



Dragan Milčić<sup>1a</sup>, Dragan Mitić<sup>2</sup>, Nenad Radović<sup>3</sup>, Miodrag Milčić<sup>1</sup>, Aleksija Đurić<sup>5</sup>

## 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:

<sup>1</sup>Mašinski fakultet, Univerzitet u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija

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

<sup>3</sup>Tehnološko metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, Karnegijeva 4, 11120 Beograd, Srbija

<sup>4</sup>Mašinski fakultet, Univerzitet u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija

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

<sup>a</sup>dragan.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.

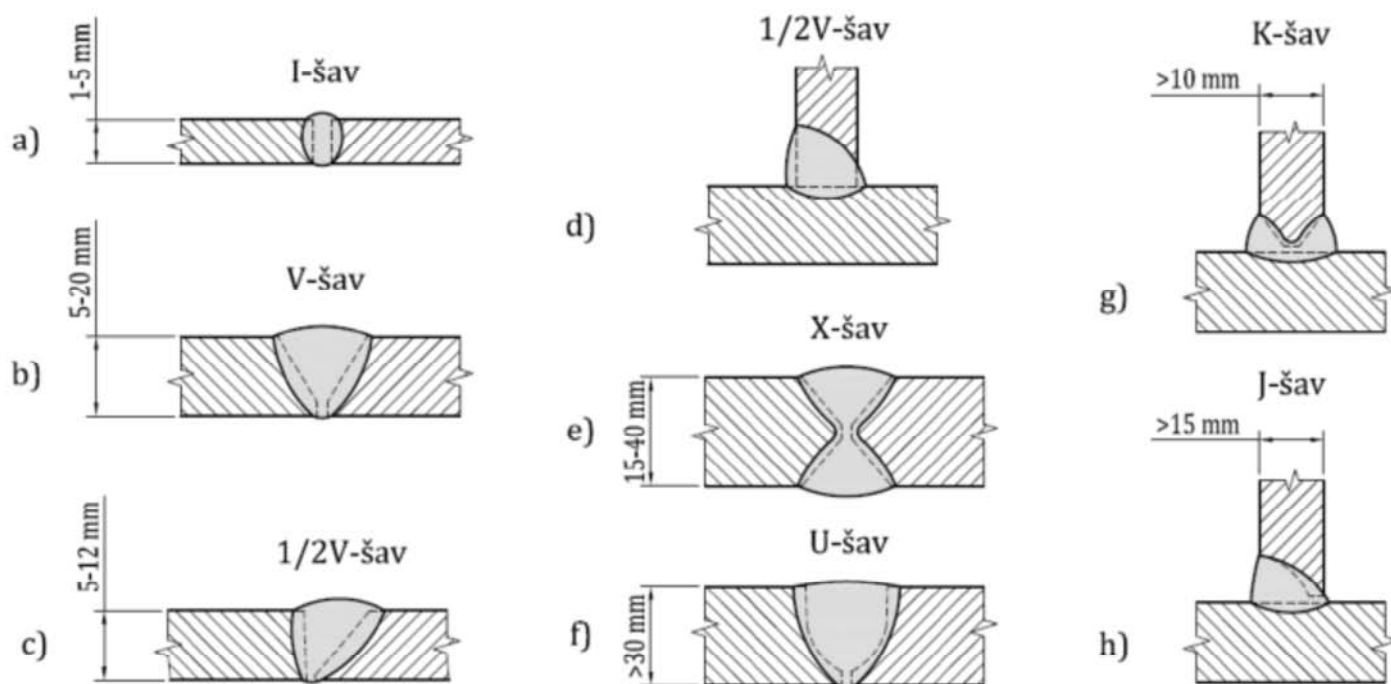
Eksploatacioni uticaji su najčešće: radna temperatura, radni pritisak, agresivnost radne sredine, akumulaciona energija radne materije, direktno stanje radne materije, fizičko hemijske karakteristike radne materije, itd.

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.



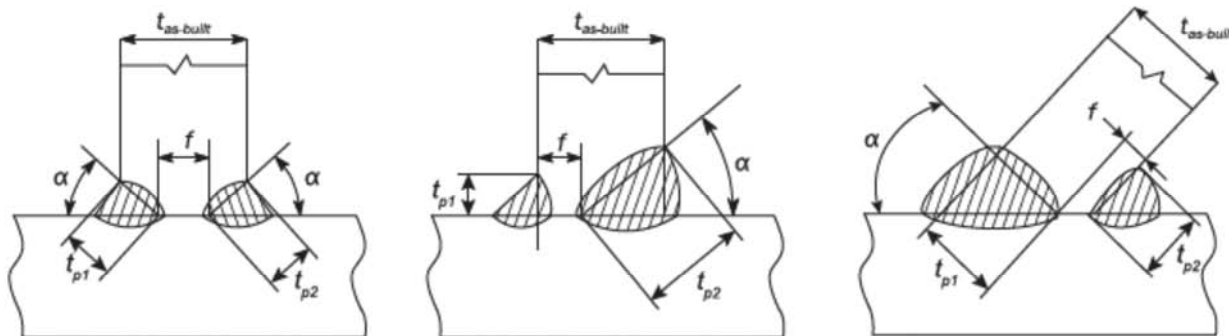
**Slika 1. Zavareni spojevi sa potpunom penetracijom**

**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

$\sigma$  – maksimalni zatezni napon u MPa,

$\sigma_{perm}$  – 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.

