

## **TEORIJSKO-EKSPERIMENTALNA PROCENA RADNOG VEKA NAVARENIH SLOJEVA IZVEDENIH AUSTENITNIM MANGANSKIM ELEKTRODAMA**

Vukić LAZIĆ<sup>1</sup>  
Milan MUTAVDŽIĆ<sup>2</sup>  
Ružica NIKOLIĆ<sup>3</sup>  
Srbislav ALEKSANDROVIĆ<sup>4</sup>  
Dragan MILOSAVLJEVIĆ<sup>5</sup>

**Rezime** – U ovom radu se procenjuje mogućnost reparature delova od austenitnih manganskih čelika. Reč je o trojnoj leguri Fe-C-Mn meke austenitne strukture koja se posle deformacije na hladno, mehanizmom klizanja, transformiše u tvrdi martenzitnu strukturu u plitkim pripovršinskim slojevima. Ovi čelici uglavnom su namenjeni za radne delove izložene jakim udarnim opterećenjima. U građevinarstvu, železnici i ostalim industrijskim granama, neki radni delovi mašina i uređaja izloženi su najčešće udarnom i udarnom abrazivnom habanju, te se i najčešće izrađuju od ovih čelika. U zavisnosti od stepena tog habanja, radni delovi se mogu zameniti novim ili podvrgnuti reparaturnom navarivanju.

**Ključne reči** – reparatura, navarivanje, austenitni manganski-Hadfieldovi čelici, železnica

### **1. UVOD**

U cilju izbora najpovoljnije tehnologije reparature radnih delova izloženih udarnom abrazivnom habanju, najpre se izvode modelska ispitivanja na posebno pripremljenim uzorcima, na kojima se uglavnom nanose navari austenitnim manganskim elektrodama i specijalnim elektrodama za tvrda navarivanja. Pritom se najčešće ispituje mikrostruktura i meri tvrdoća karakterističnih zona navara. Navareni realni delovi, različitim dodatnim materijalima i tehnikama, montiraju se na radnu mašinu i povremeno kontrolišu u određenim vremenskim intervalima. Posle određenog vremena rada, u istim radnim uslovima, analizira se stepen pohabanosti novih nenavarenih i različito navarenih radnih delova. Na ovaj način moguće je ustanoviti najpovoljniju tehnologiju reparature uzimajući u obzir ne samo tehničke već i ekonomske faktore [1, 2, 3, 5, 6].

Prikazani model reparature može se primeniti i kod brojnih delova na železnici koji rade u slični radnim uslovima, bilo da je u pitanju reparaturno ili proizvodno navarivanje.

### **2. OSNOVNI UZROČNICI OŠTEĆENJA RADNIH DELOVA**

Istraživanjem uzroka oštećenja različitih delova mašina i uređaja ustanovljeno je da u više od 50% slučajeva oštećenja nastaju usled triboloških procesa u manje-više regularnim uslovima eksploatacije [1, 3, 7]. Pri tome treba imati u vidu da se osim reparature delova pohabanih pri normalnom radu, takođe navaruju i delovi oštećeni zbog havarije, kao i novi odlivci izrađeni sa greškama. Osim toga, danas se sve više navaruju i novi delovi nanošenjem tvrdih legura, što može zameniti tradicionalne postupke cementacije ili nitriranja. To je doprinelo da navarivanje zauzme važno mesto među tzv. naprednim tehnologijama.

### **3. IZBOR I OSOBINE OSNOVNOG I DODATNOG MATERIJALA**

#### **3.1 Osnovni materijali**

Najčešće korišćeni materijali za izradu radnih delova izloženih udarnom abrazivnom habanju jesu

<sup>1</sup> Dr Vukić LAZIĆ, vanr. prof., Mašinski fakultet, Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac, vlazic@kg.ac.rs.

<sup>2</sup> Mr Milan MUTAVDŽIĆ, Preduzeće za puteve „Kragujevac” a.d., Tanaska Rajića 16, 34000 Kragujevac.

<sup>3</sup> Dr Ružica NIKOLIĆ, red. prof., Mašinski fakultet u Kragujevcu, ruzicarnikolic@yahoo.com.

