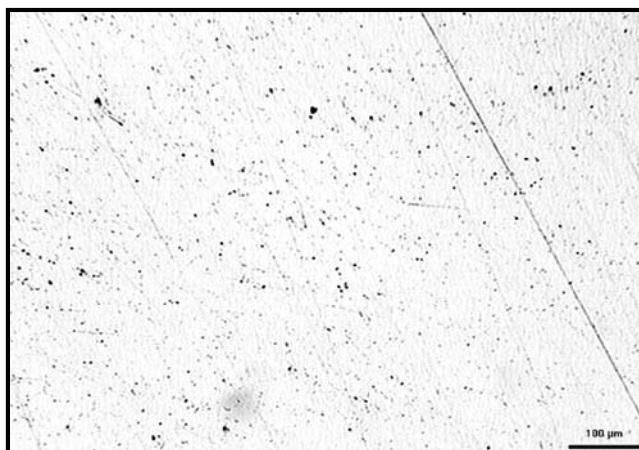


Figure 4. Evaluation of metallurgical purity of base material P265GH: inclusions of type ED, oxides of globular - type - light series no. 5 according to EN 10247

Slika 4. Ocena metalurške čistoće osnovnog materijala P265GH: uključci tipa ED, globularni oksidi – tip- svetli serija br. 5 u skladu sa standardom EN 10247

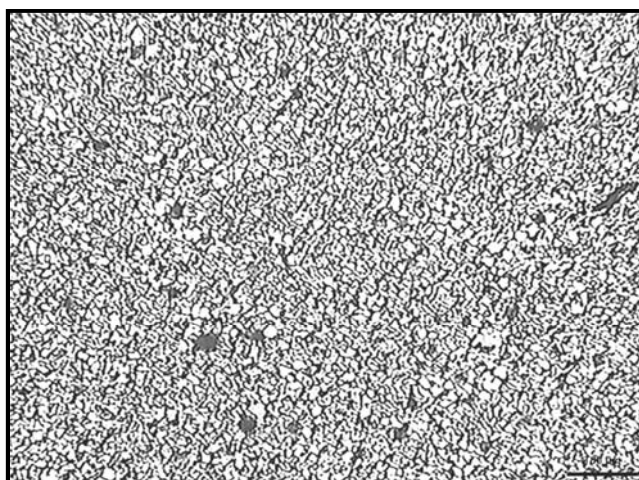


Figure 5. Microstructure of base material P265GH. The structure is ferritic-perlite, average grain size 10 according to EN ISO 643. Etching in Nital 3%

Slika 5. Mikrostruktura osnovnog materijala P265GH. Struktura je feritno – perlitna, srednja veličina zrna je 10 prema standardu EN ISO 643. Nagrizanje u Nitalu 3%.

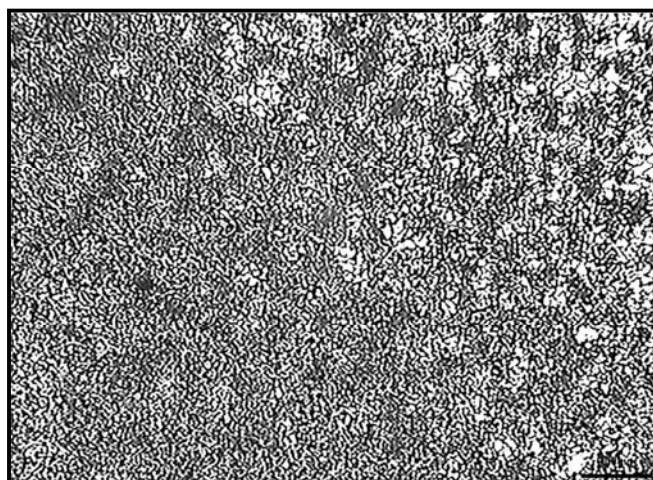


Figure 6. Microstructure of the heat affected zone, fine-grained, ferritic-perlite, without anomalies. Etching in Nital 3%

Slika 6. Mikrostruktura zone uticaja toplote, fino zrnasta, ferit – perlit, bez grešaka. Nagrizanje u Nitalu 3%.



