



Mladen Tošanić^{1,a}

REPARATURNO NAVARIVANJE SEGMENTA NA POGONSKOM TOČKU BAGERA ERS 1000/25

REPAIR WELDING OF SEGMENTS ON EXCAVATOR ERS 1000/25 DRIVE WHEEL

Originalni naučni rad / Original scientific paper

Rad je u izvornom obliku objavljen u Zborniku sa 31. Savetovanja sa međunarodnim učešćem "Zavarivanje 2020" održanog u Kladovu, Srbija od 13. do 16. Oktobra 2021.

Rad primljen / Paper received:

Septembar 2021.

Rad prihvaćen / Paper accepted:

Mart 2022.

Ključne reči: Optimizacija parametara navarivanja, vučni segment, mikrostruktura, bagerske jedinice.

Rezime

U radu su razmotrene metode obnavljanja oštećenih delova bagerskih jedinica pod dejstvom različitih procesa habanja. Da bi se utvrdila najpovoljnija tehnologija navarivanja, obavljena su navarivanja na modelima, a zatim je tako usvojena tehnologija preneti na realne radne delove i proveravana u realnim radnim uslovima. Rezultati ukazuju da je pravilnim odabirom parametara navarivanja i plana navarivanja moguće ostvariti mikrostrukture koje karakteriše dobra otpornost na habanje, što rezultira kako značajnim finansijskim efektima, a tako i sigurnijim uslovima eksploatacije uglja na Površinskom kopu "Kolubara".

1. Uvod

Pri procesu otkopavanja koje obavlja bager vedričar (Slika 1), dolazi do intenzivnog habanja radnih površina vučnih segmenata pogonskog točka (Slika 2), izazvanog suvim trenjem klizanja metal-metal koje je kombinovano sa značajnim

Adresa autora / Author's address:

¹EPS PD Kolubara-Površinski kopovi, Lazarevac, Srbija

^a E mail: mladen.tosanic@gmail.com

Keywords: Welding parameters optimization, traction segment, microstructure, excavator units.

Abstrakt

The repair welding methods of damaged parts of excavator units exposed to different wear processes are discussed in this paper. In order to determine the most favorable repair welding technology, surfacing were performed on the models, thus the adopted technology was transferred to the real parts exposed to real exploitation conditions. Obtained results indicate that by proper selection of surfacing parameters and surfacing plan it is possible to obtain adequate microstructures characterized by good wear resistance, which provide significant financial effects as well as safer conditions during coal exploitation at the Surface Mine "Kolubara"

dinamičkim udarima. Izbor postupka i tehnologije navarivanja pri reparaturi, zavisi u velikoj meri od svojstava osnovnog materijala. Kod osnovnog materijala analiziran je hemijski sastav i mehanička svojstva i ocenjivana je zavarljivost. Kvalitet navara odredjen je merenjem tvrdoće i ispitivanjem mikrostrukture.



Slika 1. Bager vedričar

Figure 1. Bucket excavator



Slika 2. Izgled pogonskog točka

Figure 2. Appearance of the drive wheel

Svojstva osnovnog materijala i zahtevana svojstva navara, predstavljaju ulazne parametre procesa navarivanja, a izlazni parametri navarivanja su svojstva čistog metala navara (mikrostruktura, mikrotvrdoća, otpornost na habanje, otpornost na koroziju i dr. Da bi se dobio zahtevan kvalitet navara, nije dovoljno samo pravilno izabrati postupak navarivanja i dodatni materijal već i odabrati najpovoljnije parametre navarivanja i odgovarajuću tehniku nanošenja navara.

Jedan od mogućih načina ponovnog osposobljavanja istrošenih delova mehanizacije u rudnicima je primena navarivanja punjenom samozaštitnom žicom, što je i prikazano u ovom radu na primeru navarivanja istrošenih segmenata na pogonskom točku bagera na površinskom kopu RB Kolubara. Razvoj tvrdog navarivanja ide širokim frontom, obuhvatajući razradu novih metoda, novih postupaka, novih materijala za navarivanje, kao i uvođenje novih naučnih istraživanja u oblasti određivanja različitih svojstava navarenog materijala.

2. Eksperiment

Izbor dodatnog materijala se vrši na osnovu zahtevanih svojstava navara, a izbor postupka navarivanja se najčešće obavlja tako da postupak može da obezbedi potrebne parametre navarivanja, kako bi se izvelo neometano topljenje i deponovanje dodatnog materijala na osnovnom materijalu i dobije navar dobrog kvaliteta.

