



O. Popović, R. Prokić-Cvetković, V. Grabulov, Z. Odanović

IZBOR PUNJENIH ŽICA ZA NAVARIVANJE ŽELEZNIČKIH ŠINA

SELECTION OF THE FLUX CORED WIRES FOR REPAIR WELDING OF THE RAILS

Originalni naučni rad / Original scientific paper

UDK / UDC: 621.791.927.54`264.04:625.173.6

Rad primljen / Paper received:

April 2006.

Ključne reči: Šina, oštećenje, navarivanje, samozaštitna punjena žica, punjena žica u zaštiti gasa.

Izvod

U savremenim uslovima eksploatacije, šine su izložene sve većim brzinama i osovinskim opterećenjima, pa se javljaju i sve veća eksploatacijska oštećenja. Dok je habanje šina značajno smanjeno uvođenjem u upotrebu odgovarajućih čelika i sredstava za podmazivanje, greške nastale usled kontaktnog zamora, tzv. RCF (rolling contact fatigue) greške, postaju sve veći problem na visoko opterećenim prugama. Reparatura oštećenih delova šina postupkom navarivanja je standardna metoda održavanja šina u svetu, a manjim delom kod nas, pa su razvijeni poluautomatski postupci koji su zamenili sporo ručno navarivanje obloženim elektrodama. U radu su prikazani rezultati primene nekih samozaštitnih punjenih žica i punjenih žica za rad u zaštiti CO₂ gasa koji se koriste za navarivanje šina. Prikazano je kako vrsta dodatnog materijala utiče na raspodelu tvrdoće kroz presek spoja i makroskopski izgled navara. Dobijeni rezultati predstavljaju dobru osnovu za dalja ispitivanja u cilju određivanja eksploatacijskog veka repariranih šina.

Izlagano na Međunarodnoj konferenciji "Zavarivanje 2006", Zlatibor, maj 2006

Adresa autora / Author's address:

Olivera Popović, Radica Prokić-Cvetković,
Mašinski fakultet, Kraljice Marije 16, Beograd, Srbija
Vencislav Grabulov,
Vojnotehnički institut, R. Resanovića 1, Beograd, Srbija
Zoran Odanović,
IMS, Bulevar vojvode Mišića 43, Beograd, Srbija

Keywords: Rail, damage, hardfacing, self-shielded flux cored wire, gas-shielded flux cored wire.

Abstract

In modern railway exploitation, rails are exposed to a constant increase of speed and axles loads, which are causing increased exploitation damages. While wear has been reduced by introducing appropriate steel and lubricants, rolling contact fatigue (RCF) defects have become more prominent on highly busy routes. Reparation of damaged rails by hardfacing is standard method of maintenance in the world, but not in our country. Slowly manual processes are replaced by half-automatic welding processes. This paper describes behavior of some self-shielded flux cored wires and gas-shielded flux cored wires which are using for hardfacing processes. Influence of the type of filler material on the hardness distribution and macroscopic view of deposit metal is also shown. These results should be used for further testing according to determination of remain life of repaired rails.

UVOD

Jedno od važnih područja savremene tehnike zavarivanja je navarivanje-nanošenje rastopljenog metala na površinu osnovnog metala koji je zagrejan do temperature topljenja. Važnom prednošću navarivanja, u odnosu na druge postupke, kao što su metalizacija ili elektrolitičko taloženje, smatra se stapanje radnog sloja sa osnovnim metalom. Višekratna regeneracija pohabanih površina navarivanjem višestruko smanjuje utrošak materijala. Većina ljudi nije potpuno svesna značaja reparature u smanjenju troškova održavanja, pri čemu se pored skraćanja vremena u otkazu, povećavaju i bezbednost, efikasnost i produktivnost. Kao elementi neposrednog kontakta sa točkovima, šine i skretnice su izložene intenzivnom habanju i zamoru, koje često prelazi dozvoljene granice. Reparatura oštećenih mesta

navarivanjem površinskog sloja danas se smatra najefikasnijim postupkom održavanja železničkih šina i skretnica. Prema nekim podacima, udeo troškova za šine u celokupnim troškovima za gradnju kolosečnog postrojenja iznosi oko 40%. Zbog toga je održavanje šina reparaturnim zavarivanjem i navarivanjem često jeftinije od njihove zamene. Navarivanjem skretnica, koje su predmet intenzivnijeg habanja nego šine, radni vek se značajno produžava po manjoj ceni, nego da se ishabana komponenta zameni novom. Troškovi navarivanja skretnice iznose oko 20% od nabavke nove. Na švedskim prugama postoji oko 20 000 skretnica od kojih se 2 000 popravi svake godine [1].