7. Conclusion

In order to achieve the desired quality of membrane welding, and therefore to achieve the desired function of the boiler plant, it is necessary to define the production process in accordance with EN 12952-5 [6]. By the term production process means welding technology and technology of testing the quality of a welded joint. The technology of welding, except for the procedure itself, includes preparation for welding, marking of welds, definition of obligations and responsibilities of all participants in the procedure.

The technology of testing the quality of the welded joint includes all those procedures aimed at checking whether the welded joint meets the defined criteria. The boiler plant is exposed to the action of high pressures and temperatures, which places special requirements on welding technology. Likewise, the quality of the thermodynamic process of heat transfer from combustion gases to water will depend on the success of membrane welding. From all of the above, it is clear that the success of membrane welding will depend on the quality application of standard EN 12952-5 [6] and compliance with the prescribed parameters by welding technologists. Under quality application, planning, preparation, execution and supervision of production in accordance with the standard are considered. The production process defined and managed in this way is not easy, but it has no alternative in order to achieve a quality finishing product.

References / Literatura

[1] 21' Century Advanced Concept for Waste-Fired Power Plants, (2012), Esbjerg: Babcock & Wilcox Vølund A/S,.

[2] Lee SH, (2009) High Temperature Corrosion Phenomena in Waste to Energy Boilers, New York: Columbia University.

[3] A. Shibli, (2014), Coal Power Plant Materials and Life Assessmen, Cambridg: Elsevier Ltd.,.

[4] A. Findeisen, M. Klatt i H. J. Krautz, (2010), Geochemistry, pp. 193-199.

[5] V. Salopek, (2005), 3. Međunarodno znanstveno-stručno savjetovanje 50. Godina zavarivačke tradicije za budućnost, Slavonski Brod.

[6] EN ISO 12952-5 (2011), *Water-tube boilers and auxiliary installations. Workmanship and construction of pressure parts of the boiler*

[7] Interni tehnološki dokumenti ĐĐ TEP.a

7. Zaključak

U cilju postizanja željenog kvaliteta membranskih zavara, a time i postizanje željenog funkcionisanja kotlovskih postrojenja, neophodno je definisati proizvodni proces u skladu sa standardom EN 12952-5 [6]. Pod pojmom proizvodni proces podrazumeva se tehnologija zavarivanja i tehnologija ispitivanja kvaliteta zavarenih spojeva. Tehnologija zavarivanja, osim samog postupka, obuhvata pripremu za zavarivanje, obeležavanje zavarenih spojeva, definisanje obaveza i odgovornosti svih učesnika u postupku.

Tehnologija ispitivanja kvaliteta zavarenog spoja obuhvata sve one postupke koji imaju za cilj proveru da li zavareni spoj ispunjava definisane kriterijume. Kotlovsko postrojenje je izloženo dejstvu visokih pritisaka i temperatura, što postavlja posebne zahteve za tehnologiju zavarivanja. Isto tako, od uspešnosti membranskog zavarivanja zavisice i kvalitet termodinamičkog procesa prenosa toplote sagorevanja gasova. Iz svega navedenog jasno je da će uspeh membranskog zavarivanja zavisiti od kvalitetne primene standarda EN 12952-5 [6] i poštovanja propisanih parametara od strane tehnologa zavarivanja. Pod kvalitetnom primenom podrazumevaju se planiranje, priprema, izvođenje i nadzor proizvodnje u skladu sa standardima. Ovako definisan i vođen proizvodni proces nije lak, ali nema alternativu, da bi se postigao kvalitetan završni proizvod.

[8] EN 12952 -3 (2012) *Water-tube boilers and auxiliary installations - Part 3: Design and calculation for pressure parts of the boiler*

[9] EN ISO 12952-6, (2011), *Water-tube boilers and auxiliary installations. Inspection during construction, documentation and marking of pressure parts of the boiler*

[10] EN ISO 17637 (2016), *Non-destructive testing of welds. Visual testing of fusion-welded joints*

[11] EN ISO 3452-1 (2013), *Non-destructive testing. Penetrant testing. General principles*

[12] EN ISO 23277 (2015), *Non-destructive testing of welds. Penetrant testing. Acceptance levels.*

[13] EN ISO 9712 (2012), *Non-destructive testing – Qualification and certification of personnel.*



Sertifikaciono telo za sertifikaciju zavarivačkog osoblja Srbije

Nakon mnogo godina dogovaranja o potrebi da u Srbiji imamo svoje telo za sertifikaciju zavarivačkog osoblja, konačno smo ostvarili cilj. **Dakle i zvanično, formalno smo u mogućnosti da izdajemo sertifikate pod okriljem Međunarodnog instituta za zavarivanje, IIW.**

S obzirom da većina naših čitalaca, a i članova nije sasvim upoznata sa tim šta to praktično znači, trebalo bi da za početak objasnimo šta je cilj i šta se time dobija.

