

Unapređenje tehnologije aluminotermijskog zavarivanja železničkih šina različitog poprečnog preseka

VASO D. MANOJLOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

ehnološko-metalurški fakultet, Beograd

ŽELJKO J. KAMBEROVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd

MIROSLAV D. SOKIĆ, Institut za tehnologiju nuklearnih i

drugih mineralnih sirovina, Beograd

DEJAN B. MOMČILOVIĆ, Institut za ispitivanje materijala, Beograd

MILORAD P. GAVRILOVSKI, Univerzitet u Beogradu,

Inovacioni centar Tehnološko-metalurškog fakulteta, Beograd

Originalni naučni rad

UDC: 621.791:625.143

DOI: 10.5937/tehnika2106756M

U radu je prikazana nova tehnologija aluminotermijskog zavarivanja (AT) prelaznih šina 49E1 na 60E1 (EN 13674-1:2005.), oslonjena na potpuno nove materijale. Ona se odnosi na pešćane kalupe kod kojih su oblik i dimenzije ulivnog sistema projektovani tako da mogu odgovoriti svim zahtevima za postizanje zavarenih spojeva zadatog kvaliteta. Da bi ovaj zahtev bio u potpunosti ispunjen, projektovana je, takođe, AT smeša, čijom se aktivacijom dobija termitni čelik za ispunu, sa temperaturom izlivanja koja obezbeđuje optimalnu livkost metala, kao i viskoznost troske. U radu su zatim prikazani rezultati ispitivanja probnih prelaznih zavarenih spojeva, shodno standardima JŽS.Z2.610 i EN 14730-1:2012, a odnose se na utvrđivanje mehaničkih svojstava zavarenih spojeva, makrostrukturnih i mikrostrukturnih karakteristika, homogenosti i hemijskog sastava termitnog čelika za ispunu. Dobijeni rezultati pokazuju da je primenjena tehnologija optimalna, jer obezbeđuje upotrebu ove tehnologije u industrijskim uslovima na železnici.

Ključne reči: zavareni spoj, livkost, ulivni sistem, poroznost, naponi

1. UVOD

Tokom izgradnje ili rekonstrukcije, a naročito tokom održavanja postojećih železničkih koloseka neophodno je izvršiti spajanje tzv. prelaznih šina, najčešće 49E1 na 60E1 (EU 14735:2006) [1]. Dosadašnja praksa se u principu sastoji od zavarivanja preleznih šina tehnologijom, alatima i materijalima koji se primenjuje za zavarivanje većih šina, u ovom slučaju 60E1 [2]. Ova improvizovana tehnologija pokazuje značajne nedostatke koji loše utiču na kvalitet gotovog zavarenog spoja. Razlika u poprečnim presecima dimenzija kalupa koji se koriste za ovu tehnologiju za šinu 60E1 u odnosu na poprečni presek sine 49E1 iznosi 12,18% i kompenzira se dodavanjem znatne ko-

ličine pešćano-bentonitne mase. Upravo ova masa je uzrok pojave unutrašnjih grešaka, naročito poroznosti, prouzrokovanim vlagom koja je obavezan pratilac [3, 4]. U cilju unapređenja postojeće tehnologije, projektovan je novi kalup koji u potpunosti ispunjava sve zahteve za izradu zavarenog spoja koji svojim kvalitetom odgovara postojećim standardima. Projektovana geometrija kalupa, kao i dizajn ulivnog sistema, omogućava izlivanje termitnog čelika u kalupnu šupljinu bez turbulencija, obezbeđujući blagi prelaz sa jednog preseka na drugi bez koncentracija napona, odnosno bez pojave unutrašnjih grešaka. [5].

2. EKSPERIMENTALNI DEO

2.1. Materijali i metode

Predložena tehnologija podrazumeva primenu potpuno novih materijala za aluminotermijsko (u daljem tekstu AT) zavarivanje železničkih šina različitih preseka, koje se pre svega odnose na primenu pešćanih kalupa novog dizajna i geometrije. Da bi se oni izradili klasičnom tehnologijom kalupovanja – postupak CO₂,

Adresa autora: Vaso Manojlović, Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, Karneگیjeva 4

e-mail: v.manojlovic@tmf.bg.ac.rs

Rad primljen: 09.12.2021.

Rad prihvaćen: 13.12.2021.

koji se najčešće koristi u praksi, dizajnirani su alati, odnosno modeli koji će obezbediti dobijanje otiska u kalupnoj mešavini koji neposredno odražavaju površinu i oblik šava prelaznog zavarenog spoja, uključujući

sve elemente ulivnog sistema [6]. Dizajn i geometrija modela prikazana je na slici 1. Izgled pešćanih kalupa koji su korišćeni za izradu probnih prelaznih zavarenih spojeva prikazani su na slici 2.



