

SERBIATRIB`07
10th International Conference on Tribology
and
WORKSHOP`07
Sustainable Development in Industry by Apply Tribology Knowledge

**IZBOR NAJPOVOLJNIJEG DODATNOG MATERIJALA ZA
REPARATURNO I PROIZVODNO NAVARIVANJE DELOVA
GRAĐEVINSKE MEHANIZACIJE**

V. Lazić¹, M. Jovanović¹, M. Mutavdžić², N. Ratković¹, R. Čukić¹

¹⁾ *Mašinski fakultet u Kragujevcu, Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac*
²⁾ *Preduzeće za puteve Kragujevac, Tanaska Rajića 16, 34000 Kragujevac*

Rezime

U ovom radu se razmatra mogućnost reparature radnih delova građevinskih mašina oštećenih raznim vidovima habanja. Posebno je analizirano udarno abrazivno habanje uslovljeno vrstom abraziva i tvrdoćom i mikrostrukturom abraziva. Eksperimentalni deo rada odnosi se na izbor optimalne tehnologije reparature oštećenih udarnih greda drobilica za kamen. Navedeni delovi izrađeni su livenjem od manganskog čelika, koji spada u uslovno zavarljive. To znači da su potrebna prethodna modelska ispitivanja da bi se na probnim uzorcima došlo do optimalne tehnologije zavarivanja. Udarne grede navarene su optimalnom tehnologijom, montirane na rotor drobilice, puštene u proces drobljenja minerala i povremeno kontrolisane u realnim eksploatacionim uslovima. Posle određenog vremena rada u istim radnim uslovima, analiziran je stepen pohabanosti novih i različito navarenih greda, što je omogućilo konačan izbor najpovoljnije tehnologije reparature.

Ključne reči: *navarivanje, građevinska mehanizacija, abrazivno habanje, dodatni materijal, tvrdoća, mikrostruktura, drobilice*

1. Uvod - opis rada drobiličnih postrojenja

Udarne grede drobilica istovremeno su izložene jakim udarnim opterećenjima i velikom abrazivnom habanju jer su u stalnom kontaktu sa kamenom. U stvari kamen se drobi, usitnjava i melje, kako bi se dobile različite frakcije kamenih granulata za direktnu ugradnju u građevinske objekte. Pored toga što se koriste u građevinarstvu, drobilična postrojenja se koriste u energetskim i rudarskim postrojenjima za usitnjavanje uglja i ruda.

Habanje udarnih greda odvija se po mehanizmu abrazivnog habanja tzv. zatvorenog tipa. Kamen se dovodi u radni prostor između greda i nepokretnih delova drobilice gde se mehanička energija obrtnih greda pretvara u rad koji se troši na kidanje kohezivnih i adhezivnih veza stenskog materijala.

Stenski materijali (kamen, kameni agregati) namenjeni za puteve najčešće su velike tvrdoće, pa radni delovi drobilica moraju biti visoke žilavosti i otpornosti na habanje [2]. Eksperimentalna istraživanja izvedena su na *udarnim gredama* i *oblogama* koje sačinjavaju čeljust drobilice. Njihovo habanje praćeno je pri proizvodnom drobljenju krečnog kamena na drobilici kapaciteta 350 t/h. Reč je o rotacionoj drobilici sa četiri udarne grede koje se montiraju na rotor i pogone elektromotorom ili motorom sa unutrašnjim sagorevanjem, uz pomoć kaišnika i klinastih kaiševa. Ovakve transmisije omogućuju proklizavanje kaiševa kada dođe do preopterećenja, što štiti vitalne delove drobilica od loma. Udarne grede imaju dve radne površine što omogućava da se posle habanja jedne radne površine, okretanjem grede iskoristi i druga radna površina. Obloga drobilice izrađena je od ravnih i

sferičnih segmenata koji štite telo drobilice od oštećenja.

Udarne grede drobilice, na kojima su sprovedena eksperimentalna navarivanja izrađene su livenjem od visokomanganskog čelika, dimenzija 300×120×1200 mm i mase oko 300 kg. Od istog čeličnog liva su i segmenti obloge debljine 30 mm i mase od oko 20 kg.