Iako su poznate značajne prednosti tehnologije navarivanja, železnička industrija je dosta spora i konzervativna u usvajanju novih tehnologija. To je u početku bilo i opravdano, zbog loše zavarljivosti



visokougličničnih čelika, ali je vremenom i taj problem rešen primenom adekvatnih tehnologija predgrevanja. Danas su procesi navarivanja standardna praksa skoro u celoj Evropi. Tačnije, paradoks je da je postupak reparature oštećenih šina i skretnica najzastupljeniji u najrazvijenijim zemljama. One najviše rade na edukaciji, tehno-ekonomskoj računici, odnosno uštedi. Nasuprot tome, kod nas je i dalje prisutan princip da se reparatura oštećenih šina i skretnica ne isplati.

Materijali za izradu šina

Tipična šina je izrađena od visokougličnog čelika, kod koga su visoka tvrdoća i otpornost na habanje postignuti na račun loše zavarljivosti i žilavosti. Ovi čelici su skloni nastanku prslina i formiranju neotpuštenog martenzita u ZUT-u, pa je neophodno predgrevanja na temperaturu oko 200-300 °C i održavanje međuprolazne temperature radi sprečavanja martenzitne transformacije. Od čelika za šine se zahteva da ima visoku čvrstoću, otpornost na habanje, žilavost, da je dobro zavarljiv i da je što niže cene. Ovi su zahtevi mahom kontradiktorni pa je potrebna posebna tehnologija da bi se proizvela kvalitetna šina koja će ispuniti sve zahteve koji se pred nju postavljaju. Prvi čelik koji je korišćen za šine je upotrebljen u Engleskoj 1857. godine. Mikrostruktura ovih šina je u suštini jednaka današnjim šinama, perlitna struktura ugljenično-manganskog sastava. Sve što su istraživači uradili u poslednjih 140 godina po pitanju čelika za šine vezano je za optimizaciju sadržaja ugljenika i hemijskog sastava u odnosu na zahteve strukturnog stanja perlita i poboljšanje

otpornosti na habanje, odnosno povećanje čistoće čelika i primenu odgovarajućeg režima hlađenja šina posle valjanja sa ciljem smanjenja gasova u šini (pre svega vodonika i azota). Čelici za šine mogu da sadrže od 0.4-0.8 %C, i njihov kvalitet (hemijski sastavi i mehaničke osobine) definiše standard Međunarodne železničke unije UIC 860. U zavisnosti od sadržaja C u čeliku, struktura može da bude pretežno ili potpuno perlitna. Ova struktura ima prilično visoku tvrdoću i otpornost na habanje, što je značajno za eksploataciju. U tabeli 1. dat je hemijski sastav i mehaničke osobine čelika koji se najčešće koriste za izradu šina.

Tvrdoća čelika za šine raste sa smanjenjem interlamelnog prostora u perlitu, ili sa povećanjem udela cementita u perlitu. Prosečna vrednost tvrdoće na vazduhu hlađenih standardnih šina je oko 300 HB. Kontrolisano hlađene šine sa finijim lamelnim rastojanjem imaju i veće tvrdoće, oko 340-390 HB. Pošto tvrdoća raste sa porastom brzine hlađenja, sa istovremenim dobijanjem fine perlitne strukture, utvrđen je maksimalni nivo tvrdoće od 350-390 HB koji istovremeno obezbeđuje i poboljšanje mehaničkih osobina i otpornosti na habanje [2-4].

Treba imati u vidu i još jedan kriterijum. Naime, preporuka UIC-a na bazi višegodišnjeg ispitivanja ovog problema je da odnos tvrdoće točka i šine ne treba da bude veći od 1.1 u korist bandaža točka, tj. bandaži točkova treba da imaju tvrdoću do 10% veću od tvrdoće šine. O tome posebno treba voditi računa pri izboru dodatnog materijala, odnosno njihova tvrdoća mora biti ograničena.