<sup>4</sup> Dr Srbislav ALEKSANDROVIĆ, vanr. prof., Mašinski fakultet u Kragujevcu, srba@kg.ac.rs.

<sup>5</sup> Dr Dragan MILOSAVLJEVIĆ, red. prof., Mašinski fakultet u Kragujevcu, dmilos@kg.ac.rs.

odlivci od manganskog čelika. Pritom treba posebno obratiti pažnju na mehanizam dejstva abraziva, jer deluju dva osnovna slučaja koja se međusobno dosta razlikuju.

U *prvom slučaju* na kontaktnim površinama radnih delova i abraziva nastaju veliki specifični pritisci i lokalna plastična deformacija tih delova, pri čemu sile usled spoljašnjeg opterećenja imaju udarni karakter. U *drugom slučaju* abraziv je u rasutom stanju, te na kontaktnim površinama radnih delova nastaju samo manji specifični pritisci i ne dolazi do velikih plastičnih deformacija.

Na abrazivno delovanje *prvog tipa* dobru otpornost

Tabela 1. Hemijski sastav i namena ČL3160 i ČL3460

| Osnovni materijal |            | Hemijski sastav, % |      |       |      |       |      | Mehanička svojstva            |                     | Mikrostruktura |
|-------------------|------------|--------------------|------|-------|------|-------|------|-------------------------------|---------------------|----------------|
|                   |            |                    |      |       |      |       |      | Zatezna jačina,<br>$R_m, MPa$ | Tvrdoća,<br>HB      |                |
| ČL3160            | Propisan   | 1.20               | 0.50 | 12.00 | -    | 0.035 | 0.10 | 200                           | ≈ 200 posle gašenja | Austenitna     |
|                   | Analiziran | 1.20               | 0.48 | 12.35 | -    | 0.025 | 0.10 |                               |                     |                |
| ČL3460            | Propisan   | 1.20               | 0.50 | 13.00 | 1.00 | 0.040 | 0.10 | 200                           | ≈ 200 posle gašenja | Austenitna     |
|                   | Analiziran | 1.20               | 0.55 | 13.14 | 1.12 | 0.035 | 0.15 |                               |                     |                |

### 3.2 Dodatni materijali

Pri izvođenju eksperimentalnih ispitivanja korišćeni su različiti dodatni materijali (E Mn14, E Mn17Cr13, E DUR 600, ABRADUR 58 i INOX B 18/8/6) [5, 10]. Kao dodatni materijali za navarivanje delova izloženih udarnom abrazivnom habanju i dejstvu udarnih opterećenja najčešće se preporučuju austenitne manganske elektrode sa većim sadržajem mangana i ugljenika i dodatkom nekih drugih legirajućih elemenata, najčešće hroma (Cr) a zatim nikla (Ni), molibdena (Mo), vanadijuma (V) i volframa (W) [1, 4, 8, 9, 10].

## 4. OCENA ZAVARLJIVOSTI MANGANSKIH ČELIKA

Manganski čelici austenitne strukture skloni su ka pregrevanju, a pri nanošenju višeslojnih navara veće debljine moguća je i pojava prslina. Zbog toga je potrebno poznavati ponašanje ovih materijala pri unosu veće količine toplote, što omogućuje da se preduzmu mere da se spreči rast austenitnih zrna i formiranje krutih faza. Austenitni manganski čelici imaju nisku plastičnost i usled brzog ojačavanja teško se mehanički obrađuju. Povećanje plastičnosti austenitnih manganskih čelika postiže se termičkom obradom gašenja, koja se sastoji iz zagrevanja na temperaturi 1093°C [8, 9], progrevanja na toj temperaturi i naglog hlađenja u vodi sa ove temperature. Na ovaj način dobija se čista austenitna