Slika 1 - Modeli za izradu kalupa



Slika 2 - Pešćani kalupi za izradu prelaznog zavarenih spojeva

Takođe, projektovan je i novi materijalni sastav AT smeše u cilju dobijanja termitnog čelika odgovarajućih karakteristika za dobijanje zavarenog prelaznog spoja [7] shodno domaćim i inostranim standardima [8, 9].

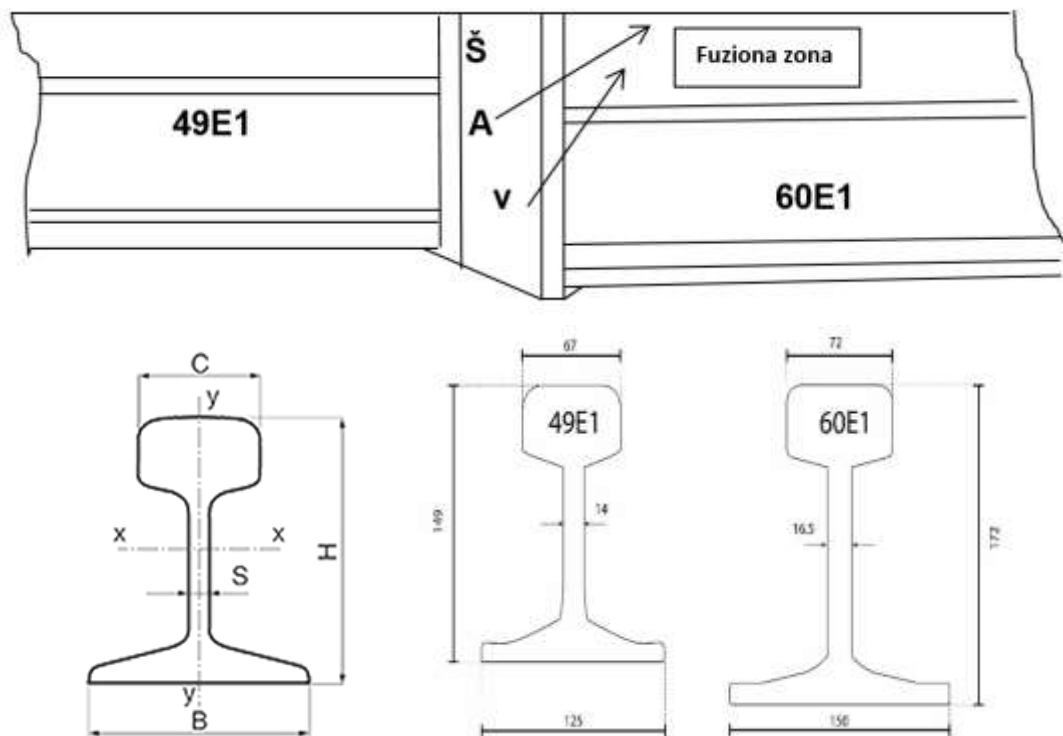
2.2. Eksperimentalne procedure

Izrada probnih prelaznih zavarenih spojeva sprovedena je na ukupno 12 uzoraka. Dimenzije i razlike šine 49E1 i šine 60E1 prikazane su u tabeli 1.

Ilustrativni prikaz izrade zavarenih spojeva prikazan je na slici 3.

Tabela 1. Dimenzije šina 49E1 i 60E1

TIP ŠINE	DIMENZIJE (mm)				
	glava (C)	Visina (H)	stopa (B)	vrat (S)	površina cm ²
49E1	67	149	125	14	62,97
60E1	72	172	150	16,5	76,70
razlika	+5	+23	+25	+2,5	+12,18



Slika 3 - Šematski prikaz prelaznog zavarenog spoja

Probe su rađene na Železnici Srbije u sekciji ZOP Paraćin od strane sertifikovanih varilačkih ekipa. Na slici 4. su prikazane pojedine faze izrade probnih

zavarenih spojeva, kao i proba koje su podvrgnute detaljnim laboratorijskim ispitivanjima.



Slika 4 - Izrada zavarenih spojeva

3. REZULTATI

Zavareni spojevi su ispitivani shodno zahtevima standarda JŽS.Z2.610; UIC860/0 i SRPS EN14730-1:2012.

Ispitivanja su obuhvatala vizuelnu kontrolu svih zavarenih spojeva, ispitivanje makro i mikrostrukture, zatim ultrazvučna ispitivanja (10), ispitivanja

hemijskog sastava termitnog čelika ispune šava, ispitivanje savijanjem i ispitivanje linijske tvrdoće.