Tabela 1: Hemijski sastav i mehanička svojstva tipičnih perlitnih čelika za šine

Table 1: Chemical composition and mechanical properties of the typical pearlite steels for rails

Kvalitet UIC 860	Sadržaj elemenata u mas. %						Zatezna čvrstoća Rm (N/mm ²)	Izduženje A _c (%)
	C	Mn	Si	Cr	P _{max}	S _{max}		
700	0.40-0.60	0.80-1.25	0.05-0.35	-	0.05	0.05	680-830	≥14
800	0.50-0.70	0.80-1.25	0.10-0.35	-	0.05	0.05	730-830	≥12
900 A	0.60-0.80	0.80-1.30	0.10-0.50	-	0.04	0.04	min 880	≥10
900 B	0.55-0.75	1.30-1.70	0.10-0.50	-	0.04	0.04	≤1030	
1100	0.60-0.82	0.90-1.30	0.30-0.90	0.80-1.30		0.03	≥1080	≥9

Oštećenja šina

Glavni faktori koji definišu degradaciju šina su habanje i zamor, koji učine šinu neupotrebljivom zbog neprihvatljivih profila, prslina, ljušpanja i lomova. Uprkos poboljšanju kvaliteta čelika, veća opterećenja uzrokuju više habanja i zamora, pa do lomova dolazi na manje od 12 meseci (minimalni projektovani životni vek je 7 godina).

Dok je habanje šina značajno smanjeno uvođenjem u upotrebu odgovarajućih čelika i sredstava za podmazivanje, greške nastale usled kontaktnog zamora, tzv. RCF greške, postaju sve veći problem na visoko opterećenim prugama.

Kao rezultat većih napona, lokalno dostignuti napon tečenja može ubrzati inicijaciju i rast zamorne prsline.

Treba naglasiti da su površinske prsline relativno nov problem povezan sa velikim brzinama i opterećenjima. U prošlosti, šine su bile izložene intenzivnom habanju, pa je stalno dolazilo do ljuštenja površinskog sloja, a time i novonastalih prslina. Razvojem modernih čelika za šine koji imaju mnogo veću otpornost na habanje, smanjeno je uklanjanje površinskog sloja, pa inicirane prsline imaju vremena za dalji rast. Tipovi RCF grešaka koji se javljaju u šinama su klasifikovani prema katalogu DB (Deutsche Bahn) [3].



Na našim prugama habanje je i dalje najveći oblik oštećenja šina, a naročito je povećano na sastavima. Dozvoljena razlika u vertikalnoj pohabanosti glave jedne šine u sredini i na sastavu je samo 2,5 mm. Na slici 1 dat je izgled tipično oštećene glave šine u pravcu i na sastavu u pravoj pruzi [6].

Na slici 2. je prikazano oštećenje unutrašnje ivice glave spoljne šine, koje nastaje zbog centrifugalne sile koja teži da izbacilo vozilo ka spoljnoj strani koloseka, pri čemu venac spoljnog točka naleže na ivicu spoljne šine. Takvo oštećenje je moguće reparirati navarivanjem, slika 3.

U zavisnosti od karaktera i veličine oštećenja šine, reparatura navarivanjem se vrši u više prolaza, a u jednom, odnosno više slojeva, slika 4.

Dodatni materijali za navarivanje šina

Za reparaturno navarivanje šina i skretnica mogu da se koriste različiti dodatni i pomoćni materijali u zavisnosti od odabranog postupka navarivanja. Elektrode za ručno navarivanje su korišćene do pre 15 godina, ali noviji poluautomatski i automatski postupci su zamenili sporije ručno navarivanje. Što se opreme tiče, trend je da se automatizuje proces navarivanja, tako da zavarivač koji manipuliše lukom ne utiče na kvalitet navara.

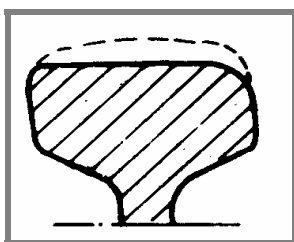
Oprema za automatsko navarivanje treba da bude mala, i tim od dva čoveka treba da je u mogućnosti da podigne celu mašinu i ručno je postavi i skine sa šina. Kod nas se još uvek masovno koristi postupak ručnog elektrolučnog navarivanja obloženim elektrodama [5].

Za poluautomatske postupke navarivanja, u svetu, koriste se punjene žice koje se tope u zaštitnoj atmosferi gasa (obično CO_2 ili mešavine CO_2+Ar) ili samozaštitne.

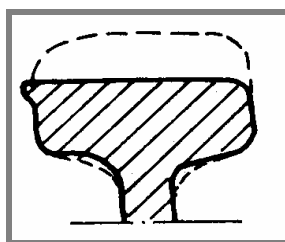
Navarivanje u zaštiti gasa, korišćenjem bilo punjene ili metalne žice, je veoma popularno zbog dobrog kvaliteta spoja, kao i ekonomičnosti procesa. Pri tome se mora koristiti zaštitni gas, čija je primarna funkcija da štiti istopljeni metal od kiseonika i azota iz vazduha, kao i da stabilizuje luk.