Sertifikacija predstavlja pravi dokaz da ste postali „maher u svojoj disciplini“, tj. da ste pored znanja koje je verifikovano diplomom (koja važi doživotno) i radili nešto valjano u nekom periodu i da ste u potpunosti time ovladali. Ako ste radili WPS-ove, učestvovali u pripremi WPQR-ova, bili u nadzoru pri zavarivanju nekih zavarenih konstrukcija ili proizvoda, osvežavali svoja znanja na seminarima, sačinjavali izveštaje o upotrebljivosti zavarenih delova i slično, onda ste Vi ta osoba koja treba da se sertifikuje.

Zašto je to važno? Objasnimo to primerom, imate diplomu ali sticajem okolnosti desetak godina radite u kafiću, a odjednom se javila potreba da ponovo budete u zavarivanju. Izvesno je da ni znanja koja ste imali po sticanju diplome neće biti ista, a iskustvo koje je neophodno za većinu poslova ni ne postoji i samim tim se očekuju problemi pri radu. Dakle, sertifikacija je kao u sportu održavanje kondicije.

Neke druge primedbe poput onih da „to niko ne traži“, svakako nisu opravdane jer možda će to sutra biti neminovni zahtev.

Često smo upoređivali završetak kurseva sa sticanjem vozačke dozvole: to što imate diplomu, odn. dozvolu, ne znači i da ste dobar vozač. A sertifikacija upravo dokazuje da ste i to postigli u određenom, Vašem segmentu.

I još jedan, ne manje važan detalj proistekao iz razgovora sa našim članovima. Bilo je opaski kako je to još jedan namet pored onih koji već postoje, i slično. Sigurno ćete biti razuvereni kada Vas obavestimo da će iznos, odnosno Vaš trošak za sertifikaciju, gledano godišnje, iznositi stotinak eura.

Verujući da ste sada shvatili i razrešili dileme, dozvolite da Vas uputimo u proces sertifikacije osoblja za zavarivanje

Razlika između ispitivanja, kontrolisanja i provere

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

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

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

SERTIFIKACIJA predstavlja atestiranje koje je izvršila treća strana u vezi sa proizvodima, procesima, sistemima ili osobama.

Sertifikacijom se dokazuje da zavarivačko osoblje kontinuirano radi u struci i da kontinuirano unapređuje svoja znanja i sprovodi se prema IIW šemi sertifikacije. Sertifikacijom se takođe dokazuje ispunjavanje uslova standarda SRPS EN ISO 3834-2,3,4 koji propisuje zahteve za osoblje uključeno u obezbeđenje kvaliteta zavarivanja.

EFW i IIW predstavljaju dve glavne organizacije za zavarivanje koje poseduju međunarodnu stručnost u oblasti zavarivanja i srodnim tehnologijama. EFW/IIW struktura sertifikacije osoblja je jednostavno sredstvo kojim se može proceniti i prepoznati sposobnost za obavljanje određenog posla. Ona definiše profil obrazovanja, znanje, iskustvo i odgovornosti koje se zahtevaju za široko područje opšte poznatih zavarivačkih zadataka i daje proceduru profesionalnog ocenjivanja.

Postupak sertifikacije obuhvata:

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



Sertifikat se dodjeljuje za određene tipove proizvoda koji preduzeće – poslodavac proizvodi i koordinator koordinira.

Dakle, sertifikat se odnosi na određene grupe materijala koje zavarujete/ tipove proizvoda koje proizvodite/ postupke zavarivanja kojima se bavite, a za koje dokazujete svoje radno iskustvo/praksu kroz proces sertifikacije, za šta uz sertifikat dobijate i pripadajući dokument sa navedenim obimom odobrenja.)

