



A. Alil, M. Prokolab, M. Prvulović, Z. Milutinović

## SANACIJA ČELIČNE KONSTRUKCIJE REŠETKASTOG NOSAČA AUTODIZALICE PINGUELY TL 969

### REPAIR OF STEEL CONSTRUCTION ON TRUCK-MOUNTED CRANE PINGUELY TL 969

**Stručni rad / Professional paper**

**UDK / UDC:** 621.875-21:629.791.052

**Rad primljen / Paper received:**

06.04.2012.

**Ključne reči:** sanacija, mikrolegirani čelik, zavarivanje, obložene elektrode.

**Adresa autora / Author's address:**

A. Alil, M. Prokolab, M. Prvulović, Z. Milutinović,  
Institut Goša, M. Rakića 35, 11000 Beograd, Srbija.  
E-mail: ana.alil@institutgosa.rs

**Keywords:** repair, microalloyed steel, welding, covered electrodes.

#### UVOD

Rešetkasti nosač autodizalice je važan konstrukcioni element koji se sastoji od međusobno povezanih opterećenih štapova koji pružaju mogućnost da se premoste velika naprezanja koja nastaju tokom eksploatacije. Čelična konstrukcija od koje je izrađen rešetkasti nosač autodizalice spaja se između ostalih i postupkom zavarivanja. Svaki zavareni spoj bez obzira koliko uspešno bio izveden, po svom karakteru predstavlja grešku u materijalu jer narušava njegovu homogenost.

Zavareni spoj je mesto lokalne geometrijske i mikrostrukturne nehomogenosti zbog čega je moguća pojava inicijalnih prslina u zavarenom spoju. Prsline deluju kao koncentratori naprezanja i omogućuju da stvarni napon lokalno prevaziđe veličinu napona za njen nestabilan rast što dovodi do lomova u toku eksploatacije [1-3]. U ovom radu dat je način sanacije čelične konstrukcije rešetkastog nosača autodizalice kao i sama tehnologija zavarivanja.

#### Analiza stanja rešetkastog nosača autodizalice pre sanacije

U cilju utvrđivanja stanja oštećene čelične konstrukcije rešetkastog nosača autodizalice nosivosti 95 t, izvršen je preliminarni vizuelni pregled stanja zavarenih spojeva i osnovnog materijala rešetkastog nosačacevnih profila. Takođe, urađena je i reatestacija hemijskog sastava postojećeg i ugrađenog osnovnog materijala (cevni profili) kao i mehaničkih osobina postojećeg i ugrađenog osnovnog materijala (cevni profili).

Preliminarni vizuelni pregled stanja oštećene čelične konstrukcije rešetkastog nosača autodizalice ukazao je na izrazito prisustvo deformacija i prslina, od kojih su neke prikazane na slici 1 (a-c). Na slici 1a i slici 1b prikazane su deformacije usled savijanja a na slici 1c deformacije koje su nastale kao posledica uvijanja.

#### Mere za sanaciju

Na osnovu rezultata ispitivanja odlučeno je da se izvrši sanacija rešetkastog nosača ispravljanjem jednog dela postojećih cevni profila i zamenom jednog dela cevni

profila sa novim čeličnim cevima od mikrolegiranog čelika 20MnV6 (EN 10294-1) i konstrukcionog čelika S 355J2G3 (SRPS EN 10219).

Prilikom sanacije težilo se optimalnoj primeni postupaka, kao što je sečenje, zagrevanje, žljebljenje i zavarivanje, u cilju svođenja na minimum uticaja dodatnih napona i deformacija, koji su neminovni prilikom remonta [4,5].

Zbog obima i složenosti radova pri sanaciji rešetkastog nosača autodizalice izvršene su sledeće pripreme aktivnosti:

- Čišćenje površine delova rešetkastog nosača od premaza brušenjem i peskarenjem;
- Transport rešetkastog nosača u natkriveni prostor i postavljanje na nosače u položaj za izvođenje planiranih radova;
- Obezbeđenje opreme za autogeno sečenje, brušenje i zavarivanje materijala;
- Obezbeđenje aparata za gasno predgrevanje i dogrevanje zavarenih spojeva kao i kontaktno merenje temperature;
- Obezbeđenje materijala za pokrivanje zavarenih spojeva i delova čelične konstrukcije nakon zavarivanja radi što šporijeg hlađenja;
- Formiranje ekipe od inženjera zavarivanja i atestiranih zavarivača kao i pomoćnog osoblja, koje će obavljati poslove sečenja, brušenja i zagrevanja materijala i zavarenih spojeva.