2. Osobine osnovnog i izbor dodatnog materijala

Na udarno abrazivno habanje otporni su manganski austenitni čelici tzv. Hadfieldovi čelici [1, 2, 3, 4, 5, 7, 8] koji se najčešće isporučuju u livenom, toplo deformisanom ili hladno defor-

misanom stanju. Pored osnovnog Hadfieldovog čelika koji sadrži 1.20% C, 12% Mn, 0.50% Si, 0.35% P i 0.10% S na raspolaganju su i višestruko legirani manganski čelici, koji pored Mn= 12-17% i C= 1-1.4%, sadrže i Cr= 1-1.8%. Reparaturno navarivanje ovih manganskih čelika najčešće se izvodi bazičnim manganskim elektrodama.

Hemijski sastav i smernice za upotrebu osnovnih materijala: ČL3160-JUS (G-X120Mn12-DIN) i ČL3460-JUS (G-X120Mn12-DIN) dati su u tablici 1, dok su oba čelika austenitne strukture jačine od 200-210 MPa i tvrdoće 200-210 HB [2, 6].

Tablica 1. Hemijski sastav i namena ČL3160 i ČL3460 [6]

Osnovni materijal		Hemijski sastav, %						Namena
		C	Si	Mn	Cr	P	S	
ČL3160	Propisan	1.20	0.50	12.00	-	0.035	0.10	Namenjeni su za izradu delova izloženih abrazivnom habanju i jakim udarnim opterećenjima, kao što su radni delovi mlinova, drobilica, građevinskih mašina za rad sa materijalima velike tvrdoće i tsl.
	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	
	Analiziran	1.20	0.55	13.14	1.12	0.035	0.15	

Za navarivanje delova izloženih udarnom abrazivnom habanju preporučuju se austenitne manganske elektrode sa većim sadržajem mangana i ugljenika i dodatkom nekih drugih

legirajućih elemenata, najčešće hroma, i ponekad Ni i Mo. U tom smislu su za eksperimentalna istraživanja korišćeni dodatni materijali dati u tablici 2 [2, 6].

Tablica 2. Uporedne oznake i hemijski sastav ispitivanih elektroda [6]

Uporedne oznake elektroda		Hemijski sastav, %					Tvrdoća
		C	Mn	Cr	Ni	Mo	
SŽ Fiprom Jesenice	DIN8555						220 HB- posle navarivanja 48 HRC- posle iskivanja na hladno
E Mn14	E7-UM-200-KP	1.20	12.50	-	-	0.70	
E Mn17Cr13	-	0.60	16.50	13.50	-	-	
E DUR 600	E 6-UM-60	0.50	-	7.50	-	-	57-62 HRC
ABRADUR 58	E 10-UM-60-GR	3.60	-	32.0	-	-	57-62 HRC
INOX B 18/8/6*	E 188 MnB10+	0.12	7.0	19.0	9.0	-	-

*) Primenjuje se za nanošenje međuslojeva.

3. Ocena zavarljivosti manganskih čelika

Manganski čelici austenitne strukture sklone su ka pregrevanju, a kod višeslojnih navara veće debljine moguća je i pojava prslina, odnosno porast austenitnih zrna i formiranje krutih faza. Najveću praktičnu primenu imaju perlitni i austenitni manganski čelici.

Pri zavarivanju manganskih austenitnih čelika koji ojačavaju udarnim dejstvom sile, potrebno je voditi računa da ne dođe do naglog rasta austenitnog zrna usled prekomernog unosa to-

plate. Zbog toga se navarivanje izvodi kratkim navarima, malim unosom toplote i prinudnim

brzim hlađenjem. U suprotnom, dobijaju se gruba austenitna zrna, što pogoršava zavarljivost i mehanička svojstva. Ovo može nastati pri navarivanju manganskih austenitnih čelika debelim višeslojnim navarima. Sklonost navara manganskih elektroda ka prslinama smanjuje se primenom elektroda legiranih sa niklom i hromom, najčešće do 4% [1, 2, 4, 6].

4. Izbor tehnologije navarivanja

Za izbor tehnoloških parametara navarivanja (tab. 3), korišćeni su uzorci od niskougljeničnog