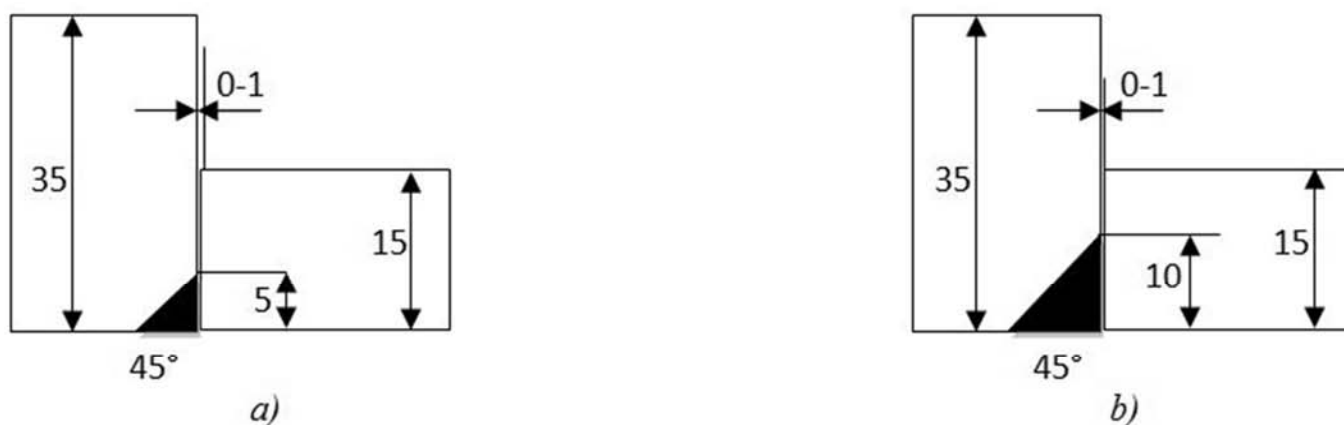
**Tabela 2.** Mehanička svojstva čelika S355N (1.0545)  
**Table 2.** Mechanical properties of the steel S355N (1.0545)

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


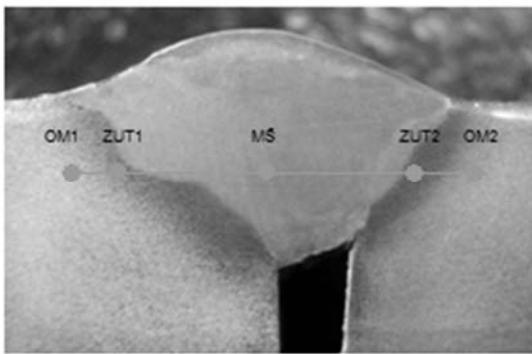
Svi zavareni uzorci su mehanički ispitani na zatezanje, na savijanje (savijanje sa strane lica i korena) i ispitivana je tvrdoće u zoni osnovnog metala 1, ZUT1, metala šava – MŠ, ZUT2 i osnovnog metala 2.

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><b>Slika 4.</b> Izgled zavarenog spoja SPQR5 <b>Figure 4.</b> Appearance of welded joint SPQR5</p>		<p><b>Slika 5.</b> Makro struktura zavarenog spoja SPQR5 <b>Figure 5.</b> Macrostructure of the SPQR5 welded joint</p>	
<b>Ispitivanje na zatezanje do loma u N</b>		<b>Prosečna tvrdoća zavarenog spoja u HV</b>	
1. uzorak	2. uzorak	Osnovni metal OM1	143
73000	70500	Zona uticaja toplote ZUT1	269
Lom u metalu šava		Metal šava MŠ	299
<b>Ispitivanje na savijanje</b>		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.


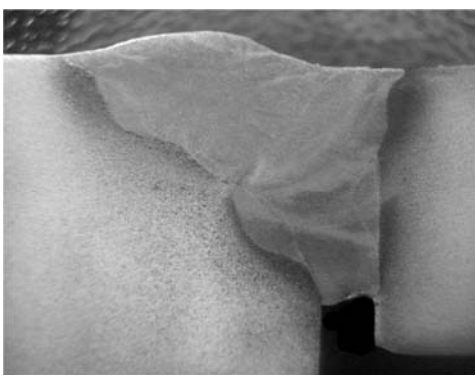
Klasifikacija geometrijskih nepravilnosti rađena je prema SRPS EN ISO 6520-1 2008.

