

## PRIMJENA PRAŠKOM PUNJENIH ŽICA U KOTLOGRADNJI I KONTROLA ZAVARENIH SPOJEVA

### Application of flux cored wires in boiler manufacturing and control of welded joints

Tihomir Marsenić<sup>1</sup>, Ivo Šimić<sup>1</sup>, Božo Despotović<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Đuro Đaković Termoenergetska postrojenja, Dr. Mile Budaka 1, Slavonski Brod, R. Hrvatska

<sup>2</sup> DTZSB, Slavonski Brod, R. Hrvatska

*Ključne riječi:* MAG praškom punjenje žice, odstupanja zavarenih spojeva

#### Sažetak

Tijekom kontrole zavarenih spojeva na tlačnim komponentama kotlovnih postrojenja uočena su odstupanja u kvaliteti zavarenih spojeva. Zavareni spojevi su zavareni MAG postupkom, praškom punjenim žicama. Ispitivanjem bez razaranja, magnetskom metodom otkrivene su površinske greške u obliku malih kružnih uključaka promjera do 2 mm koje su se pojavljivale učestalo. U cilju otkrivanja uzroka provedeni su određeni proizvodni testovi kojim su uspoređivani zavareni spojevi izvedeni žicama jednakih klasifikacijskih oznaka, ali različitim proizvođača. Analizom presjeka zavarenih kutnih spojeva došlo se do zanimljivih spoznaja.

*Keywords:* Flux cored wires, weld's imperfections

#### Abstract

During examination of welded joints on pressure boiler components performed by FCAW, it was revealed some deviation in quality of welds. Using non-destructive examination, magnetic method on the weld surface were found weld imperfections in form circular small inclusion that appeared frequently. They were 2 mm in diameter. In order to detect the cause, it was performed some production tests and examination with wires having same classification mark but from different manufacturer. By the analysis of fillet weld macro section some interesting cognitions have been discovered.

#### 1. Uvod

Zavarivanje praškom punjenim žicama (FCAW) se primjenjuje u izradi kotlovnih komponenti sa ciljem povećanja kvalitete zavarenih spojeva i učinkovitosti. Ovaj postupak se uglavnom primjenjuje za zavarivanje netlačnih dijelova s tlačnim komponentama, brtvenih spojeva i zavarivanja nosivih spojeva na čeličnoj konstrukciji. Postupak zavarivanja FCAW dopušten je za zavarivanje tlačnih komponenti, odnosno tlačno nosivih zavara, ali se rijetko primjenjuju zbog specifičnih oblika spojeva u kotlogradnji, ograničenog prostora za zavarivanje i učinkovitih mehaniziranih postupaka koji se već primjenjuju. Za zavarivanje spomenutih spojeva najčešće se koristi rutilna praškom punjena žica, klasifikacijske oznake prema EN ISO 17634-A: T MoL P M 2 H5. To je rutilna žica legirana Mo do 0,5%. Karakteristika praška ove žice je brzo skrutnjavanje troske što joj omogućava zavarivanje u prinudnim položajima s visokim parametrima zavarivanja uz postizanje visoke produktivnosti i kvalitete [1]. U pogonima ĐĐTEP-a, ovaj tip praškom punjene žice najčešće se primjenjuje za jednoprolazno zavarivanje, pri čemu se troska lagano uklanja s površine metala zavara, a površina

zavara je glatka s blagim prijelazom na osnovni materijal i bez prskotina. Zavareni spojevi odlikuju su dobrim mehaničkim svojstvima, granicom tečenja, vlačnom čvrstoćom i radnjom loma.