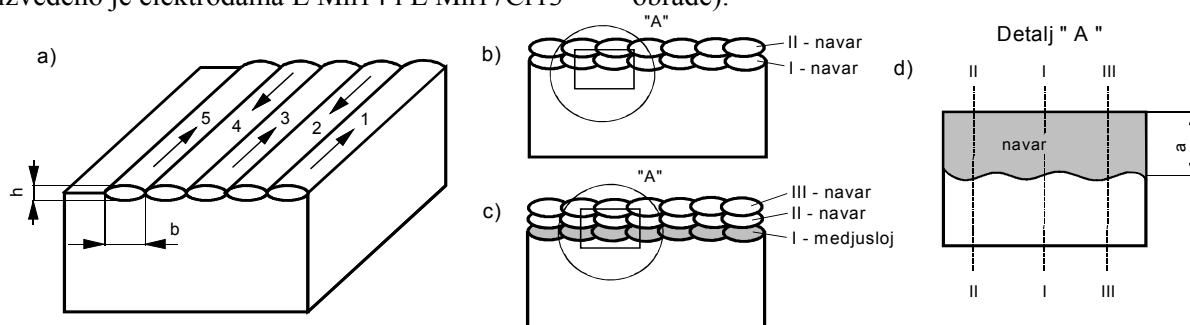
čelika debljine $s = 10 \text{ mm}$, na koje su nanošeni navari različitim elektrodama.

Tablica 3. Tehnološki parametri navarivanja

s, mm	Oznaka elektrode	d_e , mm	I, A	U, V	v_z , cm/s	q_l , J/cm
10	E Mn14	3.25	120	25	≈ 0.148	16216
	E Mn17Cr13	3.25	130	25	≈ 0.152	17105
	E Mn17Cr13	5.00	200	28	≈ 0.168	26667
	INOX B 18/8/6	3.25	100	24	≈ 0.136	14118
	E DUR 600	3.25	120	25	≈ 0.119	20168
	ABRADUR 58	3.25	130	25	≈ 0.124	20968

Način polaganja navara, redosled i broj nanetih slojeva i izgled modela prikazani su na slici 1. Za dalja istraživanja odabrani su uzorci koji su navareni elektrodom prečnika $d_e = 3.25 \text{ mm}$, jednoprolaznim navarima širine $b = 6-12 \text{ mm}$ i visine $h = 3.2-4.6 \text{ mm}$. Dvoslojno navarivanje izvedeno je elektrodama E Mn14 i E Mn17Cr13

(sl. 1b), a troslojno elektrodama E DUR 600 i ABRADUR 58 (sl. 1c) uz prethodno nanošenje vezivog međusloja elektrodom INOX B 18/8/6. Uzorci su posle navarivanja hlađeni na mirnom vazduhu, a zatim je brušenjem odstranjen deo materijala zadnjeg sloja (nije bilo termičke obrade).



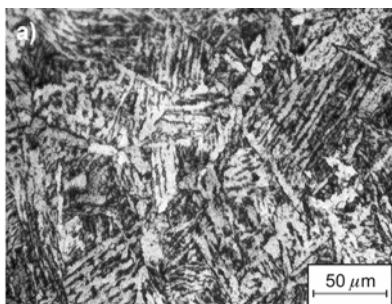
Slika 1. Redosled polaganja navara: a - 1 sloj, b - 2 sloja (E Mn14, E Mn17Cr13), c - 3 sloja (INOX B 18/8/6-E DUR 600, INOX B 18/8/6-ABRADUR 58), d- metalografski izbrusak (blok)

5. Metalografska ispitivanja i merenje tvrdoće na modelima

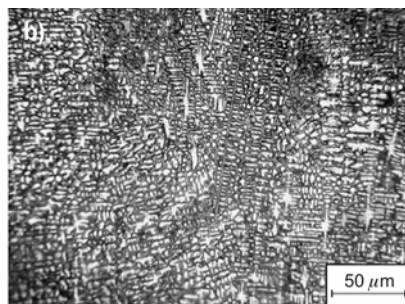
Manganski austenitni čelici u sirovom stanju imaju relativno malu tvrdoću (180-250 HB), a otvrdnjavaju intenzivnim udarnim opterećenjem na hladno u radnim uslovima ili iskivanjem. Međutim, kod ovih čelika ne dolazi do hladnog ojačanja zbog plastične deformacije, već ta deformacija inicira faznu transformaciju austenita u martenzit. Posle lokalne transformacije austenita u martenzit može se postići tvrdoća površinskog sloja i do 500-520 HK (po Knapu). Zbog velike tvrdoće, finalni proizvodi od ovih čelika se uglavnom izrađuju kovanjem i livenjem, a ne mašinskom obradom.