Zaštitni gas ne utiče samo na kvalitet spoja, već određuje oblik i dubinu uvarivanja. Takođe, utiče i na količinu zaostalog vodonika i azota rastvorenih u metalu šava.

U cilju još jednostavnijeg rukovanja i povećanja produktivnosti razvijene su samozaštitne punjene žice. One se koriste bez dodatne zaštite gasa, minimiziraju vreme zatvaranja pruge zbog popravke i njima se može zavarivati ručno i automatski.



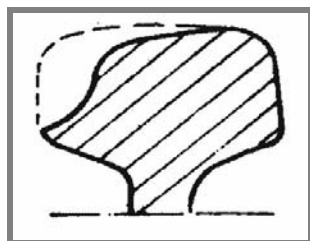
a) u pravcu



b) na sastavu

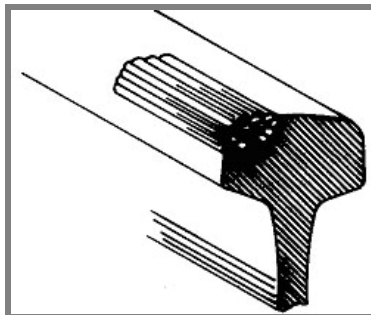
Slika 1: Šematski izgled pohabane šine

Figure 1: Schematic presentation of the worn rail head

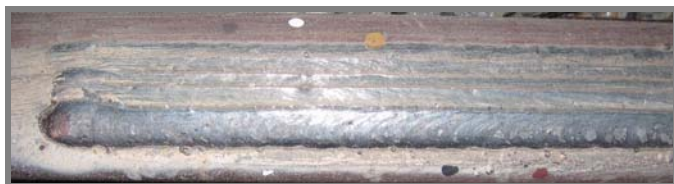


Slika 2: Izgled pohabane šine u krivini

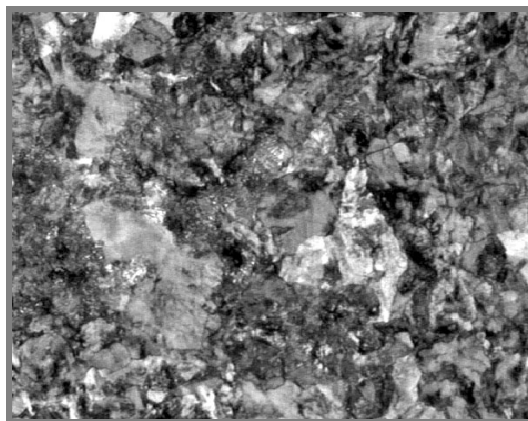
Figure 2: Worn rail head in the curve



Slika 3: Reparatura navarivanjem oštećene vozne ivice
Figure 3: Repair welded edge



Slika 4: Izgled navarenih slojeva u više prolaza
Figure 4: Repair welded rail by multipass welding



Slika 5: Mikrostruktura ispitivane šine, 200x
Figure 5: Microstructure of the tested rail, 200x

Razvoj raznih varijanti samozaštitnih žica je predmet velikog broja istraživanja u današnje vreme iz dva razloga.

Prvi je što je proces veoma jednostavan i popularan za mnoge namene.

Drugi razlog je nastao iz potrebe rešavanja problema koji se javljaju kod ovog postupka. Naime, usled nepostojanja gasne zaštite i specifičnosti punjenja ovih žica, u spojevima dolazi do stvaranja uključaka i poroznosti, pa su istraživanja usmerena u pravcu otklanjanja ovih problema.

Postoje podaci da su isparenja pri zavarivanju samozaštitnim žicama otrovna. Stoga u laboratorijskim uslovima rada sa ovom žicom potrebno je obezbediti dobru ventilaciju, a pri radu na terenu treba voditi računa o pravcu vetra. Zbog toga samozaštitne žice nisu pogodne za ručne postupke zavarivanja.

Naravno, ne može se ručno elektrolučno zavarivanje svuda zanemariti. Uvek će biti popravki, koje su zahvaljujući raznim okolnostima pogodnije za ručno zavarivanje, poput malih popravki ili ograničenog pristupa.



EKSPERIMENTALNI DEO

Polazeći od očekivanja da će poluautomatski, odnosno automatski postupak navarivanja punjenim žicama u varijantama kao samozaštitne ili u kombinaciji sa dopunskom zaštitom gasa (CO₂ ili mešavine CO₂+Ar) biti u budućnosti dominantno korišćen, sprovedeno je istraživanje sa ciljem da se od više vrsta dodatnih žica odaberu one koje bi se mogle preporučiti za regeneraciju šina koje su najmasovnije na našim prugama.