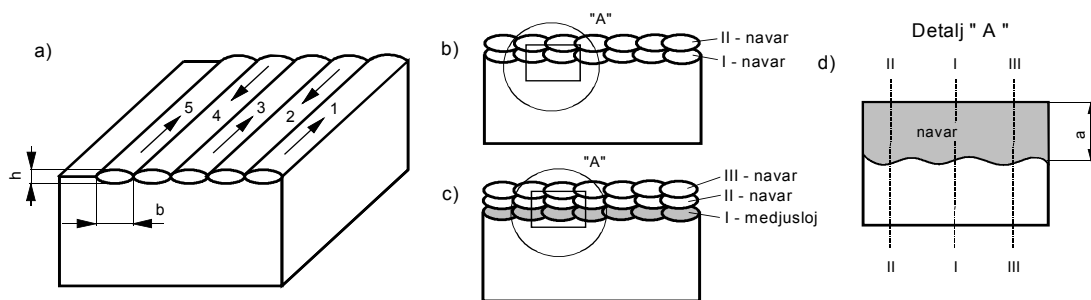
pokazuju manganski austenitni čelici tzv. Hadfieldovi čelici [1, 2, 3, 4, 8, 9] koji se najčešće isporučuju u livenom, toplo deformisanom ili hladno deformisanom stanju. Pored osnovnog Hadfieldovog čelika (ČL3160), primenjuju se i višestruko legirani manganski čelici (ČL3161, ČL3460, ČL3462 i ČL3463) koji imaju dobru otpornost na udarno habanje. Reparatura navarivanjem delova od ovih manganskih čelika najčešće se izvodi primenom bazičnih manganskih elektroda. Hemijski sastav, mehaničke osobine i mikrostruktura osnovnih materijala (ČL3160 i ČL3460) dati su u tabeli 1 [10].

struktura velike žilavosti. Posle brzog hlađenja, sa temperature livenja ili plastične deformacije na toplo, dobija se austenitna struktura sa česticama kompleksnih karbida gvožđa i mangana izlučenih po granicama austenitnog zrna. Da bi se postigla zadovoljavajuća zavarljivost manganskih austenitnih čelika, potrebno je voditi računa da ne dođe do naglog porasta austenitnog zrna usled prekomerne količine unete toplote. Zbog toga se preporučuje da se navarivanje izvodi kratkim navarima uz pažljiv izbor parametara navarivanja i prinudno brzo hlađenje. U suprotnom, može doći do naglog povećanja austenitnog zrna što pogoršava zavarljivost i mehaničke osobine. Sklonost navara nanetih manganskim elektrodama ka pojavi prslina se smanjuje dodatkom određene količine nikla i hroma, najčešće do 4% [8, 9].

## 5. MODELSKA ISPITIVANJA

### 5.1. Izbor tehnologije navarivanja

Za izbor tehnoloških parametara navarivanja izvođene su probe na uzorcima od niskougljeničnog čelika (Č0361) debljine  $s = 10$  mm, koji su navarivani REL postupkom. Zavisno od tipa i prečnika korišćene elektrode, parametri navarivanja kretali su se u preporučenim granicama datim u radovima [1, 2, 3, 5]. Način polaganja navara, redosled i broj nanetih slojeva i izgled modela prikazani su na slici 1.



Slika 1. Redosled polaganja navara: a - 1 sloj, b - 2 sloja (E Mn14, E Mn17Cr13), c - 3 sloja (INOX B 18/8/6-E DUR 600, INOX B 18/8/6-ABRADUR 58), d- metalografski izbrusak (blok)

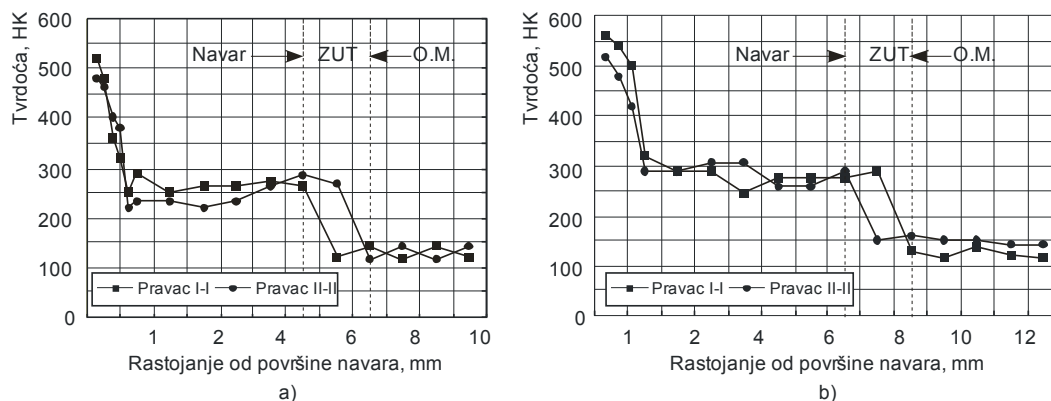
Dvoslojno su navareni uzorci samo elektrodama E Mn14 i E Mn17Cr13 (sl. 1b), dok su troslojno navareni uzorci elektrodama E DUR 600 i ABRADUR 58 (sl. 1c) uz prethodno nanošenje vezivnog medusloja elektrodom INOX B 18/8/6. Pri modelskim ispitivanjima nije primenjivana ni prethodna niti naknadna termička obrada. Uzorci su posle navarivanja hlađeni na mirnom vazduhu, a zatim je brušenjem odstranjen deo materijala zadnjeg sloja [1, 2, 3, 5].