#### Osobine osnovnog materijala

U tabelama 1 i 2 dati su hemijski sastavi i mehaničke osobine osnovnih materijala, prema odgovarajućem standardu, od kojih je izrađena čelična konstrukcija rešetkastog nosača autodizalice: cevni profili – bešavne cevi  $\varnothing 70 \times 5$  mm ("postojeći materijal") od mikrolegiranog čelika S 690QL (EN 10137); cevni profili – bešavne cevi  $\varnothing 38 \times 3$  mm i  $\varnothing 27 \times 3$  mm ("postojeći materijal") od konstrukcionih čelika S 355J2H, odnosno S275J2H (SRPS EN 10219); bešavne cevi  $\varnothing 72 \times 5$  mm ("ugrađeni materijal") od mikrolegiranog čelika 20MnV6 (EN 10294-1) i cevni profili – bešavne cevi



Ø 38 x 3 mm ("ugrađeni materijal") od konstrukcionih čelika S 355J2G3 (SRPS EN 10219).

Nemogućnost nabavke novih cevnih profila od ovog čelika uslovlila je primenu cevnih profila Ø 72 x 5 mm ("ugrađeni materijal") od mikrolegiranog čelika 20MnV6, koji se po hemijskom sastavu i mehaničkim osobinama razlikuje od postojećeg. Tačnije, granica razvlačenja je niža za ≈ 40% a žilavost je niža od 28 J na -20 °C

### Zavarljivost

Čelici S275J2H, S355J2H, pripadaju grupi konstrukcionih ugljeničnih čelika koji imaju dobru

zavarljivost, a S690Q i 20MnV6 grupi mikrolegiranih čelika. U slučaju ove konstrukcije kod koje se očekuju visoka naponska stanja usled zavarivanja (uklješteni spojevi, nakupine spojeva) potrebno je predgrevanje i lagano hlađenje. Posle zavarivanja nije potrebna termička obrada za otklanjanje zaostalih napona [3, 5].

### Postupci zavarivanja

Analiziranjem kvaliteta i dimenzija osnovnog materijala, obima i vrste posla, raspoložive opreme i geometrijske složenosti konstrukcije za sanaciju čelične konstrukcije rešetkastog nosača može se primeniti E(111) postupak, odnosno ručno elektrolučno zavarivanje obloženom elektrodom..



a)



b)



c)

**Slika 1:** Deformacije i prsline na rešetkastom nosaču autodizalice

**Figure 1:** Deformation and cracks on steel construction of truck-mounted crane

**Tabela 1:** Hemijski sastav osnovnih materijala,%

**Table 1:** Chemical composition of base material, %

Oznake čelika	Hemijski sastav, %												
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Al <sub>min.</sub>	Mo	Nb	Ni	Ti	V	B
SRPS EN 10027-1													
S355J2H	0.22	1.6	0.55	0.030	0.030	/	/	/	/	/	/	/	/
S275J2H	0.20	1.5	0.03	0.030	0.030	/	/	/	/	/	/	/	/
S690QL	0.20	1.7	0.80	0.025	0.015	1.50	0.018	0.70	0.06	2.00	0.12	0.12	0.80
20MnV6	0.20	1.6	0.35	0.03	0.04	/	/	/	/	/	/	0.15	/



Tabela 2: Mehaničke osobine osnovnih materijala

Table 2: Mechanical properties of base material

Oznake čelika		R <sub>e</sub> min. N/mm <sup>2</sup>	R <sub>m</sub> min. N/mm <sup>2</sup>	A min. %	KVmin. J
SRPS EN 10027-1	SRPS EN 10027-2				
S355J2H	1.0576	355	470-630	20	27 (-20°C)
S275J2H	1.0138	275	410-560	20	27 (-20°C)
S690QL	1.8031	690	720-900	14	60 (20°C)
20MnV6		470	620	18	28 (-20°C)

### Dodatni materijali

Na osnovu kvaliteta i dimenzija osnovnog materijala, složenosti konstrukcije i položaja zavarivanja određena je manganom i molibdenom legirana bazična elektroda E 50 2 Mo B 42 (EN 499), komercijalnog naziva EVB60 (SŽ Elektrode Jesenice), prečnika  $\varnothing 2.5$  i  $\varnothing 3.25$  mm.

U tabelama 3 i 4 dati su hemijski sastav i mehaničke osobine čistog metala šava.