Za prvu sertifikaciju, potrebno je da prođe 3 godine od datuma sticanja IIW/EFW diplome.

Period važenja sertifikata je 3 godine. Nakon tog vremena sertifikovana osoba je dužna da obnovi sertifikaciju kako bi zadržala status. Podnošenjem Prijave za resertifikaciju započinje proces resertifikacije koji zahteva informacije o aktivnostima sertifikovane osobe tokom predhodne tri godine, kako u pogledu radnog iskustva tako i u pogledu sticanja i primene novih saznanja u oblasti koja je definisana obimom sertifikacije.

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

1. Posedovanje određenog nivoa znanja stečenog u prošlosti

- Dokazuje se posedovanjem odgovarajuće IIW/EFW diplome

2. Rad u struci.

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

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

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

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

1. Popuni prijavni list za sertifikaciju

DUZS-CertPers

PRIJAVA ZA SERTIFIKACIJU OSOBLJA

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

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

Potpis:

Datum:

*dobija se na zahtev u sekretarijatu DUZS-CertPers

2. Dostavi prijavni list - Prijavu za Sertifikaciju (OBR-23), u pisanom obliku, sa svim traženim dokumentima Sekretarijatu DUZS-CertPers.

3. Nakon povratne informacije iz DUZS-CertPers o prihvatanju prijave, obavi „Profesionalni Intervju“ (nije ispit) sa predstavnikom ovlašćenog tela

4. Preuzme sertifikat u DUZS-CertPers. Sertifikovana osoba se mora pridržavati IIW pravila o profesionalnom ponašanju. U slučaju da to ne učini, sertifikat se može opozvati.



ODRŽAVANJE I RAZVOJ ZNANJA ZA SERTIFIKACIJU OSOBLJA

Svaki kandidat mora da dobije najmanje 20 bodova u 2 godine od poslednje tri godine.

Za prvu sertifikaciju, kandidat treba da ima 10 poena prema ovoj tabeli.

1. Aktivnosti zaposlenih	
Funkcija posla odgovornog zavarivanja	2 poena (po godini*)
Koordinacija zavarivanja i praktičan rad (radi na području zavarivanja, ali ne na zavarivanju odgovornog posla), npr. demonstrator	1 poen (po godini*)
2. Dalja edukacija	
Profesionalna postdiplomska obuka	10 poena
Profesionalni sertifikati, kvalifikacije (npr.: kvalifikacija zavarivanja /NDT koja važi u poslednje 3 godine)	3 poena (kvalifikacija)
Dobijanje naučne diplomu (npr.: doktorat)	10 poena
3. Kursevi i obuke sa uverenjem o prisustvu	
Kreditni poeni za seminar / kurs koji organizuje DUZS	5 poena (godišnje)
Međunarodni / nacionalni kurs koji organizuju ATB	5/3/1 poena
Kurs prema odobrenim tematskim oblastima od strane DUZS	2 poena (dnevno)
4. Širenje znanja	
Održavanje povremenih profesionalnih prezentacija	2 poena (po prezentaciji)
Obrazovna aktivnost (teoretska, praktična i ispitivanje)	0,25 poena / po času nastave
Konsultantsko-savetodavne usluge	2 poena / BSc, MSc tema (5 poena / doktorske teme)
Radovi u publikacijama	3 poena (autor), 1,5 (koautor)
Pretplata na stručne časopise iz oblasti zavarivanja i povezane tehnologije	1 pretplata 1 poen godišnje (maksimalno 2 poena godišnje).
5. Konferencije, simpozijumi i izložbe	
Prisustvo na konferenciji međunarodnoj ili zajednički organizovanoj i drugu profesionalnu organizaciju	1 poen (po slučaju, slušalac) 3 poena (po slučaju, izvođač)
Prisustvo na profesionalnim izložbama	1 poen (po slučaju)
6. Prepoznavanje aktivnosti, Rad u komisijama	
Prisustvo u odborima uspostavljenim od strane DUZS itd.	2 boda (po odboru)
Aktivnost u odborima međunarodnih organizacija-EWF, IIW, CEN, ISO i sl.	3 poena (po komitetu)
Prisustvo u međunarodnim i profesionalnim projektima	3 boda (po projektu)
7. Ostalo (svaka prateća aktivnost u kontinuiranom profesionalnom razvoju)	
Knjiga zavarivanja (standardne, profesionalne publikacije, itd.)	10 bodova (u slučaju autora), 5 bodova (u slučaju koautora)
Svaka druga aktivnost koja se profesionalno povezuje sa zavarivanjem ili srodnim tehnologijama	
* Maks. za tri godine (maksimalno 6 i 3 poena), godina podnošenja nije uključena	



