



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

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

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

Stručni rad / Professional paper

Rad primljen / Paper received:

Avgust 2024.

Rad prihvaćen / Paper accepted:

Novembar 2024.

Adresa autora / Author's address

¹ NIVAR Niš, Srbija

² VOSSLOH Niš, Srbija

³ DGNDT Niš, Srbija

Email / ORCID ID

^a mitanivar@gmail.com /

^b nikola.jovic@vosslloh.com /

^c davor.gruber@dgndt.com /

Ključne reči: tramvajska skretnica, Cogidur

Keywords: the tram switch, Cogidure

Rezime

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

Abstract

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

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



1. Uvod

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

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

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

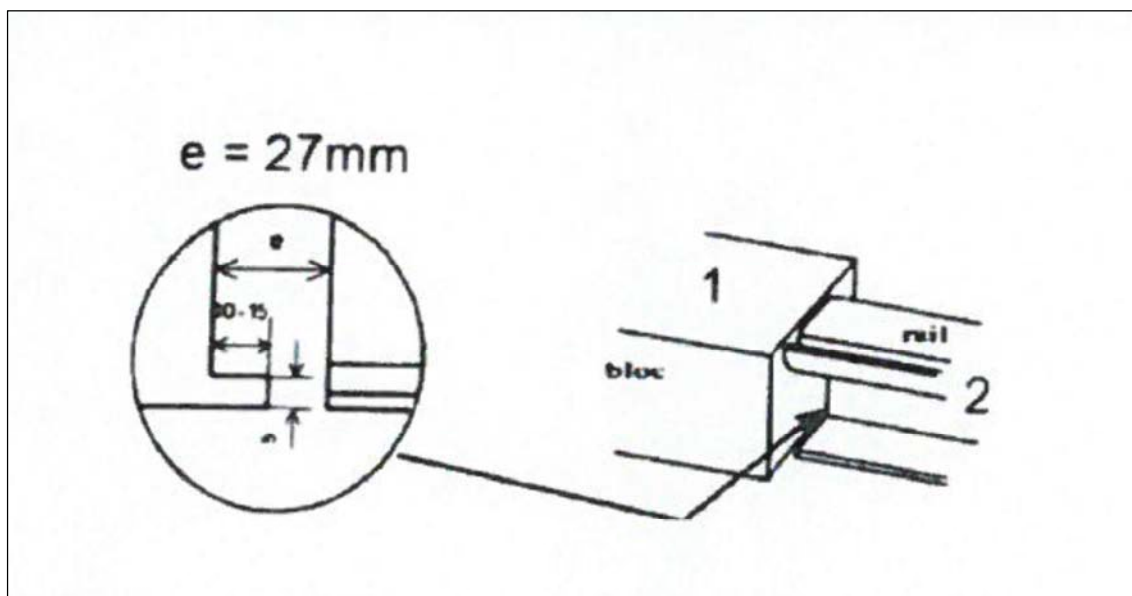
IBE metoda je odgovor evropskih železnica na američku metodu zavarivanja FCAW. Za ovu metodu su potrebni dodavači žica, pištolji za žicu prečnika $\geq 2,0$ mm, kao i dodatni materijal koji se