## 5.2. Metalografska ispitivanja i merenje tvrdoće na modelima

Manganski austenitni čelici imaju relativno malu tvrdoću koja se kreće u rasponu od 180-250 HB. Veoma su otporni prema abrazivnom habanju samo kada se njihovi radni površinski slojevi intenzivno plastično deformišu na hladno pod dejstvom jakih udarnih opterećenja ili mirnog opterećenja pod dejstvom sile pritiska na presi. Međutim, kod ovih

čelika do ojačanja površinskih slojeva ne dolazi usled deformacionog ojačanja austenita izazvanog plastičnom deformacijom, već plastična deformacija inicira faznu transformaciju austenita u martenzit. Posle lokalne transformacije austenita u martenzit može se postići tvrdoća površinskog sloja i do 500-520 HK (najčešće se ostvaruje tvrdoća od 330-480 HK). Zbog toga se ovi čelici teže obrađuju rezanjem, već najčešće plastičnom obradom na toplo i hladno kao i livenjem.

I pored evidentnih teškoća pri merenju tvrdoće i određivanju mikrostrukture navara, odredili smo širinu transformisane zone austenita u martenzit i snimili mikrostrukturu te zone [1, 2, 3, 5]. Ovi podaci mogu imati poseban značaj pri navarivanju različitih radnih delova tehničkih sisitema koji rade u ovakvim ili sličnim eksploatacionim uslovima. Na slici 2 data je raspodela tvrdoće navara posle plastične deformacije pripovršinskog sloja. Korišćeni su dodatni materijali E Mn14 i E Mn17Cr13 [1, 2, 3, 5].

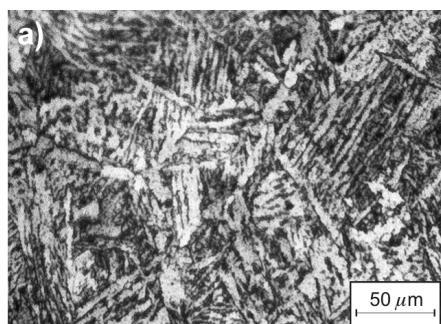


Slika 2. Raspodela mikrotvrdoće po preseku navara posle plastične deformacije: a) E Mn14, b) E Mn17Cr13

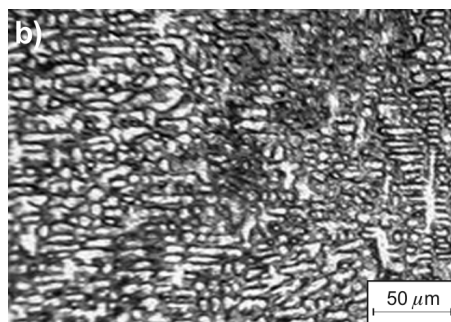
Sa slike 2 zapaža se povećanje tvrdoće posle plastične deformacije na hladno kod oba ispitivana dodatna materijala. Upoređivanjem dobijenih rezultata koji se odnose na dodatne materijale E Mn14 i E Mn17Cr13, uočava se da je dobijena nešto veća tvrdoća kod drugog dodatnog materijala. Takođe, može se zaključiti da je širina zone transformisanog austenita u martenzit veća kod navara elektrode E Mn17Cr13. Maksimalna izmerena tvrdoća posle plastične deformacije kod navara od E Mn14 bila je

oko 520 HK, dok je širina transformisane zone 0.60 mm. U istim uslovima u slučaju navara od E Mn17Cr13 dobijena je maksimalna tvrdoća 560 HK, a širina zone transformacije austenita u martenzit bila 1.20 mm [1, 2, 3, 5]. Mikrostruktura površinskog sloja zadnjeg navara od E Mn14 pre i posle plastične deformacije na hladno prikazana je na slici 3 [1, 2, 3, 5].