## **2. Iskustva u primjeni**

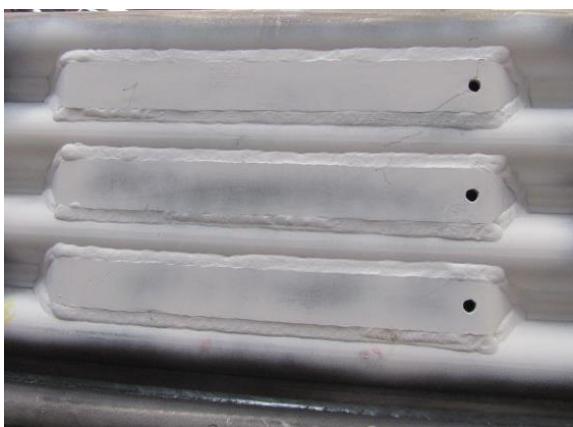
U pogonima ĐĐTEP-a ovaj tip žice najčešće se primjenjuje za jednoproletno zavarivanje u žlijebu i zavarivanje kutnih spojeva veličine do a4,5 mm. U slučaju zahtjeva za većim dimenzijama zavarenog spoja primjenjuje se višeprolazno zavarivanje. Na slikama 1. do 4. su primjeri zavarenih spojeva praškom punjenim žicama. U skladu sa zahtjevom norme EN 12952-6-2011 ispitivanje brtvenih i nenosivih zavara izvodi se jednom od površinskih metoda i to magnetskim ispitivanjem (MT) ili penetranskim ispitivanjem (PT) u opsegu od 10% i vizualnom kontrolom (VT) 100%.



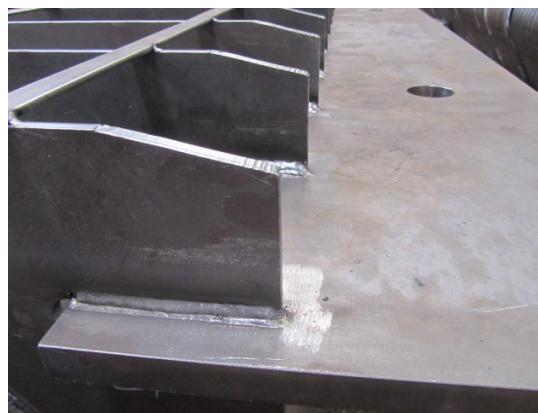
Slika 1. Zavarivanje FCAW češljastih limova na membranske zidove kotlovnog postrojenja



Slika 2. Zavarivanje FCAW brtvenih spojeva traka -cijev membranskih zidova



Slika 3. Zavarivanje „ribica“ na membranske zidove FCAW u žlijebu



Slika 4. Zavarivanje FCAW nosivih zavarenih spojeva

U nekoliko navrata u prethodnih dvanaest mjeseci na zavarenim spojevima izvedenim s ovim tipom žice od istog proizvođača otkrivene su površinske nepravilnosti, slika 5. Nepravilnosti su otkrivene tijekom MT ispitivanja, a mogu biti uočene i pažljivom VT kontrolom. Nepravilnosti se ne pojavljuju uvijek i u svim položajima zavarivanja. Na slici 5. je prikazan reprezentativni uzorak s velikim brojem nepravilnosti. Kako se radi o učestalim ili sustavnim nepravilnostima s aspekta norme EN ISO 5817 edicija 2014 ovakav tip nepravilnosti se smatra neprihvatljiv.



Slika 5 Površinske nepravilnosti otkrivene na zavarenom spoju izvedenom u PA položaju, žicom T MoL P M 2 H5, proizvođača W1

Nepravilnosti su u obliku površinskih uključaka koje vjerojatno nastaju tijekom skrućavanja taline. Iste se mogu odstraniti brušenjem. Na slici 6. je prikazana slika zavarenih spojeva u pogonima ĐĐТЕР-a koji su se prije ispitivanja površinski brusili kako bi se uklonile nepravilnosti. Brušenje zavarenih spojeva povećava troškove izrade, produžuje ukupno vrijeme izrade komponenti i potiče sumnju kupca u kvalitet zavarenih spojeva, a samim tim i proizvoda.



Slika 6 Spojevi brušeni u svrhu uklanjanja površinskih nepravilnosti nakon FCAW zavarivanja „šliceva“ na membranskim zidovima

### 3. Uvjeti zavarivanja ispitnih uzoraka

U svrhu poboljšanja kvalitete, ali i određivanja uzroka nepravilnosti provedeno je probno zavarivanje ispitnih uzoraka. Zavarivanjem ispitnih uzoraka pokušalo se definirati optimalno područje parametara zavarivanja simulirajući uvjete zavarivanja u proizvodnji.