3.1. Vizuelna kontrola zavarenih spojeva i makrostruktura

Na ispitivanim uzorcima nisu uočene površinske greške ili bilo koje druge nepravilnosti. Gazeća površina je bez pukotina, pora ili ostataka troske (slika 5).



Slika 5 - Gazeće površine zavarenih šina i makrostruktura zavarenog spoja

Makrostruktura uzdužnog i poprečnog preseka AT prelaznih zavarenih spojeva šina je bez ikakvih uočenih grešaka, slika 6a.

Zona fuzije ima simetričan oblik u odnosu na šav zavarenog spoja. Njena širina iznosi 8 mm, slika 3b.



Slika 6a - Presek zavarenog spoja
(nenagrižen uzorak)



Slika 6b - Zona fuzije zavarenog spoja
(nagrižen uzorak)

3.2. Ispitivanje tvrdoće gazeće površine

Ispitivanje je izvršeno po Brinelu, volfram-karbidnom kuglom prečnika 5 mm, pri opterećenju od 3.000 kg. Ispitana je tvrdoća gazeće površine u tri tačke i rezultati su prikazani u tabeli 2.

Tabela 2. Tvrdoća gazeće površine

Br. Uzorka	Tvrdoća po Brinelu (HB)		
	Tačka 1	Tačka 2	Tačka 3
1.	286	291	288
2.	292	295	294

3.4. Ispitivanje probnim opterećenjem

Ispitivanje probnim opterećenjem vršeno je na presi AMSLER opsega 960 KN. Dobijeni rezultati ispitivanja AT spoja probnim opterećenjem prikazani su u tabeli 3.

Tabela 3. Rezultati ispitivanja AT spoja šine 49E1 na 60E1

Oznaka uzorka	Maksimalna sila	Ugib	Napomena
1	800KN/60sec	12,4mm	Bez loma
2	800KN/60sek	11,9mm	Bez loma

3.4. Ispitivanje homogenosti zavarenog spoja

Ispitivanje homogenosti zavarenog spoja je vršeno ultrazvučnom Impuls-Eho metodom pomoću uređaja

KRAUTKRAMER USM-2, SONDE 006CM3/KBA 45°, 2,25 MHz. Baždarenje komada urađeno je na radom komadu.

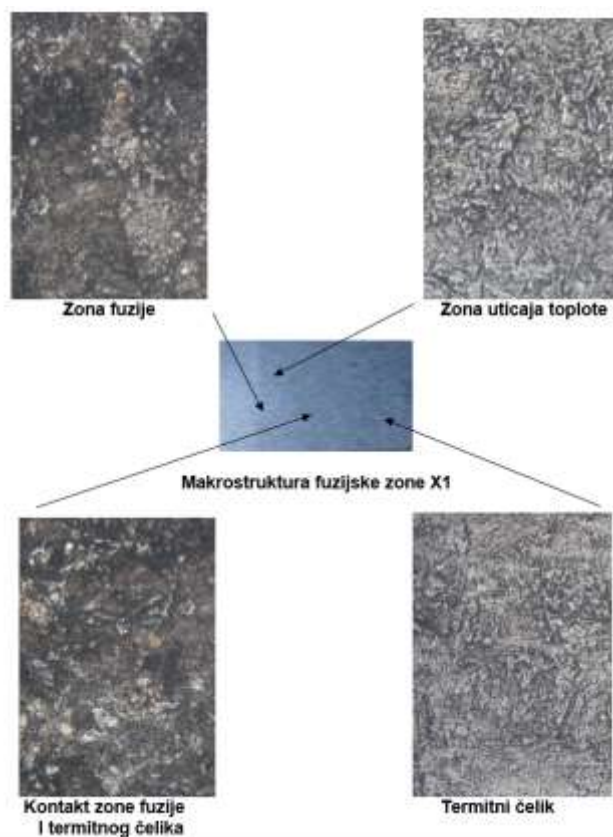
Ispitivanja su pokazala da su zavareni spojevi homogeni, bez unutrašnjih grešaka, što pokazuju uzdužni presek kroz središnju liniju zavarenog spoja, kao i izdužni presek vrha stope sine što se može videti na slici 7.



Slika 7 - Uzdužni presek kroz središnju liniju zavarenog spoja vrha stope šine

3.5. Mikrostruktura fuzijske zone zavarenog spoja

Mikrostruktura osnovnog materijala je feritno-perlitna, sa prosečnom veličinom zrna No.4 prema ASTM skali. Na slici 8. prikazane su mikrostrukture različitih oblasti fuzijske zone i termitnog čelika.