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><b>Slika 6.</b> Izgled zavrenog spoja SPQR6 <b>Figure 6.</b> Appearance of welded joint SPQR6</p>		<p><b>Slika 7.</b> Makro struktura zavrenog spoja SPQR6 <b>Figure 7.</b> Macrostructure of the SPQR6 welded joint</p>	
<b>Ispitivanje na zatezanje do loma u N</b>		<b>Prosečna tvrdoća zavrenog spoja u HV</b>	
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
<b>Ispitivanje na savijanje</b>		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

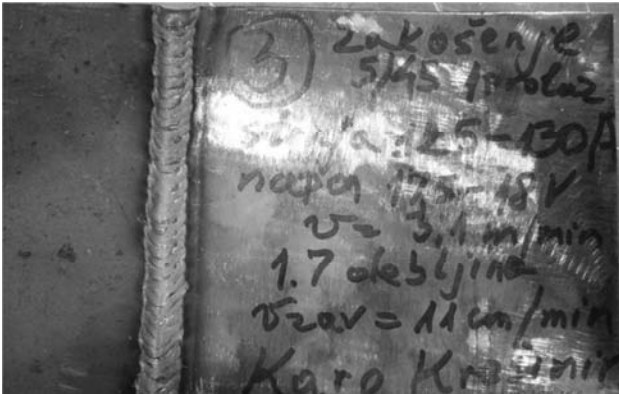
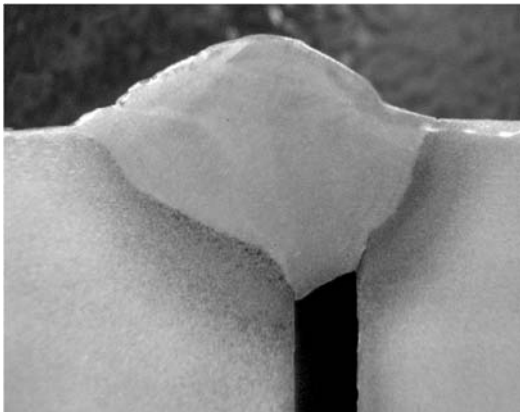
spoja 10mm, a zazor između delova, koji su spojeni  $h=2\text{mm}$ . Uočeno je takođe, da ima geometrijskih nepravilnosti prema SRPS EN ISO 6520-1 2008- nedostatak uvarivanja 402 i asimetrično nadvišenje šava 502.

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><b>Slika 8.</b> Izgled zavarenog spoja SPQR7 <b>Figure 8.</b> Appearance of welded joint SPQR7</p>			<p><b>Slika 9.</b> Makro struktura zavarenog spoja SPQR7 <b>Figure 9.</b> Macrostructure of the SPQR7 welded joint</p>	
<p><b>Ispitivanje na zatezanje do loma u N</b></p>			<p><b>Prosečna tvrdoća zavarenog spoja u HV</b></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><b>Ispitivanje na savijanje</b></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.

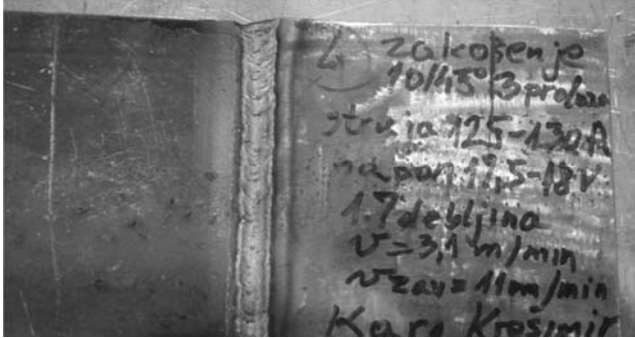
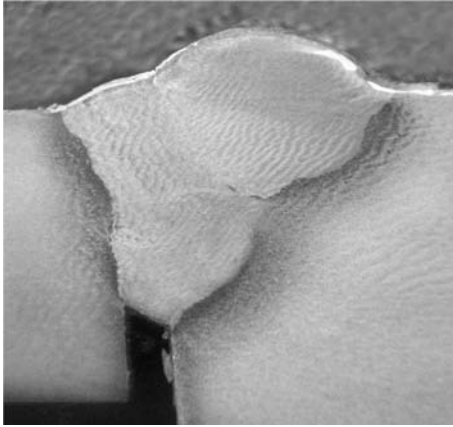
Zavareni uzorak sa oznakom SPQR8 je sučeona proba urađena zavarivanjem MAG postupkom u mešavini gasova u nadglavnom položaju PD, pri čemu je prva ploča debljine 25mm sa žlebom sa skošenjem  $10\text{mm}/45^\circ$ , a druga ploča debljine 15mm- slika 3b.

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><b>Slika 10. Izgled zavarenog spoja SPQR8</b> <b>Figure 10. Appearance of welded joint SPQR8</b></p>			<p><b>Slika 11. Makro struktura zavarenog spoja SPQR8</b> <b>Figure 11. Macrostructure of the SPQR8 welded joint</b></p>	
<b>Ispitivanje na zatezanje do loma u N</b>			<b>Prosečna tvrdoća zavarenog spoja u HV</b>	
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
<b>Ispitivanje na savijanje</b>			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  $100000\text{N}$ ) 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  $180^\circ$  i da pri tom nema nepravilnosti, dok uzorci SPQR6 i SPQR8 se

savijaju do  $180^\circ$ , 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](http://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-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](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](mailto:duzs011@gmail.com)