Osnovni podaci pri probnom zavarivanju su bili slijedeći:

- Postupak zavarivanja 136, ručno zavarivanje,
- Osnovni materijal 16Mo3; dimenzije uzorka 12x250 mm,
- Zavarivanje je izvedeno s praškom punjenom žicom EN ISO 17634-A: T MoL P M 1 H10,

- Primjenjene su dvije žice jednake klasifikacijske oznake, ali od različitih proizvođača u dalnjem tekstu žica prvog proizvođača-W1 i žica drugog proizvođača-W2,
- Zaštitni plin prema EN ISO 14175: M21 (82%Ar, 18%CO<sub>2</sub>); 13-15 l/min,
- Položaj zavarivanje PB,
- Jednopravno kutno zavarivanje po strani bez njihanja,
- Tehnika rada iz lijeva u desno, gorionik nagnut 10-15° u smjeru zavarivanja, a kut gorionika u odnosu na spoj 45±5°,
- Slobodni kraj žice od 13 do 18 mm ,
- Uređaj za zavarivanje KEMPPİ Fast Mig MXF 65,
- Primjena adekvatnog Kemppi programa (software) za zavarivanje praškom punjenim žica,
- Zavarivanje izvedeno od strane iskusnog MAG zavarivača.

#### **4. Parametri zavarivanja i rezultati ispitivanja**

Probnim zavarivanjem zavareno je nekoliko ispitnih uzoraka pri čemu su se parametri zavarivanja mijenjali, a uvjeti zavarivanja opisani u poglavlju 3. su bili jednaki za sve ispitne uzorce. Dva uzorka zavarena su sa žicom W1 koja se standardno primjenjuje u pogonima ĐĐTEP-a, dok su žicom W2 koja je dostavljena na probno zavarivanje zavareni ostali uzorci. Obe žice su certificirane od neovisnog tijela i imaju TÜV list (data sheet). Nakon zavarivanja provedeno je ocijenjivanje zavarenih spojeva koje se temeljilo na vizualnoj kontroli zavarenog spoja i makro presjeku pripremljenog iz sredine zavarenog uzorka.

##### **4.1. Zavarivanje ispitnih uzoraka žicom W1**

Žicom W1 zavarena su dva uzorka RP1284/4 i RP1284/5. Parametri zavarivanja uzorka RP1284/4 su prikazani u tablici 1.

Tablica 1 Parametri zavarivanja uzorka RP1284/4 [2]

Uzorak Broj	Strana kutnog spoja	Dodatni materijal	Parametri zavarivanja					Tp °C
			I	U	cm/min .	kJ/mm	Dynamic	
RP1284/4	A	W1	200A	27,2V	30,6	0,85	-2	32
	B		200A	27,2V	26,8	0,97	-2	50

Ocjena ispitnog uzorka RP1284/4: Vizualnom kontrolom površine zavara uočene su sustavne nepravilnosti, jednake onima prikazanim na slici 5., ali s manjom učestalošću pojave. Na slici 7. može se vidjeti makro presjek zavarenog spoja koji pokazuje nedovoljnu penetraciju u osnovni materijal - donju ploču. Geometrija zavara - dužina kateta i prijelaz na osnovni materijal su zadovoljavajući. Ukupna ocjena uzorka: zavareni spoj se smatra neprihvatljivim.



Slika 7 Makro presjek uzorka RP1284/4 pokazuje nepotpunu penetraciju

Uzorak RP1284/5 zavaren je drugaćijim parametrima zavarivanja, većom strujom i naponom, koji su prikazani u tablici 2.