### Izbor parametara zavarivanja

Parametri E (111) postupka zavarivanja su:

- Vrsta struje zavarivanja: (=) + pol za bazičnu elektrodu,
- Jačina struje zavarivanja: 70 – 90 A za elektrodu  $\varnothing 2.5$  mm,
- 120 – 140 A za elektrodu  $\varnothing 3.25$  mm.

### Način izvođenja karakterističnih spojeva

Na slici 2 prikazan je položaj rešetkastog nosača pre početka sanacije.

Vreme od pripreme žljeba do zavarivanja delova treba da bude što kraće kako bi se mogućnost naknadnog zaprljanja svelo na najmanju meru. Površine za zavarivanje (stranice žljeba) formirane su mehaničkim postupcima [3, 5].

Sve površine u širini min. 30 mm od ivice žljebova neophodno je bilo očistiti od korozije čeličnom četkom do metalnog sjaja. Zamašćene površine očišćene su koncentrovanim alkoholom, trihloretilenom ili tetrahloretilenom, minimalno 50 mm od ivice žljeba.

### Zavarivanje delova čelične konstrukcije rešetkastog nosača

Na bočnoj strani rešetkastog nosača isečen je deformisani deo gornjeg podužnog cevnog profila  $\varnothing 70$  x 5 mm (pojasni cevni profil) u dužini od 1850 mm.

Na krajevima postojećih cevnih profila postavljene su čelične čaure. Nakon uvlačenja čaure u cevni profil do oko polovine dužine čaure ( $\approx 25$ mm) izvršeno je njihovo spajanje zavarivanjem sa jednim prolazom.

Nakon toga izrađene su stranice žljeba na postojećim cevnim profilima  $\varnothing 70$  x 5 mm i ispravljenom cevnom profilu  $\varnothing 70$  x 5 mm dužine 1850 mm.

Nakon odstranjenja sečenjem preostalog deformisanog dela donjeg pojasnog profila  $\varnothing 70$  x 5 mm (slika 2) u dužini od 480 mm, u postojeći cevni profil postavljene su čelične čaure od punog materijala dimenzija  $\varnothing 60$  x 80 mm.

Pre ugradnje novih cevnih profila izvršena je provera geometrije (oblika i dimenzija) rešetkastog nosača i ispravljeni su manje deformisani delovi cevnih profila. Nakon toga, izvršeno je montiranje postojećeg cevnog profila  $\varnothing 70$  x 5 mm dužine 1850 mm i novog cevnog profila  $\varnothing 71$  x 6 mm na čaure, radi postizanja saosnosti i formiranja žljeba.

Potom je izvršena provera geometrije konstrukcije, predgrevanje i zavarivanje cevnih profila sa dva do tri simetrično raspoređena pripoja veličine  $\approx 5$  mm.

Pripoji se izvode pod istim uslovima kao i koreni zavar i obavezno se moraju pretopiti ili prebrusiti. Ovaj zahtev važi kod svih zavarenih spojeva gde su prisutni pripoji.

Tabela 3: Hemijski sastav čistog metala šava, %

Table 3: Chemical composition of filler metal, %

C	Si	Mn	Mo
0.10	0.40	1.30	0.35

Tabela 4: Mehaničke osobine čistog metala šava

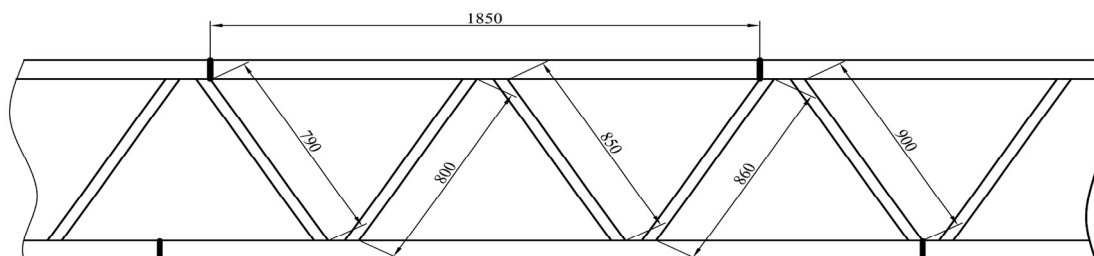
Table 4: Mechanical properties of filler metal

R <sub>p0.2</sub> N/mm <sup>2</sup>	R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>	A <sub>5</sub> %	KV, -40 °C J
> 520	620 - 720	> 22	> 47