U nekim našim ranijim radovima [1, 2, 5] utvrđena je dubina povećanja tvrdoće pripovršinskog sloja pri transformaciji austenita u martenzit inicirane hladnom deformacijom. Ponovlje-

nim ispitivanjem na osnovnom materijalu ČL3160 utvrđeno je da posle hladne deformacije raste tvrdoća. Maksimalna izmerena tvrdoća je 460 HK, a širina transformisane zone je 0.50 mm. Na slici 2a prikazana je austenitna mikrostruktura Hadfieldovog čelika pre plastične deformacije, a na slici 2b posle deformacije (austenitna zrna + igličasti martenzit) [1, 2]. Nekim istraživanjima [3, 4, 5, 7] dokazano je da najveću otpornost na habanje ima austenitno-karbidna struktura, a ne martenzitno-karbidna kako bi se to po tvrdoći očekivalo. Suština je u jačoj vezi granica metalnih zrna austenit-karbid jer se njihovi parametri kristalnih rešetki manje razlikuju nego kod kombinacije martenzit-karbid. Drugim rečima, dejstvom abrazivnih čestica lakše se čupa karbid iz martenzitne matrice nego iz austenitne osnove [3, 4, 5].



a) Austenitna struktura

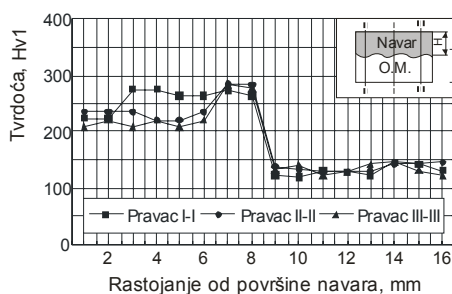


b) Austenitna zrna + igličasti martenzit

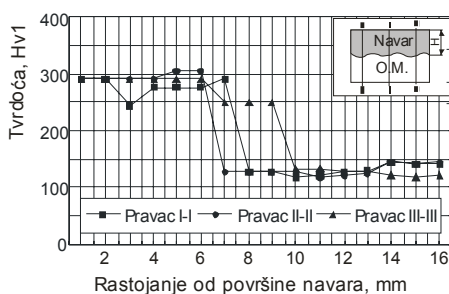
Slika 2. Mikrostruktura čelika- ČL3160: a) pre plastične deformacije i b) posle plastične deformacije [2]

Uspeli smo da odredimo širinu transformisane zone austenita u martenzit i snimimo mikrostrukturu te zone [1, 2, 5]. Za radne delove koji rade u uslovima abrazivnog habanja važno je da se odredi dubina transformacije austenita u martenzit i da se snimi mikrostruktura. U našim

eksperimentima (sl. 3 i 4) odredili smo tu dubinu merenjem mikrotvrdoće navara pre i posle dejstva udarnog opterećenja na hladno [1, 2, 5]. Mikrostrukture površinskog sloja zadnjeg navara pre i posle plastične deformacije na hladno prikazane su na slikama 5 i 6 [2].

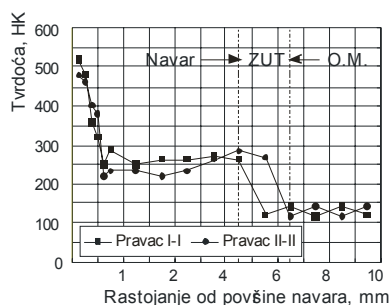


a)

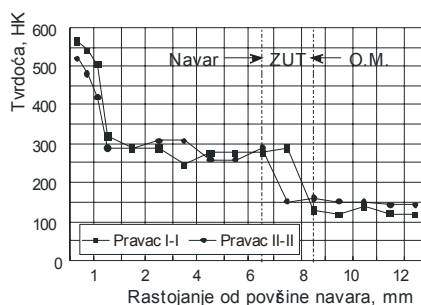


b)

Slika 3. Raspodela mikrotvrdoće po preseku navara pre plastične deformacije: a) E Mn14 i b) E Mn17Cr13

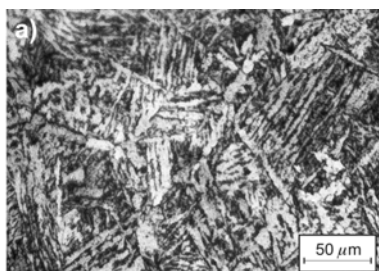


a)



b)

Slika 4. Raspodela mikrotvrdoće po preseku navara posle plastične deformacije: a) E Mn14 i b) E Mn17Cr13

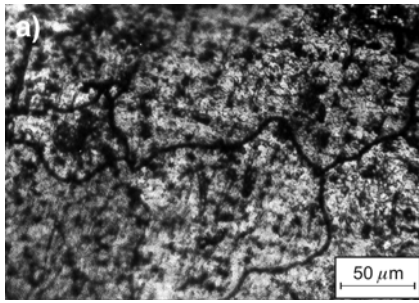


Austenitna struktura sa izlučenim karbidima (pre plastične deformacije)