Tablica 2 Parametri zavarivanja ispitnog uzorka RP1284/5 [2]

Uzorak Broj	Strana kutnog spoja	Dodatni materijal	Parametri zavarivanja					Tp °C
			I	U	cm/min.	kJ/mm	Dynamic	
RP1284/5	A	W1	250A	30,4V	34,1	1,07	-2	30
	B		250A	30,4V	31,25	1,17	-2	47

Ocjena ispitnog uzorka RP1284/5: Vizualnom kontrolom površine zavara uočene su sistematske površinske nepravilnosti, tipa uključaka. Na slici 8. može se vidjeti makro presjek zavarenog spoja koji pokazuje nedovoljnu penetraciju u osnovni materijal - donju ploču. Ukupna ocjena uzorka: zavareni spoj se smatra neprihvatljivim.



Slika 8 Makro presjek uzorka RP1284/5 pokazuje nepotpunu penetraciju [3]

#### **4.2. Zavarivanje ispitnih uzoraka žicom W2**

Praškom punjenom žicom W2 zavareni su uzorci RP1284/2 i RP1284/3 pod jednakim uvjetima i parametrima kao i žicom W1. Parametri uzorka RP1284/2 su prikazani u tablici 3.

Tablica 3 Parametri zavarivanja uzorka RP1284/2 [2]

Uzorak Broj	Strana kutnog spoja	Dodatni materijal	Parametri zavarivanja					Tp °C
			I	U	cm/min .	kJ/mm	Dynamical	
RP1284/2	A	W2	200A	27,2V	32,6	0,8	-2	32
	B		200A	27,2V	28,8	0,9	-2	46

Ocjena ispitnog uzorka RP1284/2: Vizualnom kontrolom površine zavara nisu uočena površinske nepravilnosti tipa uključaka. Zavar ima dobru geometriju i gladak prijelaz na osnovni materijal. Na slici 9. može se vidjeti makro presjek zavarenog spoja koji pokazuje nedovoljnu penetraciju u osnovni materijal - donju ploču. Ukupna ocjena uzorka: zavareni spoj se smatra neprihvativim zbog nedovoljne penetracije.



Slika 9 Makro presjek uzorka RP1284/2 pokazuje nepotpunu penetraciju [3]

U tablici 4. prikazani su parametri zavarivanja ispitnog uzorka RP1284/3.

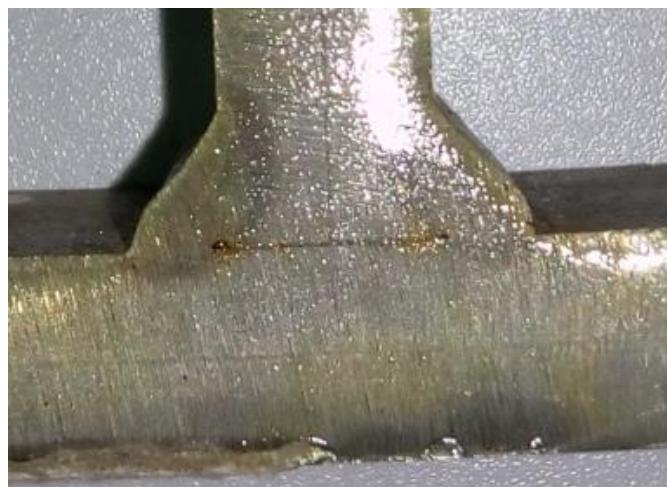
Tablica 4 Parametri zavarivanja uzorka RP1284/3 [2]

Uzorak Broj	Strana kutnog spoja	Dodatni materijal	Parametri zavarivanja					Tp °C
			I	U	cm/min .	kJ/mm	Dynamical	
RP1284/3	A	W2	250A	30,4V	34,9	1,045	-2	33
	B		250A	30,4V	33,3	1,09	-2	48

Ocjena ispitnog uzorka RP1284/3: Vizualnom kontrolom površine zavara nisu uočena površinske nepravilnosti tipa uključaka. Zavar ima dobru geometriju i gladak prijelaz na osnovni materijal. Na

slici 10. može se vidjeti makro presjek zavarenog spoja koji pokazuje nedovoljnu penetraciju u osnovni materijal - donju ploču.

Ukupna ocjena: zavareni spoj se smatra neprihvatljivim zbog nedovoljne penetracije.