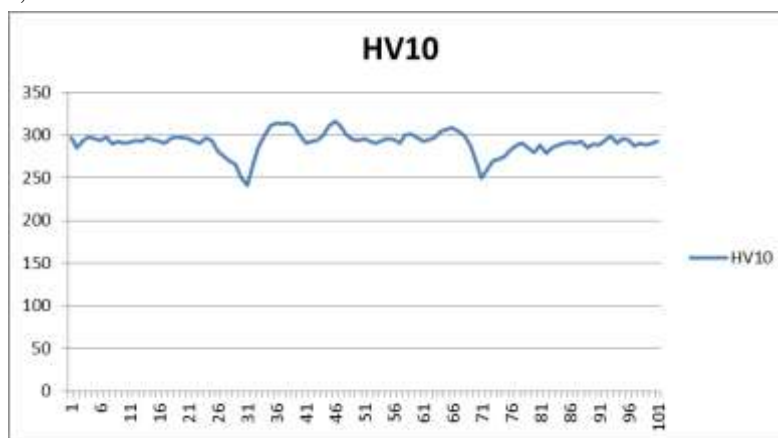


Slika 8 - Mikrostruktura različitih oblasti zone fuzije i termitnog čelika (uvećanje 100x)

3.6. Ispitivanje linijske tvrdoće

Ispitivanje tvrdoće izvršeno je prema standardu SRPS EN 14730.1:2006, odnosno SRPS EN ISO 6507:

2011, metodom po Vickersu, HV 10. Mernja su izvršena na gazećoj površini AT zavarenog spoja, a rezultati su prikazani na slici 9.



Slika 9 - Rezultati merenja tvrdoće po gaznoj površini zavarenog spoja

3.7. Ispitivanje hemijskog sastava

Ispitivanje hemijskog sastava metala šava je vršeno na uređaju BELEC LAB 3000s, a rezultati

srednjih vrednosti ispitivana, izvedeni prema zahtevima standarda SRPS CA1.011.2002, prikazani su u tabeli 4.

Tabela 4. Srednje vrednosti rezultata hemijskog sastava metala šava, mas%

Br.uzorka	C	Si	Mn	P	S	Cu	Sn	V	Al
1	0,54	0,32	1,07	0,022	0,021	0,11	0,001	0,10	0,35
2	0,56	0,315	1,05	0,025	0,020	0,11	0,001	0,11	0,31

4. DISKUSIJA REZULTATA

Rezultati ispitivanja svih zavarenih spojeva pokazuju da projektovani dizajn kalupa, sa optimalno dimenzionisanim ulivnim sistemom, koji je korišćen za izradu probnih prelaznih zavarenih spojeva šina sa 49E1 na 60E1 obezbeđuje ravnomerno odvođenje toplote tokom hlađenja, čime je izbegnuta pojava unutrašnjih napona u šavu i zoni uticaja toplote, koji nastaju zbog neravnomerne promene zapremine u pojedinim delovima šava, usled hlađenja različitim brzinama. Treba naglasiti i da je postojanje unutrašnjih napona takođe izbegnuto, jer ne može doći do „eslobodnog skupljanja“ termalnog čelika, prouzrokovanog otporima nekih delova kalupa. Optimalna visina dva ulivna levka u kalupu obezbeđuje veću brzinu strujanja termalnog čelika u kalupnu šupljinu i maksimalnu ispijnost metalom bez vrtloženja, čime se izbegava pojava poroznosti, segregacija, nedolivenosti i sl.

Unutrašnji naponi usled strukturnih faznih transformacija koje uzrokuju promenu zapremine pri daljem hlađenju (austenita u martenzit u delovima šava koji se hlade brzinom većom od kritične) su takođe izbegnuti, jer je pri projektovanju kalupa uzeto u obzir svako linearno skupljanje metala šava.

Međusobni odnos osnovnih komponenata korisne AT smeše, dodaci za degazaciju i dezoksidaciju,

količina i odabir legirajućih elemenata, kao i topitelja, obezbeđuju, pored zahtevanog hemijskog sastava termalnog čelika, optimalnu temperaturu livenja i optimalnu viskoznoću kako metala tako i troske. Na taj način moguća je izrada prelaznih zavarenih spojeva šina sa 49E1 na 60E1, i shodno zahtevima kvaliteta, i njihova praktična primena na železnicama.