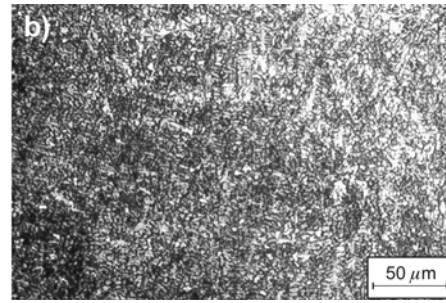


Krupnozrna martenzitna struktura sa karbidima (posle plastične deformacije)

Slika 5. Mikrostruktura zadnjeg sloja navara od D.M.-E Mn14 [2]



Austenitno-bejnitna struktura
(pre plastične deformacije)



Šitnozrnasta martenzitna struktura sa karbidima
(posle plastične deformacije)

Slika 6. Mikrostruktura zadnjeg sloja navara od D.M.-E Mn17Cr13 [2]

Sa slika 3 i 4 zapaža se povećanje tvrdoće posle hladne deformacije navara izvedenih sa dve različite elektrode. Upoređivanjem tvrdoća navara izvedenih elektrodama E Mn14 i E Mn17Cr13 uočava se nešto veća tvrdoća navara hromne elektrode. Takođe je kod te elektrode veća dubina zone transformisanog austenita u martenzit. Konkretno, posle hladnog ojačanja navara od E Mn14 dobijena je tvrdoća 520 HK i dubina transformisane zone 0.60 mm. U istim uslovima, navar od E Mn17Cr13 imao je maksimalnu tvrdoću 560 HK i dubinu transformisanog austenita u martenzit 1.20 mm. Tvrdoća novonastalih struktura u karakterističnim zonama navara za dodatne materijale E DUR 600 i ABRADUR 58 data je u radu [2].

6. Tribološka ispitivanja

6.1 Priprema blokova i diskova

Tribološka ispitivanja izvode se na tzv. blokovima čije dimenzije moraju biti prilagođene tribometru instaliranom na

Mašinskom fakultetu u Kragujevcu [2]. Za ova ispitivanja pripremljeno je pet blokova; četiri su isečena iz navara (E Mn14, E Mn17Cr13, E DUR 600 i ABRADUR 58) i jedan iz osnovnog materijala. Posle sečenja, blokovi su obrušeni na dimenzije 6.3×15×10 mm kako bi mogli da se pričvrste za držač tribometra i dovedu u kontakt sa standardizovanim diskom [2]. Pri samom ispitivanju ostvaruje se linijski kontakt "block on disk". Spoljašnje varijable na nizu uzoraka bile su: sila kontakta, brzina klizanja, kao i sredstvo za podmazivanje.

Pre svakog ispitivanja, kontaktne površine diskova se moraju prebrusiti da se uklone tragovi habanja, izmeri površinska hrapavost koja se upoređuje sa hrapavošću površina ispitivanih blokova. U tablici 4 dati su glavni podaci vezani za tribološka ispitivanja navara i osnovnih materijala. Kao sredstvo za podmazivanje spregnutog para disk-blok korišćeno je motorno ulje GLX 2 SAE 15 W-40.

Tablica 4. Tehnologija pripreme uzoraka za tribološka ispitivanja-blokova i diskova [2]

Broj bloka	Materijal podloge	Materijal navara	Broj navarenih slojeva	Visina navara, mm	Izgled blokova i diskova
1.	Č0361	E Mn14	2	6.0 – 7.2	
2.	Č0361	E Mn17Cr13	2	6.2 – 8.0	
3.	ČL3460	-	-	-	
4.	Č0361	Medusloj-INOX B 18/8/6 Navar-E DUR 600	3*	4.2-5.6	
5.	Č0361	Medusloj-INOX B 18/8/6 Navar-ABRADUR 58	3*	4.4-6.2	

*) Prvi sloj je od D.M. - INOX B 18/8/6, a drugi i treći sloj su od D.M. - E DUR 600 i ABRADUR 58.