Osnovni materijal

Za navarivanje su korišćene šine tipa 49, prema JUS, koje su i najčešće korišćene šine na našoj železnici. Prema standardu UIC 860 ove šine odgovaraju grupi 700. Hemijski sastav i mehaničke osobine ispitivanih šina dati su u tabeli 2.

Karakteristična mikrostruktura čelika od koga je izrađena šina je pretežno perlitna, slika 5.

Dodatni materijal

Kao dodatni materijal pri navarivanju korišćene su samozaštitne punjene žice i punjene žice za rad u zaštiti gasa.

Podaci o korišćenim elektrodnim žicama, njihovom hemijskom sastavu i mehaničkim osobinama dati su u tabeli 3.

Tehnologija navarivanja

Probni uzorci su navarivani različitim dodatnim materijalima pomoću MIG/MAG uređaja domaće proizvodnje. Uređaj je snabdeven sa automatom za podužno navarivanje dužine 2.5 m, dodavačem žice i pištoljem za navarivanje u poluautomatskom postupku, kao i elektronikom za kontrolu rada automata

Obzirom na neophodno predgrevanje (CE=0.64), proračunata temperatura predgrevanja od 200°C je postignuta pomoću elektrootpornih grejača snage 6 kW, pri čemu su šine postavljene na postolje sa azbestnom izolacijom i pokrivene staklenom vunom.

Na osnovu preporučenih vrednosti, usvojena je optimalna količina unete toplote od oko 10 kJ/cm. Broj slojeva je zavisio od visine pojedinačnih navara, i određivan je za svaki probni uzorak tako da ukupna visina navara bude oko 8 mm, što je neophodno za dalja ispitivanja.

Radi sprečavanja difuzije vodonika iz metala navara u ZUT i izbegavanja martenzitne strukture uz liniju spoja, probe III i IV zavarene su sa međuslojem austenitne strukture, odnosno niskouglenične žice.

U tabelama 4 i 5 dati su parametri i tehnologije navarivanja, kao i karakteristike navarenih slojeva.

Tabela 2: Hemijski sastav i mehaničke osobine osnovnog materijala

Table 2: Chemical composition and mechanical properties of the base material

Sadržaj elemenata u mas.%							Zatezna čvrstoća R _m (N/mm ²)	Izduženje A _c (%)
C	Si	Mn	P	S	Cu	Al		
0.52	0.39	1.06	0.042	0.038	0.011	0.006	680-830	≥14

Tabela 3: Osobine dodatnog materijala

Table 3: Properties of the filler material

Redni broj	Oznaka i tip žice	Prečnik žice, mm	Hemijski sastav							Tvrdoca navara HRc	Vrsta struje
			C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Al		
1.	OK Tubrodur15.43 (samozašt.žica)	1.6	0.15	<0.5	1.1	1.0	0.5	2.3	1.6	30-40	= (+)
2.	Filcord D 5S (samozašt.žica)	1.6	0.15	<0.5	1.1	1.0	0.5	2.3	1.5	30-40	= (+)
3.	Filcord D 6S (samozašt.žica)	1.6	0.15	0.5	2.0	2.5	0.4	-	-	38-42	= (+)
4.	Filcord D307 (samozašt.žica)	1.6	0.1	0.4	6	19	-	8.5	-	-	= (+)
5.	Filtub 12B (punjena žica)	1.2	0.05	0.35	1.4	-	-	-	-	-	= (+)
6.	Filtub dur 12 (punjena žica)	1.6	0.12	0.6	1.5	5.5	1.0	-	-	37-42	= (+)

**Tabela 4:** Parametri navarivanja samozaštitnom i punjenom žicom**Table 4:** Welding parameters

Oznaka ploče	Oznaka elektrode	Prečnik (mm)	Struja zavarivanja, (A)	Napon (V)	Brzina zavarivanja, (cm/s)	Pogonska energija, (J/cm)
I	OK Tubrodur15.43	1.6	235	30	40	10 520
II	Filcord D 5S	1.6	235	30	41	10 320
III	pufer sloj Filcord D307	1.6	200	29	39.5	8 820
	Filcord D 6S	1.6	235	29	39.5	10 350
IV	pufer sloj Filtub 12B T 42 4B C3 H5 prema EN 758	1.2	180	29	39.5	7 940
	Filtub dur 12 MSG 5-GF-M21-40-P prema DIN 8555	1.6	240	29	39.5	10 570

Tabela 5: Tehnologija navarivanja i karakteristike navarenih slojeva**Table 5:** Repair welding technology and properties of the layers