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata izvršenih ispitivanja probnih prelaznih zavarenih spojeva šina 49E1 na 60E1, koja su sprovedena shodno standardima JŽS.Z2.610; UIC-860/0 i SRPS EN14730-1:2012 može se zaključiti sledeće:

- Vizuelnom pregledom svih uzoraka nisu uočene bilo kakve površinske greške ili nepravilnosti.
- Hemijski sastav materijala šava (termalni čelik) je uobičajan za ovaj postupak.
- Makroskopski pregled poprečnog i uzdužnog preseka probnih prelaznih zavarenih spojeva šina 49E1 na 60E1 nije otkrio bilo kakve greške proistekle iz izvedenog postupka spajanja šine AT zavarivanjem.
- Rezultati ispitivanja tvrdoće su pokazali da su izmerene vrednosti uobičajene za ovu vrstu zavarivanja,

- Ispitivanja probnim opterećenjem su pokazala da nije došlo do loma zavarenih spojeva pri maksimalnoj sili od 800KN. Vrednost ugiba pri ispitivanju probnim opterećenjem kod oba uzorka je zadovoljavajuća.
- Pozitivni rezultati su dobijeni zahvaljujući optimalnom dizajnu kalupa i proračunu ulivnog sistema, koji obezbeđuje ravnomerno ulivanje i strujanje termitnog čelika u kalupnu šupljinu, kao i odvođenje toplote nakon ulivanja, odnosno tokom hlađenja zavarenog spoja.
- Materijalni sastav projektovane AT smeše obezbeđuje dobru livkost metala i potpunu ispunjenost u najudaljenijim delovima kalupa.

6. ZAHVALNICA

Autori se zahvaljuju Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (Ugovori broj: 451-03-9/2021-14/200135 i 451-03-9/2021-14/2000-23) na finansijskoj podršci.

LITERATURA

- [1] Railway applications - Track - Rail - Part 1: Vignole railway rails 46 kg/m and above
- [2] Uputstvo za zavarivanje železničkih šina aluminotermijskim postupkom 336, ZJŽ br.93/82-12
- [3] A. Sameea, J. Abdul, Z. Jilabi, *Welding of Rail Steels* A thesis submitted to the University of Manchester for the degree of PhD in the Faculty of Engineering and Physical Sciences 2015.
- [4] V. Manojlović, M. Gavrilovski, Ž. Kamberović, D. Momčilović, Common failures in aluminothermic

welding process and proposal for their prevention, *17 International foundrymen conference*, Opatija, 2018.

- [5] A. L. Manakov, A. D. Abramov, A. S. Ilinykh, M. S. Galay, and Je S. Sidorov., Improvement of aluminothermic welding on the basis of the experimentally-theoretical research of welding seam cooling process, In *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1050, no. 1, p. 012051. IOP Publishing, 2018.
- [6] M. S. Galay, A. S. Ilinykh, Improving the technology of aluminothermic rail welding based on software simulation, In *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1967, no. 1, p. 012063. IOP Publishing, 2021.
- [7] M. Gavrilovski, V. Manojlović, Ž. Kamberović, M. Korać, M. Sokić, Semi-empirical software for the aluminothermic and carbothermic reactions, *Metallurgical and Materials Engineering* 20, no. 3, 199-206, 2014.
- [8] EN 14730-1, Railway applications - Track – Aluminothermic welding of rails - Part 1: Approval of welding processes; German version EN 14730-1:2006
- [9] EN 14732-2, Railway applications - Track – Aluminothermic welding of rails - Part 2: Qualification of aluminothermic welders, approval of contractors and acceptance of welds; German version EN 14730-2:2006
- [10] E. Jasiūnienė, E. Žukauskas, The ultrasonic wave interaction with porosity defects in welded rail head ISSN 1392-2114 ULTRAGARSAS (ULTRASOUND), Vol. 65, No. 1, 2010. 12

SUMMARY

IMPROVEMENT OF AT-WELDING TECHNOLOGY OF RAILWAY RAILS WITH DIFFERENT CROSS SECTIONS

The paper presents a new aluminothermic (AT) welding technology of 49E1 transition rails on 60E1 (EN 13674-1: 2005), based on entirely new materials. It refers to sand molds in which the shape and dimensions of the inflow system are designed to meet all requirements for achieving welded joints of a given quality. The AT mixture was also designed to fulfill those requests; resulting liquid steel has a casting temperature that ensures optimal castability of the metal and slag viscosity. The paper presents the test results of the transients welded joints, following the standards JŽS.Z2.610 and EN 14730-1: 2012, and relates to the determination of mechanical properties of welded joints macrostructural and microstructural characteristics, homogeneity, and chemical composition of thermite steel. The obtained results show that the applied technology is optimal because it ensures the use of this technology in industrial conditions on the railway.

Key Words: welding, casting, casting system, porosity, stresses