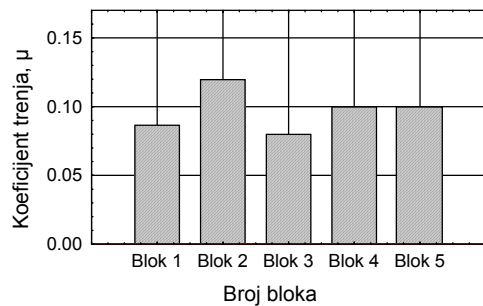
6.2 Rezultati triboloških ispitivanja

Pre triboloških ispitivanja izmerena je hrapavost kontaktnih površina tri diska i pet blokova kako bi se odredilo srednje aritmetičko odstupanje hrapavosti R_a . Posle ispitivanja izmerena je i

snimljena širina traga habanja i profila hrapavosti. Otpornost na habanje navedenih navara procenjavana je na osnovu širine traga habanja b_{sr} i koeficijenta trenja μ . Prvo je ispitivan koeficijent trenja na svim blokovima,

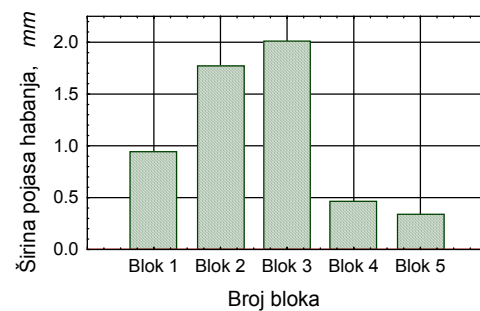
odnosno praćena je njegova promena za vreme kontakta od 60 min [2].

Na slici 7a dat je zbirni grafićki prikaz (histogram) srednjih vrednosti koeficijenta



a)

trenja, a na slici 7b širine pojasa habanja analiziranih triboloških parova.



b)

Blok 1- E Mn14, Blok 2- E Mn17Cr13, Blok 3-ČL3460, Blok 4- E DUR 600, Blok 5- ABRADUR 58

Slika 7. Histogrami srednje vrednosti koeficijenta trenja (a) i širine traga habanja (b)

Na osnovu širine tragova habanja, moglo bi se proceniti da najveću otpornost na habanje imaju navari ABRADUR 58 i E DUR 600 (sl. 7b). Međutim, stvarna otpornost na pojedine vrste habanja može se u ovom slučaju pouzdano utvrditi samo posle ispitivanja u realnim radnim uslovima. Tek posle analize tih rezultata može se predložiti celokupna tehnologija proizvodnog ili reparaturnog navarivanja.

Drugim rećima, rezultati tribološkog testa ne mogu se prihvatiti bez dodatnih proizvodnih ispitivanja. Naime, sile koje deluju na kontaktu blok-disk ne mogu izazvati lokalnu transformaciju austenita u martenzit u pripovršinskim slojevima. Stoga proizilazi naš zaključak da standardni tribološki model provere otpornosti na habanje ne daje pravu sliku kod visokomanganskih ćelika.

7. Navarivanje realnih delova i određivanje njihove otpornosti na habanje

Da bi se odredila stvarna otpornost na habanje novih, reparaturno i proizvodno navarenih udarnih greda, trebalo je izvesti dodatna ispitivanja u stvarnim radnim uslovima. Iako je poznato da se oko pet puta intenzivnije habaju udarne grede nego obloge drobilica, ipak su ispitivanja sprovedena na oba dela [2]. Ovde će biti prikazani samo rezultati ispitivanja udarnih greda.

Navarivanje udarnih greda izvedeno je tehnologijom proizašlom iz modelskih ispitivanja, ali u drukćijim radnim uslovima. U stvari, udarne grede imaju veliku masu pa je navarivanje moralo biti izvedeno na terenu tj. u kamenolomu. To znaći da su navari polagani u naj-

nepovoljnijim proizvodnim uslovima, pa ovako dobijeni rezultati imaju poseban znaćaj.

Eksperimenti su izvedeni na osam udarnih greda (dva kompleta), jer se zbog uravnoteženosti masa rotora drobilice mora istovremeno obaviti zamena sve četiri udarne grede.

Reparaturno navarivanje na četiri udarne grede izvedeno je tako što je svaka greda navarivana različitom elektrodom (E Mn14, E Mn17Cr13, ABRADUR 58 i E DUR 600). Navari su položeni na jednoj od dve radne površine udarnih greda, a druga radna površina je bila nova - nepohabana s ciljem da se uporedi radni vek novih i reparaturno navarenih greda. Navari su polagani uzdužno na pohabane radne površine, do debljine koju imaju nove grede. To je postignuto višeslojnim navarivanjem, a ukupna debljina navara se kretala od 10 mm na krajevima do 35 mm na sredini dućine udarnih greda.