IIW PRIJAVA ZA SERTIFIKACIJU OSOBLJA S ODGOVORNOŠĆU KOORDINATORA ZAVARIVANJA

Najvažniji faktor osiguranja kvaliteta zavarivačkih radova je kvalitetno i kontinuirano stručno obrazovano zavarivačko osoblje. Koordinacija zavarivanja i inspekcija u zavarivanju su vrlo zahtevni poslovi, tako da stručnjaci koji su za to zaduženi, moraju poznavati najnovija dostignuća iz struke.

Sertifikacijom se dokazuje da zavarivačko osoblje edukovano prema IAB/EFW programu kontinuirano nadograđuje svoja znanja i aktivno bavi strukom.

Pozivamo vas da to obavite i za početak popunite prijavu.

Ime i prezime:
Naziv firme:
Adresa firme:
E mail:
Školska sprema:
ANB koji je izdao IIW/EFW diplomu:
Prijava za: 1. Sertifikacija prvi put Zaokružiti vrstu prijave ! 2. Obnavljanje sertifikata
Br.IIW/EFW diplome:
<div style="text-align: center;">Radno iskustvo:</div> (navesti br.godina)
Uz prijavu priložiti: - fotokopiju IIW diplome - dokaze o kontinuiranom obrazovanju - fotografiju - ispunjeni obrazac sertifikacija ili obrazac obnavljanje sertifikata <small>*dobija se na zahtev u sekretarijatu DUZS-CertPers</small>
Potpis:
Datum prijave:

Sve informacije u vezi sertifikacije zavarivačkog osoblja u Srbiji možete dobiti u sekretarijatu DUZS-a na broj telefona: + 381 (11) 2420-652



31. SAVETOVANJE SA MEĐUNARODNIM UČEŠĆEM "ZAVARIVANJE 2020"

Bilo je prisutno oko 110 učesnika od čega 35 iz inostaranstva. Od tog broja 38 učesnika je bilo sa radovima iz Srbije i 33 sa radovima iz inostranstva.



Malo atmosfere sa savetovanja

Na Savetovanju je bilo prezentovano 26 radova podeljenih u 4 tematske celine, koje su obuhvatale korisne primere iz prakse, razna rešenja problema, kao i radove iz modeliranja procesa, proračuna napona, pregleda stanja u pojedinim sferama zavarivanja. Sve u svemu za svakoga ponešto. Po tematskim celinama to je izgledalo ovako:

Tema: Konvencionalni i nekonvencionalni postupci zavarivanje, ukupno 14 radova,

Tema: Osnovni, dodatni i pomoćni materijali za zavarivanje, 5 radova,

Tema: Integritet konstrukcija i osiguranje kvaliteta, 4 rada i

Tema Tehnička regulativa, obrazovanje, ekologija i zaštita, 3 rada.

Radovi su bili izloženi u 6 radnih sesija.

Pored radova saradnika iz mašinsko-prerađivačke industrije iz regiona, značajno je učešće i naučno-istraživačkih i razvojno-obrazovnih institucija iz zemlje i inostranstva kao: Inovacioni centar Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu, Institut IMS a.d. Beograd, Institut za varilstvo d.o.o. Slovenija, Institut za zavarivanje d.o.o. Tuzla, BIH, Mašinski fakultet Univerziteta u Nišu, Mašinski fakultet, Univerzitet Crne Gore, Mašinski fakultet, Univerzitet u Banjoj Luci, BIH, Mašinski fakultet, Univerzitet u Sarajevu, BIH, Strojarski fakultet, Sveučilište u Slavonskom Brodu, Hrvatska, Tehnološko metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu, Univerza v Mariboru, Fakulteta za Strojništvo, Slovenija, Univerzitet "Džemal Bijedić" u Mostaru, BIH, Mašinski fakulteta Univerziteta u Skoplju, Severna Makedonija i Vojnotehnički institut vojske Srbije – Beograd.