Posle izbora odgovarajućeg dodatnog materijala i postupka navarivanja neophodno je dati ocenu zavarljivosti osnovnog materijala, odnosno materijala od koga je izgrađen deo. Za slučaj da je reč o materijalima uslovne zavarljivosti, potrebno je definisati odgovarajuće mere i obezbediti dodatne uslove kako bi se postigla što bolja zavarljivosti spajanih materijala.

Određivanja najpovoljnije tehnologije navarivanja je dosta složen i odgovoran posao. Da bi se propisala optimalna tehnologija reparaturnog navarivanja neophodno je izvesti veći broj proba sa variranjem parametara navarivanja (q_i , T_p , v_z , I , U). Pri ovim probama potrebno je definisati način i redosled nanošenja navara, debljinu i broj nanetih



slojeva, vrstu i način izvođenja termičke obrade, način hlađenja navara i dr. [1, 2].

Izabran je postupak navarivanja punjenom samozaštitnom žicom, postupak oznake 114 - FCAW-S prema standardu SRPS EN ISO 4063: 2009 (E/F) [3]. Glavni razlog za odabir ovog postupka je brzina navarivanja kao i nanošenje veće količine depozita dodatnog materijala u jedinici vremena i posedovanje odgovarajuće opreme.

2.1. Osnovni materijal

Osnovni materijal od koga su izrađeni ispitivani uzorci segmenata pogonskog točka (cr.br. T-V-078 - 3/2) je čelični liv za opštu upotrebu sledećih oznaka prema različitim standardima: EN 10027-1 GE-300, DIN EN 10293 GE300, broj 1.0558, SRPS EN 10293 GE 300 (ČL.0600). Ovaj materijal primenjuje se za izradu delova od kojih se zahteva visoka otpornost prema habanju. Hemijski sastav osnovnog materijala prikazan je u tabeli 1, a u tabeli 2 prikazane su mehaničke osobine.

Tabela 1. Hemijski sastav čeličnog liva ČL.0600

Table 1. Chemical composition of the cast steel ČL.0600

OM ČL.0600	Hemijski sastav, [%]				
	C	Si	Mn	P _{max}	S _{max}
Propisan	-	-	-	0.035	0.030
Ispitan	0.401	0.818	0.794	0.098	0.029

Tabela 2. Uporedne oznake i zahtevane mehaničke osobine osnovnog materijala

Table 2. Comparative designations and required mechanical properties of the parent material

Uporedne oznake			Mehaničke osobine				
SRPS EN 10293	DIN1681	DIN EN10293	R _{p0.2} , [MPa]	R _m , [MPa]	A ₅ , [%min]	KV, [Jmin]	Tvrdoća, [HRC]
ČL.0600	GS-60 1.0558	GE300 W.Nr.1.0558	300	520-670	18	31	28

2.2 Dodatni materijal

Za navarivanje međusloja postupkom 111, korišćena je obložena austenitna elektroda E Ni 6182, prema standardu EN ISO 14172, prečnika Ø 3.20 mm, komercijalne oznake INCONEL®182. Ova elektroda obezbeđuje visoku postojanost na pojavu prslina, čak i pri stalnim temperaturnim i mehaničkim opterećenjima. Kao dodatni materijal za navarivanje je izabrana punjena samozaštitna žica za FCAW-S (114) postupak, a na osnovu hemijskog sastava i mehaničkih osobina osnovnog materijala segmenata pogonskog točka, a uzimajući u obzir odabrani postupak navarivanja i zahtevanu tvrdoću: Castolin TeroMatec AN 3205 Ø2.8mm, prema standardu SRPS EN 14700 T Fe 9 i Castolin TeroMatec AN 4660 Ø 2.8mm, prema standardu SRPS EN 14700 T Fe 15.

2.3 Predviđanje zavarljivosti osnovnog materijala

Osnovni materijal za izradu segmenata pogonskog točka je čelični liv GE-300, koji pripada grupi materijala sa povećanim sadržajem ugljenika (> 0.40%), nije pogodan za zavarivanje odnosno za navarivanje i pripada grupi uslovno zavarljivih čelika. Zbog toga reparaturno navarivanje segmenata izlivenih od ovog materijala treba izvesti uz posebne mere, kako ne bi došlo do pojave prslina, jer u uslovima navarivanja mogu nastati krte faze zbog njegove sklonosti ka zakaljivanju. Jedan od pokazatelja moguće pojave hladnih prslina je tvrdoća ZUT-a. Za nelegirane i nisko legirane čelike maksimalna tvrdoća zone uticaja toplote može da se izračuna pomoću sledeće empirijske jednačine: $HV_{max} = 90 + 1050C + 47Si + 75Mn + 30Ni + 31Cr$.