Navarivanje udarnih greda elektrodama E Mn14 i E Mn17Cr13 izvedeno je bez nanošenja plastićnog međusloja. Suprotno tome, navari ABRADUR 58 i E DUR 600 polagani su preko prethodno izvedenog (nanetog) međusloja od INOX B 18/8/6. Posle navarivanja, vizuelnom kontrolom nisu uoćene greške tipa prslina, premda su navarene relativno velike radne površine (1200×120 mm).

Takoće su dve nove grede navarene poprećnim delimićnim navarivanjem sa ABRADUR 58 (jedna udarna greda) i E DUR 600 (druga udarna greda). Rastojanje između poprećno položanih navara bilo je oko 100 mm, a oni su polagani na celoj radnoj dućini. Navarivanje druge dve nove udarne grede obavljeno je polaganjem delimićnih krstastih (saćastih) navara preko cele radne površine, tako što je jedna udarna greda

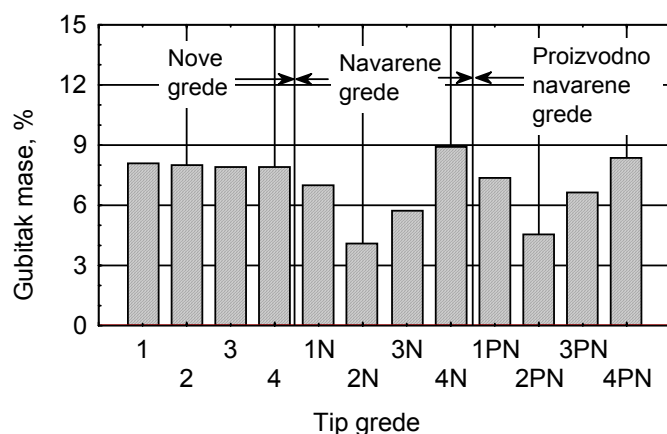
navarena elektrodom E Mn14, a druga udarna greda elektrodom E Mn17Cr13. Maksimalna debljina navara ograničava se iz konstrukcionih razloga na 10 mm, jer bi deblji navari pri obrtanju dodirivali oblogu. Kao i u prvom slučaju, navarivanje sa ABRADUR 58 i E DUR 600 izvršeno je polaganjem navara preko prethodno nanetog plastičnog sloja od INOX B 18/8/6, dok je navarivanje E Mn14 i E Mn17Cr13 izvedeno direktnim navarivanjem na osnovni materijal. Na ovaj način pripremljen je za montažu na drobilici i drugi komplet udarnih greda. U

određenim vremenskim intervalima praćeno je habanje greda posle normalne eksploatacije. Utvrđeno je da posle neprekidnog rada od 72 h dolazi do tolikog oštećenja novih udarnih greda da više nije moguće podešavanjem drobilice postići nastavak procesa proizvodnje, već se grede moraju okrenuti da bi se iskoristila druga radna površina. Gubitak materijala navarenih udarnih greda ispitan je posle 60 efektivnih radnih sati, a zatim su grede međusobno upoređivane. Rezultati ovih istraživanja prikazani su u tablici 5 i na slici 8 [2].

Tablica 5. Gubitak mase materijala udarnih greda drobilice pri realnim radnim uslovima posle 60 h rada [2]

Masa ispitivanih uzoraka (udarne grede)	Nenavarene udarne grede				Reparaturno navarene udarne grede				Proizvodno navarene udarne grede			
	1	2	3	4	1*	2*	3*	4*	1*	2*	3*	4*
Na početku ispitivanja, kg	300	300	300	300	300	300	300	300	305	305	305	305
Na kraju ispitivanja, kg	275.6	276.0	276.4	276.2	279.0	287.6	282.8	273.4	282.2	291.0	284.8	279.5
Gubitak mase, kg	24.4	24.0	23.6	23.8	21.0	12.4	17.2	26.6	22.5	14.0	20.2	25.5
Gubitak mase, %	8.12	8.00	7.87	7.93	7.00	4.12	5.73	8.87	7.38	4.59	6.62	8.36

*) Napomena: 1- E Mn14; 2- E Mn17Cr13, 3- E DUR 600, 4- ABRADUR 58.



1, 2, 3, 4- Nove grede, 1N, 2N, 3N, 4N- Reparaturno navarene grede, 1PN, 2PN, 3PN, 4PN- Proizvodno navarene grede

Slika 8. Grafički prikaz gubitka mase materijala udarnih greda drobilice posle 60 h rada

Na osnovu dobijenih rezultata istraživanja otpornosti na habanje u realnim radnim uslovima može se zaključiti da je najveću otpornost pokazao navar ostvaren pomoću E Mn17Cr13 (4.12%), zatim navar od E DUR 600 (5.73%), pa navar od E Mn14 (7.0%), dok je navar od ABRADUR 58 (8.87%) pokazao manju otpornost i od osnovnog materijala-ČL3460 (7.87-8.12%).