Rezultati raspodele tvrdoće i izgled nastalih struktura u karakterističnim zonama navara za ostale dodatne materijale data je u radovima [1, 2, 3, 5].



Austenitna struktura sa izlučenim karbidima



Martenzitno karbidna struktura

Slika 3. Mikrostruktura zadnjeg sloja navara od D.M.-E Mn14 – pre (a) i posle plastične deformacije (b)

## 6. ZAKLJUČAK

Sprovedena eksperimentalna ispitivanja su pokazala da vek pravilno navarenih radnih delova izloženih udarnom habanju znatno nadmašuje vek novih delova. Na ovaj način postižu se velike materijalne uštede, povećava produktivnost, smanjuje vreme zastoja, kao i asortiman i količina neophodnih rezervnih delova.

## 7. LITERATURA

- [1] Mutavdžić, M.: Reparturno navarivanje delova mašina i uređaja građevinske mehanizacije, magistarska teza, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, 2007.
- [2] Mutavdžić, M., *et al.*: Izbor optimalne tehnologije reparturnog navarivanja udarnih greda rotacionih drobilica, Zavarivanje i zavarene konstrukcije, (2/2007), str. 55-67.
- [3] Lazić, V.: Optimizacija procesa navarivanja sa aspekta triboloških karakteristika navara i zaostalih napona, doktorska disertacija, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, 2001.
- [4] Zhang, G. S., Xing, J. D. and Gao, Y. M.: Impact Wear Resistance of WC/Hadfield Steel Composite and its Interfacial Characteristics, *Wear*, 728, 260, 2006.
- [5] Mutavdžić, M., *et al.*: Model investigations of the filler materials for regeneration of the damaged parts of the construction mechanisation, *Tribology in Industry*, 3&4/2008., pp. 3-9.
- [6] Nedeljković, B., *et al.*: Reparatory hard facing of the rotational device knives for terrain leveling, *Journal of the Balkan Tribological Association*, Vol. 16, No 1. 46-75 (2010).
- [7] Ivković, B.: Osnovi tribologije u industriji prerade metala, IRO "Građevinska knjiga", Beograd, 1983.
- [8] Dastur, Y. N. and Leslie, W. C.: Mechanism of Work Hardening in Hadfield Manganese Steel, *Metall. Trans. A*, 749, 12A, 1981.
- [9] Flinn, A. R., Trojan, K. P.: Engineering Materials and Their Applications, fourth edition, John Wiley&Sons, inc. New York, 1995.
- [10] Katalozi: Thyssen Marathon Edelstahl-Vosendorf Železarna Jesenice-Fiprom.

## THEORETICAL-EXPERIMENTAL ESTIMATE OF LIFE SPAN OF HARD FACED LAYERS REALIZED BY AUSTENITIC-MANGANESE ELECTRODES

Vukić LAZIĆ

Milan MUTAVDŽIĆ

Ružica NIKOLIĆ

Srbislav ALEKSANDROVIĆ

Dragan MILOSAVLJEVIĆ

**Abstract - In this paper is estimated the possibility for reparation of austenitic manganese steels by application of hard facing realized with austenitic-manganese electrodes. The considered material is three elements alloy Fe-C-Mn of the soft austenitic structure, which after the cold deformation, by the sliding mechanism, is being transformed into the hard martensitic structure in the shallow close-to-surface layers. Those steels are mainly aimed for manufacturing the working parts of machines subjected to high impact loads. In civil engineering, railroad engineering and other industrial applications, some working parts of machines are most frequently exposed to impact and impact-abrasive wear, thus they must be manufactured from those steels. Depending on the degree of that wear, the working parts can be replaced by the new ones or can be subjected to the reparatory hard facing in order to restore their original performances**

**Key words - reparation, hard facing, austenitic-manganese-Hadfield steels, railroad engineering**