Oznaka ploče	Dodatni materijal	Protok gasa	Brzina navarivanja (cm/min)	Brzina dodavanja žice (cm/s)	Broj slojeva	Broj prolaza u sloju	Ukupna visina navara (mm)	Međuprolazna temperatura (°C)
I	OK Tubrodur15.43	-	40	11.4	3	7	8-9	200
II	Filcord D 5S	-	41	12.2	3	7	7.5	~200
III	Filcord D307	-	39.5	9	1	7	3.5	8 ~200
	Filcord D 6S		39.5	9	2	6	4.5	
IV	Filtub 12B T 42 4B C3 H5 prema EN 758	CO ₂ , 16 l/min	39.5	9	1	8	2.5	8.5-9 ~200
	Filtub dur 12 MSG 5-GF-M21-40-P prema DIN 8555	CO ₂ , 16 l/min	39.5	9	2	6	6	

REZULTATI I DISKUSIJA

Ponašanje dodatnog materijala pri navarivanju

Na osnovu iskustvenog praćenja procesa navarivanja i vizuelnog izgleda navara, mogu se navesti sledeće karakteristike ponašanja dodatnog materijala pri navarivanju:

1. Uzorak I-OK Tubrodur 15.43 – Luk je stabilan, izgled šava gladak, rasprskavanje je umereno (u dozvoljenim granicama), troska se veoma lako uklanja (čišćenje čeličnom četkom). Pri navarivanju

drugog i trećeg sloja prisutno je veće bobičenje, s obzirom na tvrđu podlogu. Međuprolazna temperatura je sve vreme na granici preporučene.

2. Uzorak II-Filcord D 5S – Uočeno je veće rasprskavanje nego uzorka I. Površina šava nije sjajna ni glatka. Na površini navara stvara se staklasta prevlaka koja se teško otklanja čeličnom četkom. Ova prevlaka se ponaša kao neka vrsta izolatora, što veoma utiče na stabilnost luka. Troska u klasičnom obliku ne postoji, već se mestimično koncentriše u vidu nakupina i vrlo teško se skida. Pri navarivanju drugog i trećeg sloja luk se teško uspostavlja i nestabilan je. Uočeno je loše



razlivanje tečnog navara, bez obzira na visok napon navarivanja. Pri navarivanju je često dolazilo do zaplitanja i zaglavljivanja elektrodne žice u glavi pištolja, što je usporavalo proces navarivanja.

3. **Uzorak III-Filcord D 307-međusloj, Filcord D 6S-navar** - Pri nanošenju međusloja luk je stabilan, ali ima rasprskavanje. Šav je gladak. Troska postoji, u obliku glazure, lako se skida. Pri navarivanju drugog i trećeg sloja žicom Filcord D 6S luk je stabilan. Izgled šava je zadovoljavajući, mada nije sjajan. Troska ne prekriva ceo var, već se koncentriše na nekim mestima. Lakše se skida nego u prethodnom slučaju.
4. **Uzorak IV-Filtub 12B-međusloj, Filtub dur 12-navar** - Navarivanje u zaštiti CO₂. Pri nanošenju međusloja luk je veoma nestabilan, pršti na lice; troska je svetlo braon boje, teško se skida. Pri navarivanju drugog i trećeg sloja žicom Filtub dur 12 luk je relativno stabilan, ima dosta rasprskavanja; dobro razlivanje dodatnog materijala. Troska je metalno sive boje, ima je malo, skoncentrisana je na sredini.

Najveća stabilnost luka je pri eksperimentisanju sa samozaštitnom žicom OK Tubrodur 15.43. U tom slučaju je i najlepší izgled šava, nema rasprskavanja, troska se idealno skida u velikim komadima. Proces navarivanja je kontinualan, tj. nema zastoja zbog uplitanja ili zaglavljivanja žice. Ova konstatacija ne diskvalifikuje ostale dodatne materijale.

Makroskopska ispitivanja

Za makroskopska ispitivanja navarenog spoja korišćeni su uzorci isečeni iz navarenih proba, koji je potom polirani i nagriženi u 10%-nom nitalu. Makrosnimci svih probnih uzoraka dati su u tabeli 6. Na prikazanim makrostrukturama uzoraka I-IV nije uočeno prisustvo prslina u ZUT. U navarenim slojevima uzorka II, uočava se veliki broj uključaka troske, što se objašnjava lošim tehnološkim karakteristikama same elektrodne žice.

Ispitivanja tvrdoće

Rezultati merenja tvrdoće Vickersovom metodom pri opterećenju 10 daN (15s) prikazani na slikama 6-9.