Slika 10 Makro presjek uzorka RP1284/3 pokazuje nepotpunu penetraciju [3]

Dodatno su zavarena još dva probna uzorka RP1284/6 i RP1284/9 s ciljem ocjene dostavljene žice W2 na probno zavarivanje. Glavna razlika je u tome što je uzork RP1284/6, zavaren u PF položaju zavarivanja i sa znatno nižim parametrima zavarivanja - strujom i naponom. U tablici 5. su prikazani parametri zavarivanja.

Tablica 5 Parametri zavarivanja uzorka RP1284/6 [2]

Uzorak Broj	Strana kutnog spoja	Dodatni materijal	Parametri zavarivanja					Tp °C
			I	U	cm/min .	kJ/mm	Dynamical	
RP1284/6	A	W2	180A	23,5V	19,23	1,05	-4	34
	B		180A	23,5V	18,07	1,12	-4	51

Ocjena uzorka RP1284/6: Vizualnom kontrolom površine zavara nisu uočena površinske nepravilnosti tipa uključaka. Zavar ima dobru geometriju i gladak prijelaz na osnovni materijal. Na slici 11. može se vidjeti makro presjek zavarenog spoja koji pokazuje dobru penetraciju u osnovni materijal. Ukupna ocjena: zavareni spoj se smatra prihvatljivim.



Uzorak RP1284/9 zavaren je u PB položaju uz predgrijavanje na 82°C. Parametri zavarivanja su prikazani u tablici 6.

Tablica 6 Parametri zavarivanja uzorka RP1284/9 [2]

Uzorak Broj	Strana kutnog spoja	Dodatni materijal	Parametri zavarivanja					Tp °C
			I	U	cm/min .	kJ/mm	Dynamical	
RP1284/ 6	A	W2	250A	30,3V	35,71	1,02	-4	34
	B		250A	30,3V	34,88	1,04	-4	51

Ocjena uzorka RP1284/9: Vizualnom kontrolom površine zavara nisu uočena površinske nepravilnosti tipa uključaka. Zavar ima dobru geometriju i gladak prijelaz na osnovni materijal. Na slici 12. može se vidjeti makro presjek zavarenog spoja koji pokazuje dobru penetraciju u osnovni materijal. Ukupna ocjena: zavareni spoj se smatra prihvativim.



Slika 12 Makro presjek uzorka RP1284/9 pokazuje potpunu penetraciju, zavaren u PB položaju uz predgrijavanje na 82°C [3]

Na osnovu reklamacije ĐĐTEP proizvođaču dodatnog materijala W1, nakon početnog negiranja i neprihvatanja argumenata o nezadovoljavajućoj kvaliteti praškom punjene žice, sam proizvođač je proveo dodatna zavarivanja i ispitivanja. Jedan dio ispitivanja je proveden u njihovom laboratoriju nakon čega su također konstatirali da se na površini zavarenih spojeva pojavljuju uključci, koji su vjerojatno zarobljeni tijekom skrutnjavanja metala zavara, slika 13.



Proizvođač dodatnog materijala u suradanji s ĐĐTEP-om provodi testiranja žice uz određene korekcije sastava praška. Prema zadnje provedenim probama rezultati novo zavarenih uzorka pokazuju znatno bolju kvalitetu površine zavara s manje uključaka.

### **5. Analiza rezultata zavarivanja**

U radu su prikazani rezultati ispitivanja određenog broja zavarenih uzoraka. Provedena ispitivanja na uzorcima zavarenim praškom punjenom žicom W1 su neprihvatljiva s aspekta vizualne kontrole pri kojoj su otkrivene sustavne nepravilnosti uključaka na površini zavarenih spojeva, slika 5. i 13. Makro ispitivanja također nezadovoljavaju jer su na zavarenim spojevima otkrivene greške nepotpune penetracije, slike 7. i 8.

Za žicu W2 koja je dostavljena na probno zavarivanje u ĐĐTEP, na svim zavarenim uzorcima vizualnom kontrolom površine zavara nisu uočene nikakve nepravilnosti. Kod zavarenih uzorkaka u PB položaju na makro presjeku su otkrivene greške nepotpune penetracije stoga su zavreni uzoreci neprihvatljivi. Uzorak zavaren u PF položaju i uzorak zavaren u PB položaju s predgrijavanjem na 82°C su bili u potpunosti prihvatljivi.