Slika 2: Položaj rešetkastog nosača pre početka sanacije

Figure 2: Position of steel construction of truck-mounted crane before repair



Slika 3: Šema zavarivanja cevnih profila

Figure 3: Sheme of tube profiles welding

Spajane su cevi  $\varnothing 70 \times 5$  mm od materijala S690QL, kao i cevni profili  $\varnothing 70 \times 5$  mm od materijala S690QL sa cevnim profilima  $\varnothing 70 \times 6$  mm od materijala 20MnV6. Jačina struje koja se koristila za koreni prolaz je bila u intervalu 70-90 A za prečnik elektrode  $\varnothing 2.5$  mm, dok je za popunu korišćena struja jačine 120-140 A za prečnik elektrode  $\varnothing 3.25$  mm uz predrevanje od  $150^\circ\text{C}$ .

Na postojećoj bočnoj strani rešetkastog nosača postavljeno je i izvršeno pripajanje zavarivanjem dijagonalnih štapova ( $\varnothing 38 \times 3.2$  mm) kao što je dato na šemi na slici 3. Pripajanje je izvršeno sa dva simetrično raspoređena pripoja. Dijagonalni štapovi (cevni profili)  $\varnothing 38 \times 3.2$  mm dužine 790 mm i 900 mm su postojeći profili a novo ugrađeni cevni profili  $\varnothing 38 \times 3.2$  mm su dužine 800 mm, 850 mm i 860 mm.

U donjem delu (donjoj zoni) rešetkastog nosača (sl. 2), gde su prethodno sečenjem uklonjeni dijagonalni štapovi, postavljeno je pet novih štapova (cevni profila)  $\varnothing 38 \times 3.2$  mm.

Preostali štapovi u ovoj zoni, koji su izrađeni od dorađenih postojećih štapova ( $\varnothing 27 \times 3$  mm), postavljeni su na prethodne pozicije. Pripajanje štapova izvršeno je sa dva simetrično raspoređena pripoja.

U gornjem delu (gornjoj zoni) rešetkastog nosača (sl. 2) gde je prethodno sečenjem uklonjen veći deo dijagonalnih štapova, postavljeno je sedam novih štapova (cevni profila)  $\varnothing 38 \times 3.2$  mm.

Preostali štapovi u ovoj zoni, koji su izrađeni od dorađenih postojećih štapova ( $\varnothing 27 \times 3$  mm), postavljaju se na prethodne pozicije. Pripajanje štapova izvršeno je sa dva simetrično raspoređena pripoja.

Nakon provere geometrije rešetkastog nosača u horizontalnom položaju izvedeno je zavarivanje ugaonih spojeva dijagonalnih štapova gornje i donje zone sa jednim prolazom.

U gornjoj zoni preko dijagonalnih štapova podužno su postavljena dva cevna profila kvadratnog preseka dimenzija  $20 \times 20 \times 9100$  mm na međusobnom rastojanju od 300 mm i izvršeno je njihovo zavarivanje za dijagonalne štapove od sredine ka krajevima rešetke.

U cilju sprečavanja uvijanja rešetke postavljeno je pet novih cevni profila  $\varnothing 38 \times 3.2$  mm, koji su zavareni sa jednim prolazom. Spajane su cevi  $\varnothing 71 \times 5$  mm i  $\varnothing 71 \times 6$  mm od materijala S 690 QL i 20MnV6 sa cevima  $\varnothing 38 \times 3.2$  mm i  $\varnothing 27 \times 3$  mm od materijala S355J2G3 i S275J2H. Korišćena je jačina struje 80-90 A za prečnik elektrode  $\varnothing 2.5$  mm uz predgrevanje od  $150^\circ\text{C}$ .

Posle ove faze izvršeno je probno montiranje rešetke na dizalicu i nakon uspešne provere rešetka je ponovo postavljena u prethodni položaj za zavarivanje. Nakon okretanja rešetke za  $90^\circ$  u horizontalno postavljenoj zoni izvršeno je zavarivanje dijagonalnih štapova sa jednim prolazom.



Novim okretanjem rešetke oko horizontalne ose za još 90° izvršeno je zavarivanje preostalih štapova. Posle potpunog hlađenja izvršena je kontrola geometrijskog oblika i dimenzija rešetkastog nosača.