Ukoliko je $HV_{max} > 350$ čelik je sklon pojavi hladnih prslina. Za ČL.0600 ta vrednost iznosi 611HV [4]. Da bi se povećala zavarljivost i da ne bi došlo do pojave prslina, navarivanje ovog čeličnog liva treba izvesti sa predgrevanjem. U ovom slučaju temperatura predgrevanja je određena po metodi *Seferijanove* formule.

Temperatura predgrevanja - T_p je izračunata prema metodi *Seferijana*:

$$T_p = 350 \sqrt{C_{eu} - 0,25} \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$C_{eh} = \%C + \%Mn/6 + \%Ni/15 + \%Cr/5 + \%Cu/13 + \%Si/4 + \%P/2 = 0,589\%$$

$$C_{eu} = C_{eh} + C_{ed} = C_{eh} (1 + 0,005 \cdot d), \text{ d- debljina materijala modela (mm)}$$

$$C_{eu} = 0,589(1 + 0,005 \cdot 50) = 0,736\%$$

gde su:

C_{eu} - ukupni ekvivalent ugljenika,

C_{ed} - dimenzioni ekvivalent ugljenika,

C_{eh} - hemijski ekvivalent ugljenika.

Na osnovu izvršenog proračuna dobijena je temperatura predgrevanja

$$T_p = 350 \sqrt{0,736 - 0,25} = 243^\circ\text{C},$$

a usvojena je temperatura predgrevanja od $T_p = 250^\circ\text{C}$ za proces reparature.

Ispitivanja su obavljena navarivanjem na odabranim modelima izrađenim od istog materijala

kao i vučni segmenti. Modeli za navarivanje birani su na osnovu geometrijske sličnosti sa vučnim segmentima. Modeli- uzorci su izliveni u AD livnica "Ljig" u Ljigu, dimenzija $50 \times 120 \times 360$ mm, progrevani 2h na temperaturi od 830°C , a zatim lagano hlađeni na mirnom vazduhu. Navarivanja na modelima izvedena su u pogonima "Kolubare - Metal" d.o.o u Vreocima, kao i njihovo uzorkovanje za dalja ispitivanja. Uzorkovanje komada (modela) iz ploča obavljeno je na uređaju erozimat tip FANUC-TAPECUT-W2, brzina rezanja 1,51 mm/min. Ispitivanja tvrdoće osnovnog materijala, makrotvrdoće navara i mikrostrukture materijala obavljena su u laboratoriji Zavoda za zavarivanje - Beograd, Vojnotehničkog instituta - Beograd i Instituta "Goša" - Smederevska Palanka. Praćenje oštećenja usled triboloških i drugih procesa na realnim delovima pri realnim eksploatacionim uslovima obavljeno je na bageru na površinskom kopu Tamnava - zapadno polje, Rudarskog basena "Kolubara" u Lazarevcu.

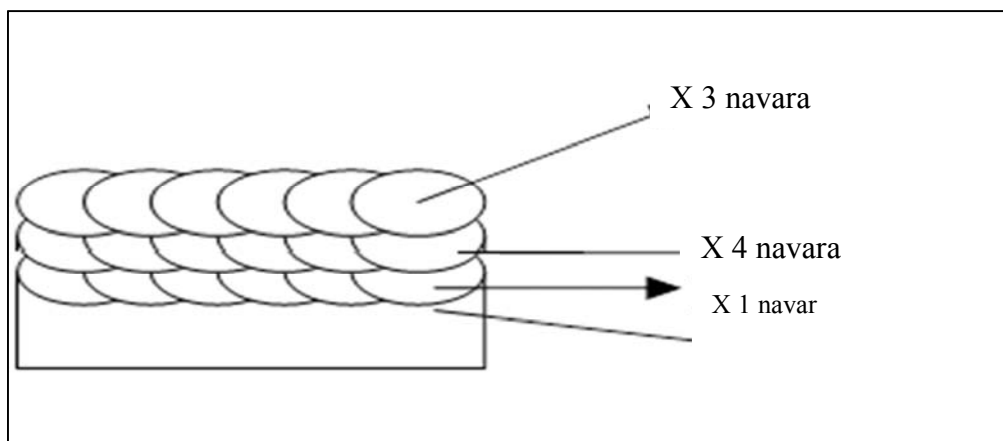
2.4 Tehnologija zavarivanja

Tehnologija navarivanja je realizovana sa predgrevanjem i nanošenjem elastičnog međusloja, postupkom 111, korišćenjem elektrode Inconel®182, ENI 6182, prema standardu EN ISO 14172 i višeslojnim navarivanjem (četiri navara) punjenom samozaštitnom žicom TeroMatec AN 3205, standard SRPS EN 14700 T9, a pokrivni sloj (tri navara) samozaštitnom punjenom žicom TeroMatec AN4660, standard SRPS EN 14700 T Fe15. Visina navarenog prvog sloja iznosila je 11 mm, a širina navara 10 – 11 mm. Kod drugog sloja visina navara je iznosila 10 mm, a širina 12 - 13mm, što je šematski prikazano na slici 3.