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

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

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

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



Slika 1. Skica spoja šina-blok

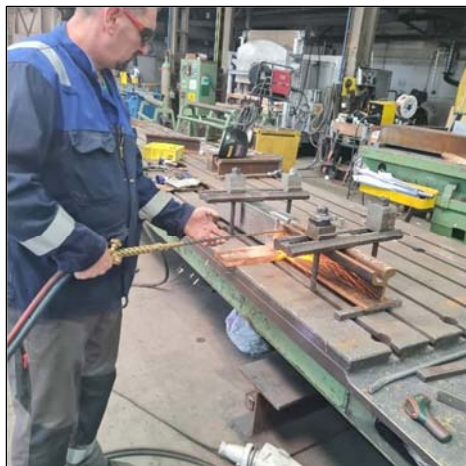
Figure 1. Sketch of rail-block joint

2. Materijali i metode

2.1 Osnovni materijal

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

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



Slika 3. Predgrevanje šine i bloka

Figure 3. Preheating of rail foot and block



Slika 4. Zavarivanje šape šine za blok

Figure 4. Welding of rail foot to block

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

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

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

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

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

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

Tabela 3. Hemijski sastavi dodatnih materijala

Table 3. Chemical compositions of filler materials

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

Tabela 4. Mehanička svojstva dodatnih materijala

Table 4. Mechanical properties of filler materials

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



2.3 Tehnike zavarivanja

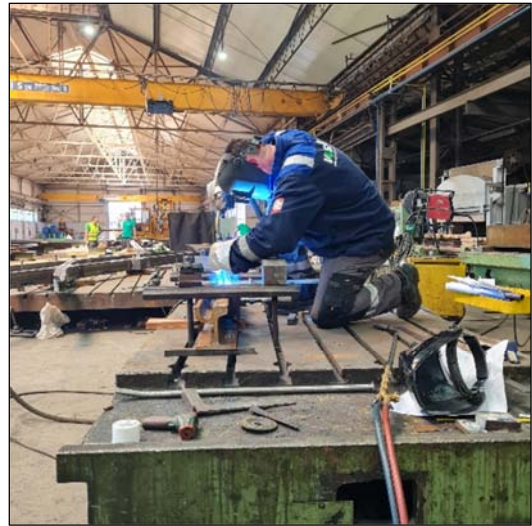
Postoje dve tehnike zavarivanja spoja šine-blok IBE metodom. Prva tehnika podrazumeva da se električni luk vodi po sredini spoja, ali sa većim vrednostima jačine struje. Druga tehnika podrazumeva primenu manjih vrednosti jačine struje,