Dijagrami promene tvrdoće kroz navareni spoj pre svega pokazuju da su male razlike u tvrdoći osnovnog materijala u šinama koje su korišćene u eksperimentu.

Tvrdoća ZUT-a ispod navara može se dovesti u vezu sa energetskim nivoom prvog sloja navarivanja, jer su međuslojevi navarivani uz nešto niži unos energije (tabela 4), međutim ni u jednom slučaju tvrdoća ZUT-a nije prešla vrednost 350 HV. Konstatuju se određene razlike u tvrdoći prvog sloja, jer kao što se i očekivalo, međuslojevi svojim hemijskim sastavom, povećanom plastičnošću i smanjenom tvrdoćom treba da prime zatežuće napone i spreče pojavu prslina.

Tvrdoća kroz ostale navarene slojeve je na nivou tvrdoće beinitnih čelika za šine (do 400 HV) i pokazuje zadovoljavajuću homogenost.



uzorak br. I



uzorak br. II

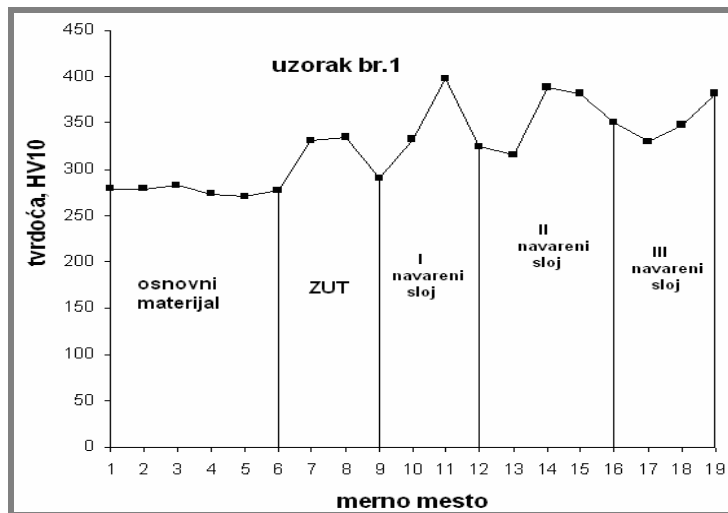


uzorak br. III

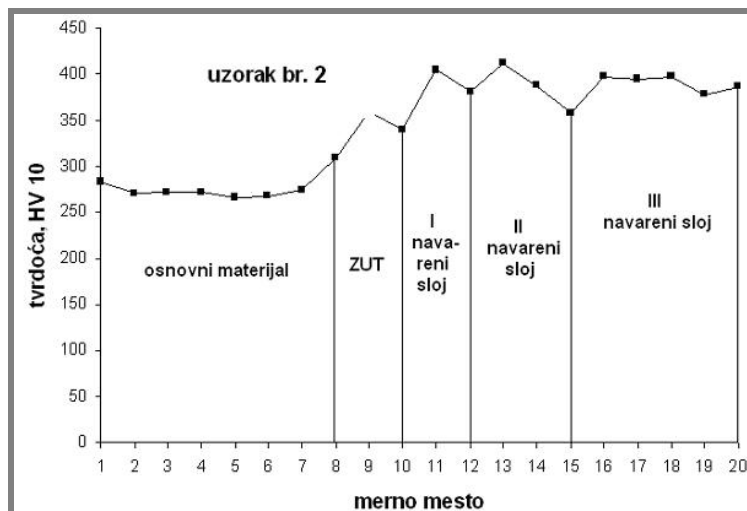


uzorak br. IV

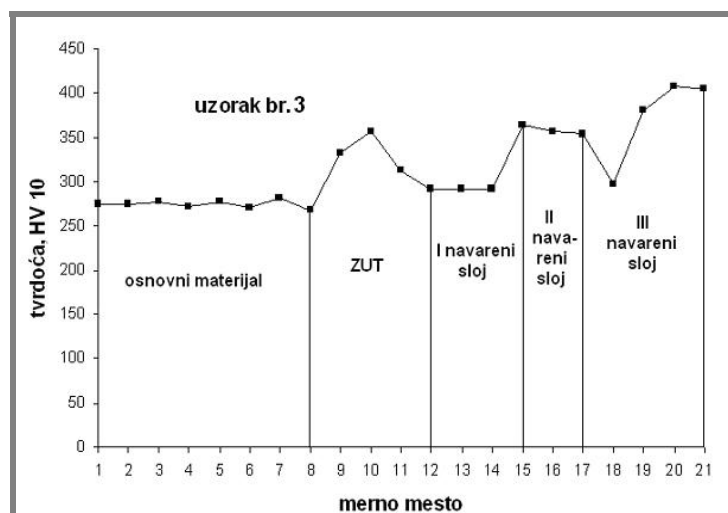
Tabela 6: Makrosnimci probnih uzoraka I-IV
Table 6: Macrostructure of the test samples I-IV