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, tako i u delu istraživanja i/ili razvoja novih tehnologija i fenomena koja su bila predmet izloženih radova. 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 bilo iz projekata koji pripadaju kategoriji tehnološkog razvoja, a finansirani su od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, bar kada je o radovima autora iz Srbije reč. Zaključeno je da je kvalitet radova na visokom nivou, što je i ranije bio slučaj kod Savetovanja "ZAVARIVANJE", ali ovoga puta to je prijatno iznenađenje obzirom na situaciju koja vlada i u privredi, a posledica je pandemije.



Što se stručno-tehničkog aspekta tiče, jedinstven zaključak je da je Savetovanje "ZVARIVANJE 2020" bilo veoma uspešno sa svih aspekata. Spektar i kvalitet radova, kao i izbalansiranost primenjenih tehnologija, aplikacija rezultata istraživačko-razvojnih aktivnosti i projekata podržanih od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja. Takođe, neposredno prisustvo eminentnih stručnjaka i naučnih radnika iz oblasti zavarivanja je jedno od obeležja Savetovanja.

Važno je pomenuti da je Savetovanje bilo obogaćeno i izložbom opreme za zavarivanje kao i prezentacijama sponzora, koji su svojim tehničkim izlaganjima upotpunili nivo Savetovanja, a time doprineli ukupnom uspehu svojim sponzorstvima, na čemu je DUZS neizmerno zahvalan. To su bili naši stari partneri koji su odavno prepoznali i svoj interes da aktivno učestvuju na ovakvim manifestacijama i bez čije podrške ne bi zajednički uspeali: ELIMP, ICI DOO BEOGRAD, CCC INDUSTRIAL ENGINEERING, NEMINIK, GALEB ELECTRONIC, REFIT i GSI SLV PRAGA.

Kao poseban segment pregleda 31. Savetovanja "ZAVARIVANJE 2020" je izvanredan tehničko-socijalni program. Poseban doživljaj za učesnike je bila organizovana poseta HE "ĐERDAP", sa posetom proizvodnim halama, obilaskom agregata i prevodnice, a sve obogaćeno pričom o Dunavu, Đerdapskoj klisuri i o istoriji centrale.



Poseta hidroelektrani "Đerdap 1"

Ako se ovome doda i krstarenje brodom, tačnije ručkom na turističkom brodu uz obilazak klisure i konačno, rekli bi nezaboravnom zajedničkom večerom punom pesme i zadovoljstva.



Poseta tvrđavi u Golupcu

Na kraju zaključak je da je Savetovanje bilo veoma uspešno, održano uz prisustvo eminentnih stručnjaka iz Srbije i regiona.

Ponavljamo da je ovo prvi skup iz oblasti zavarivanja, nakon dve godine, uopšte održan "uživo" u regionu. Pokazalo se da zavarivanje spaja i da zavarivački svet gaji taj lanac uprkos, čak i pandemiji, jer na sreću, pokazalo se da tokom i posle Savetovanja nije bilo zaraženih među učesnicima.

Uspeli smo i u tom pogledu.

Dr Vencislav Grabulov

ČASOPIS ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE

Cenovnik oglasnog prostora u četiri uzastopna broja 2021

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

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

WELDING & WELDED STRUCTURES, Quarterly review

Advertising prices for four successive numbers in 2021

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

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

INDEKS OGLAŠIVAČA

ADVERTISERS INDEX

MESSER TEHNOGAS
WELD-ING
YASKAWA SLOVENIJA
HONEX
ELIMP
NEMINIK

1. ČLANARINA DUZS za 2021. godinu 3.500 dinara
Članovima DUZS **GRATIS** godišnje izdanje časopisa "ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE"
2. ČASOPIS "ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE" - 2021. 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 2019. godinu 500 dinara
 - cena pojedinačnog broja za prethodne godine..... 250 dinara
 - b) beneficirane cene za članove DUZS:
 - cena pojedinačnog broja za 2020. 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