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



Slika 5. Zavareni vrat šine za blok

Figure 5. Welded rail web to a block



Slika 6. Navarivanje glave šine

Figure 6. Hardfacing of the rail head

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

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



Slika 7. Uredjaj za zavarivanje MAG-IBE postupkom

Figure 7. MAG-IBE welding device



3. Rezultati i diskusija

3.1. Ispitivanja bez razaranja

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

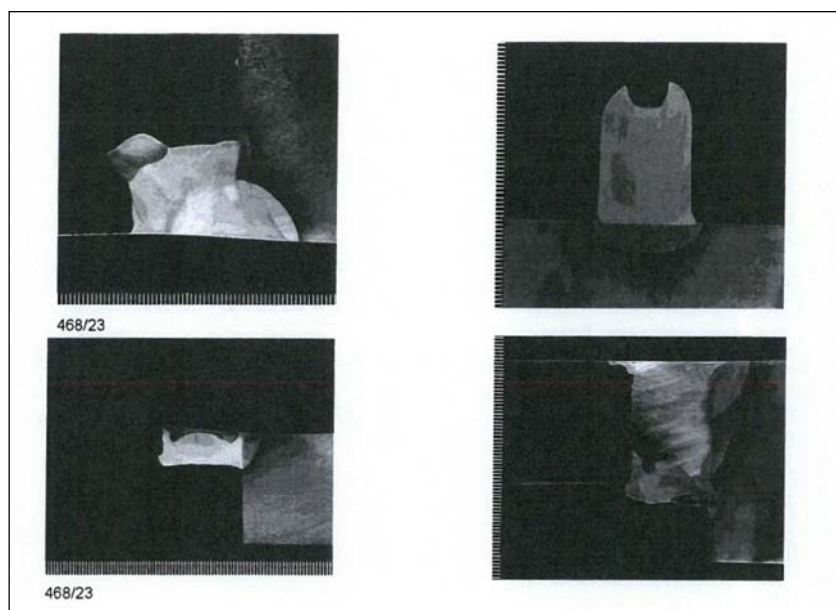
3.2. Ispitivanja razaranjem

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

Lage der Messungen (Skizze *) Location of Measurements (Sketch) *) Localisation des mesures (croquis) *)																
I-II																
Art / Last: - Type / Load: - Type / Charge: HV 10 – nur Informationen / only information																
Nr. No. N°	Meßreihe Measuring Line Ligne de mesure	Grundwerkstoff Base Material Métal de base			WEZ HAZ ZAT			Schweißgut Weld Metal Métal déposé			WEZ HA ZAT			Grundwerkstoff Base Material Métal de base		
468/23	1-5-11-7-3	282	281	284	291	293	294	359	357	356	406	403	402	289	287	286
468/23	2-6-13-8-4	280	283	284	292	293	296	314	315	317	407	405	404	290	288	287
468/23	1-5-11-7-3	284	281	280	295	294	292	345	344	342	399	404	405	281	284	288
468/23	2-6-13-8-4	285	283	282	294	292	291	308	309	311	402	403	406	283	285	286
468/23	1-5-11-7-3	284	283	280	296	294	293	344	342	340	406	408	409	284	286	287
468/23	2-6-13-8-4	284	282	281	297	295	294	307	309	312	407	410	411	288	289	291
468/23	1-5-11-7-3	279	285	286	287	289	291	340	341	344	294	292	291	277	281	282
468/23	2-6-13-8-4	281	284	285	286	288	291	344	345	347	292	293	295	279	282	281

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

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



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

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



3.4. Ispitivanje savijanjem u četiri tačke

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

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

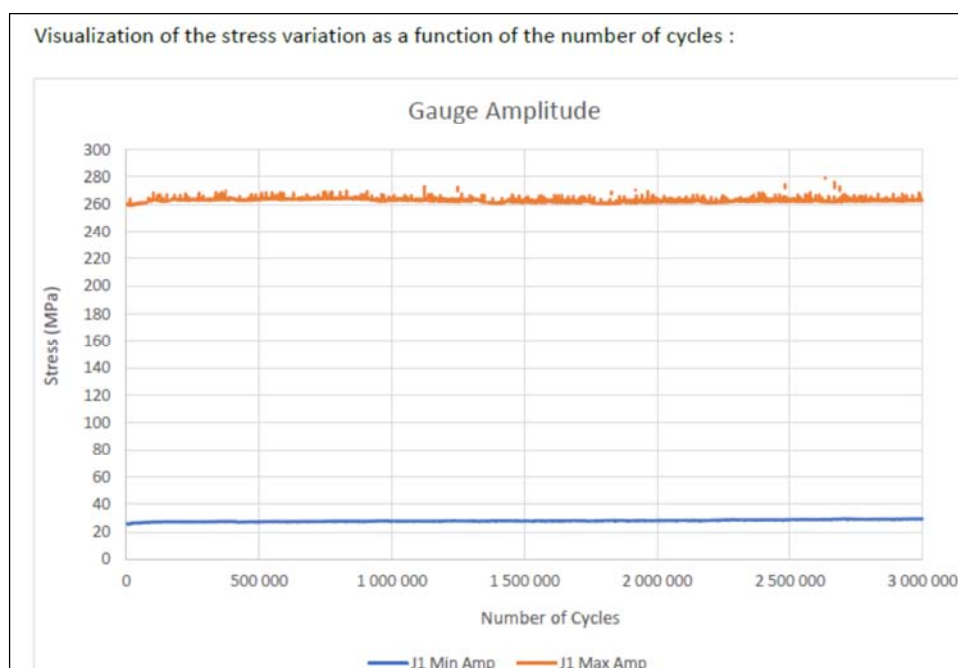


Slika 10. Ispitivanje zavarenog spoja savijanjem u četiri tačke.

Figure 10. Four-point bending test of welded joint

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

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



Slika 11. Prikaz varijacije naprezanja u funkciji broja ciklusa

Figure 11. Illustration of stress variation with number of cycles



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

Tabela 5. Parametri ispitivanja

Table 5. Testing parameters

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

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

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



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

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

4. Zaključak

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

4. Conclusion

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

References / Literatura

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

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