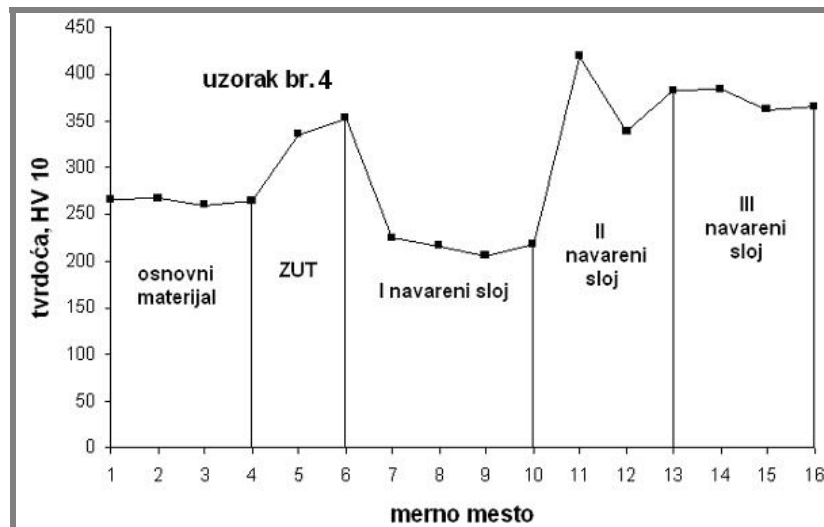
Slika 6: Promena tvrdoće navarenog spoja uzorka I
 Figure 6: Hardness of the repaired joint, sample I



Slika 7: Promena tvrdoće navarenog spoja uzorka II
 Figure 7: Hardness of the repaired joint, sample II



Slika 8: Promena tvrdoće navarenog spoja uzorka III
 Figure 8: Hardness of the repaired joint, sample III



Slika 9: Promena tvrdoće navarenog spoja uzorka IV
Figure 9: Hardness of the repaired joint, sample IV

ZAKLJUČAK

Na osnovu sprovedenih istraživanja mogu da se izvedu sledeći zaključci:

- reparaturno navarivanje šina i skretnica poluautomatskim postupkom ima značajne tehnološke prednosti u odnosu na zamenu novim delovima. Popravkom samo jedne skretnice isplati se nabavka uređaja za navarivanje,
- najefikasniji postupak navarivanja je poluautomatsko navarivanje samozaštitnom punjenom žicom,
- za dobijanje kvalitetnog navarenog sloja neophodno je strogo poštovanje propisane tehnologije navarivanja, koja podrazumeva obavezno predgrevanje na oko 200°C zbog ograničene zavarljivosti materijala, kao i kontrolu međuprolazne temperature,
- na osnovu ponašanja pri navarivanju i rezultata ispitivanja navarenih spojeva, preporučuje se korišćenje samozaštitne punjene elektrodne žice OK Tubrodur 15.43,

- u daljim istraživanjima treba istražiti uticaj parametara režima navarivanja na optimizaciju osobina spoja,
- proširiti obim istraživanja na dobijanje podataka o strukturnom i mehaničko-tehnološkom stanju u navaru i ZUT-u, odnosno otpornosti na pojavu krtosti i zamora.

LITERATURA

- [1] B. Dahl, B. Mogard, B. Grefot, B. Ulander, Repair of rails on-site by welding, Svetsaren No. 2, Vol. 50, str. 10-14, ESAB Group, 1995.
- [2] K.H. Z. Gahr, Microstructure and wear of materials, Tribology series 10, Elsevier Science Publishers, 1987.
- [3] D. F. Cannon, K. O. Edel, S. L. Grassie and K. Sawley, Rail defects: an overview, Fatigue Fract. Engng. Mater. Struct. 26, 2003, 865-887
- [4] P. Pointner, N. Frank: Analysis of rollong contact fatigue helps develop tougher rail steels, Railway Gazzete International, November 1999., 721-725
- [5] Studija opravdanosti regeneracije železničkih šina (skretnica i delova koloseka) postupkom navarivanja, Saobraćajni institut, CIP, 1997.
- [6] T. Milojković, Gornji stroj železnica, II izmenjeno i dopunjeno izdanje, Želnid, Beograd, 2000.