### Vrsta i obim kontrole

Kontrola izvođenja sanacije zavarivanjem čelične konstrukcije rešetkastog nosača autodizalice sa završnom ocenom o podobnosti za eksploataciju vrši se u tri faze:

- a) Kontrola pre zavarivanja koja obuhvata: uvid u uverenje o kvalitetu osnovnog, dodatnih i pomoćnih materijala, proveru geometrijskih mera elemenata konstrukcije, proveru geometrijskih oblika žljebova i spojeva, proveru čišćenja površina, proveru uređaja i opreme za zavarivanje, proveru stručne sposobnosti zavarivača, proveru stručne osposobljenosti zavarivača (SRPS EN 287-1), proveru preduzetih mera obezbeđenja sigurnosti pri radu, proveru propisane tehnologije zavarivanja za sve karakteristične zavarene spojeve



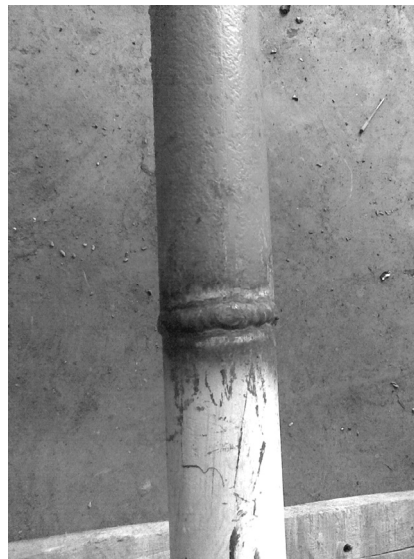
Slika 4: Izgled rešetkastog nosača autodizalice nakon sanacije

Figure 4: Appearance of steel construction of truck-mounted crane after repair

i kvalitete materijala kao i uvid u dokumentaciju o ovlašćenosti izvođača da izvodi zavarivačke radove (SRPS ISO 3834),

- b) Kontrola u toku zavarivanja koja obuhvata proveru primene propisanih elemenata tehnologije (parametri zavarivanja, način izvođenja zavarivanja, redosled izvođenja zavarenih spojeva).
- c) Kontrola posle zavarivanja koja obuhvata: dimenzionalnu kontrolu konstrukcije u celini i kontrolu geometrijskih oblika zavarenih spojeva – 100%, vizuelnu kontrolu zavarenih spojeva – 100%, magnetnu ili penetransku kontrolu zavarenih spojeva u obimu od 100%, kao i radiografsku ili ultrazvučnu kontrolu zavarenih spojeva u obimu od 100%.

Vrsta i obim kontrole kao i određivanje nivoa prihvatljivosti grešaka u zavarenim spojevima izvodi se prema zahtevima standarda: SRPS C.T3.010 i SRPS ISO 5817.



### ZAKLJUČAK

Primenom opisane tehnologije zavarivanja izvršena je sanacija čelične konstrukcije rešetkastog nosača autodizalice Pinguely TL 969.

Nakon sanacije (slika 4) urađena je kontrola zavarivačkih radova koja je obuhvatala vizuelno, penetransko i radiografsko ispitivanje.

Pokazano je da je sanacija uspešno izvršena i da je rešetkasti nosač autodizalice spreman za eksploataciju.

### LITERATURA

- [1] D.Momčilović, B. Delić, V. Grabulov, Ponašanje metala pri udarnom opterećenju, Integritet i vek konstrukcija, No.1, str. 23-28, 2001.
- [2] R. Prokić-Cvetković, A. Milosavljević, O. Popović, Uticaj količine unete toplote na modifikacije ferita u metalu šava niskougljeničnih čelika, Zavarivanje i zavarene konstrukcije, Vol. 50, No.2, str. 73-78, 2005.
- [3] S. Cvetkovski, V. Grabulov, D. Slavkov, J. Magdeski, Karakteristike zavarenog spoja mikrolegiranog čelika u zavisnosti od parametara zavarivanja i termičke obrade nakon zavarivanja, Zavarivanje i zavarene konstrukcije, Vol. 49, No.2, str. 53-60, 2004.
- [4] I. Hajro, O. Pašić, Z. Burzić, Karakterizacija zavarenih spojeva na visokočvrstom konstrukcijskom čeliku S690QL, Zavarivanje i zavarene konstrukcije, Vol.55, No.4, str. 123-129,2010.
- [5] M. Smiljanić, Zavarljivi finozrni čelici, Zavarivanje i zavarene konstrukcije, Vol. 51, No.4, str. 155-164, 2006.Skripta - literatura kursa za IWE/IWT, Zavod za zavarivanje, Beograd, 201