8. Zaključak

Ispitivanja prikazana u ovom radu pokazuju da vek pravilno navarenih greda dvostruko nadmašuje vek novih delova. Navarivanjem se

ostvaruju velike materijalne uštede, povećava produktivnost, smanjuje vreme zastoja drobilica kao i asortiman i količina neophodnih rezervnih delova. Konkretno, vek novih udarnih greda iznosio je oko 15 radnih dana, dok je vek regenerisanih greda dostizao u proseku, zavisno od primenjenog dodatnog materijala, oko 30 radnih dana. Analizom troškova dodatnih materijala, cene rada zavarivača i drugih faktora, došlo se do podataka da troškovi reparaturnog navarivanja jedne udarne grede ne prelaze 25% ukupne cene jednog kompleta novih greda. To znači da se reparaturnim navarivanjem mogu

regenerisati četiri oštećene udarne grede (jedan komplet) po ceni jedne nove grede. Svi ovi pozitivni efekti, proistekli iz ideje autora da se umesto kupovine novih, grede navaruju, dokazani su i u proizvodnji mlevenog kamena. Takođe smo zaključili da se za rangiranje pogodnosti elektroda za navarivanje visokomanganskih čelika nisu presudni tribološki testovi.

9. Literatura

- [1] Lazić, V., Jovanović, M., Ratković, N., Adamović, D., Vulović, R.: *Procena otpornosti na habanje navarenih slojeva izvedenih manganskom elektrodom*, Tribologija u industriji, Originalni naučni rad, Godina XXII, Oktobar-Decembar 2002, br. 3&4, str. 10-17, Kragujevac, Yugoslavia.
- [2] Mutavdžić, M.: *Reparaturno navarivanje delova mašina i uređaja građevinske mehanizacije*, završna verzija magistarske teze, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, 2007.
- [3] Blašković, P., Balla, J., Dzimko, M.: *Tribologija*, Vydavatelstvo, ALFA, Bratislava, 1990.
- [4] Dzubinski, J., Klimpel, A.: *Napawanie i natryskiwanie cieplne*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1985.
- [5] Lazić, V.: *Optimizacija procesa navarivanja sa aspekta triboloških karakteristika navara i zaostalih napona*, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Kragujevac, 2001.
- [6] Katalozi: Thyssen Marathon Edelstahl-Vosendorf, FEP-Plužine, Elvaco-Bijeljina, Železarna Jesenice-Fiprom, Böhler-Kapfenberg, Messer Griesheim-Frankfurt am Main, Esab-Göteborg, Lincoln Electric, USA, Atlas zur Wärmebehandlung der Stähle.
- [7] Ivković, B., Rac, A.: *Tribologija*, Jugoslovensko društvo za tribologiju, Kragujevac, 1995.
- [8] Mutavdžić, M., Jovanović, M., Lazić, V., Nedić, B., Rakić S.: *Modelska ispitivanja dodatnih materijala namenjenih regeneraciji oštećenih delova železničke opreme*, XII Naučno-stručna Konferencija o Železnici sa međunarodnim učešćem - ŽELKON '06, Niš, Zbornik radova, str. 321-324.

SELECTION OF THE OPTIMAL FILLER METAL FOR REPARATORY AND MANUFACTURING HARD-FACING OF THE CIVIL ENGINEERING MECHANIZATION PARTS

Abstract

In this paper is considered the possibility for reparation of the working parts of the civil engineering machines that are damaged by different types of wear. Especially is analyzed the impact abrasive wear, caused by abrasive type, hardness and microstructure. The experimental part of the paper is related to selection of the optimal technology for reparation of the damaged impact beams for the stone milling machine. The mentioned parts are manufactured by casting from manganese steel, which belongs to a group of the conditionally weldable materials. This means that the preceeding model investigations are necessary, in order to define the optimal welding technology on the test samples. The impact beams, were hard-faced by the optimal technology, mounted on the milling machine rotor, used in the minerals crushing process, and then occasionally controlled in the real operating conditions. After certain period of operation in the same working conditions, the degree of wear was analyzed of the newly made and repaired, i.e., variously hard-faced beams, what enabled selection of the optimal hard-facing technology.

Key words: *hard-facing, civil engineering mechanization, abrasive wear, filler metal, microstructure, milling machine*