Na zavarenim kutnim uzorcima u PB položaju s obje žice W1 i W2 otkrivene su greške nepotpune penetracije. Na temelju provedenih makro ispitivanja uočeno je da su tolerancije za kvalitetno izvođenje kutnog spoja s potpunom penetracijom vrlo uske. To je vjerojatno zbog metalurških procesa koji se događaju u kupci tijekom zavarivanja. S aspekta operativne zavarljivosti utvrđeno je da zavarivanje u PF položaju s nižom vrijednosti struje zavarivanje i zavarivanje s predgrijavanjem osiguravaju potpunu penetraciju prilikom jednopravljnog zavarivanja kutnog spoja.

### **6. Zaključak**

Temeljem provedenih ispitivanja zapaženo je da na kvalitetu zavarenih spojeva izvedenih rutilnom žicom EN ISO 17634-A: T MoL P M 2 H5 utječe mnogo faktora. Na zavarenim spojevima izvedenim praškom punjenom žicom W1 utvrđene su sustavne nepravilnosti na površini zavarenog spoja u obliku uključaka, slika 13., dok je na makro uzorcima kutnih zavara otkrivena nepotpuna penetracija. Na uzorcima zavarenim žicom W2 površina zavarenih spojeva je zadovoljavajuća, dok je na makro uzorcima također utvrđena nepotpuna penetracija. Na osnovu rezultata ispitivanja zavarenih uzoraka zaključeno je da na operativnu zavarljivost ovim tipom žice znatno utječu:

- sam kvalitet praškom punjenje žice,
- izvor za zavarivanje i software aplikacija za određunu vrstu dodatnog materijala,
- parametri zavarivanja,
- položaj zavarivanja,
- vještina i educiranost zavarivača,
- temperatura pregrijavanja

Zavreni kutni zavari u PB položaju i njihovi makro uzorci pokazuju da su tolerancije parametara zavarivanja za postizanje prihvatljive penetracije vrlo uske, daleko uže nego kod primjene pune žice.

Problem vezan za penetraciju još je veći ako u proizvodnji postoji više tipova izvora za zavarivanje različitih proizvođača i ako su dužine zavarenih spojeva kratke, manje od 100 mm. Proizvođači dodatnog materijala bi trebali na temelju vlastitih spoznaja i spoznaja iz prakse još dodatno ograničiti ili specificirati granične uvjete primjene ili dati preporuke korisnicima za pojedine vrste dodatnog materijala. Obje žice W1 i W2 imaju ovlaštenja od neovisnih tijela i posjeduju TUV list (data sheet). Praškom punjena žica W1 prema ĐĐTEP-ovim ocjenama temeljnim na kriterijima norme EN ISO 5817: 2014 nije prihvatljiva za zavarivanje.

Prilikom odabira dodatnog materijala za zavarivanje, posebno dodatnih materijala koji imaju oblogu ili sadrže prašak preporučuje se provođenje testova na uzorcima koji su replika proizvodnih spojeva, posebno ako se radi o znatnim količinama dodatnog materijala na godišnjoj razini. U ovom slučaju pokazalo se da certifikati i odobrenja nisu potvrda kvalitete dodatnog materijala.

## **7. Literatura**

- [1] Despotović, B., Brechelmacher B., Marsenić T. (1999): Neka gledišta u primjeni punjenih žica za MAG postupak zavarivanja, Zavarivanje 42, Društvo za tehniku zavarivanja Zagreb
- [2] Šimić I., Marsenić T. (2017): Protokol o kvalifikaciji postupaka zavarivanja ili zavarivača QM09-05, 61ŠI-213/17-(1-10), ĐĐTEP
- [3] Šimić I., Marsenić T. (2017): Izvještaj o zavarivanju ispitnih uzoraka, 61ŠI-193/17, ĐĐTEP