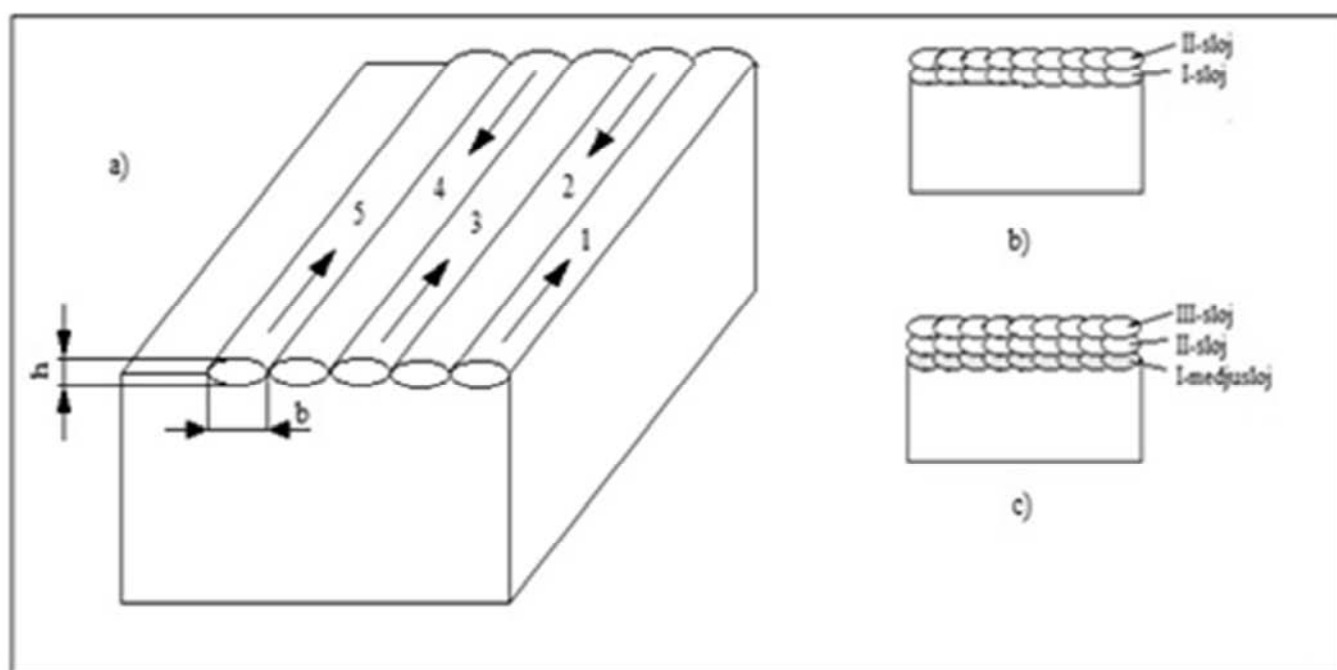
Tabela 3. Tehnološki parametri navarivanja 114 i 111 postupkom

Table 3. Technological parameters of bead on plate welding for procedures 114 and 111

Debljina O.M., s, [mm]	Oznaka elektrodne žice,	Prečnik elektrode i žice d_e [mm]	Struja navarivanja I, [A]	Radni napon U, [V]	Brzina navarivanja v_z , [cm/min]	Broj slojeva	Pogonska energija navarivanja, $q_i = \frac{U \cdot I}{v_z} \cdot 60$, [J/cm]
50	Inconel 182	3.20	106	25	17	1	9352
	AN 3205	2.8	220	27	23	4	15495
	AN 4660	2.8	230	26	22	3	16309



Slika 3. Šematski prikaz poprečnog preseka
Figure 3. Schematic presentation of the cross section



Slika 4. Način i redosled polaganja navara pri izradi uzoraka: a) način polaganja navara;
 b) redosled nanetih slojeva (tehnologija 1-1); c) redosled nanetih slojeva (tehnologija 2-2 i 3-3)

Figure 4. Applying and order of surfacing layers during the production of samples: a) manner of surfacing; b) order of applied layers (technology 1-1); c) order of applied layers (technology 2-2 and 3-3)



3. Rezultati

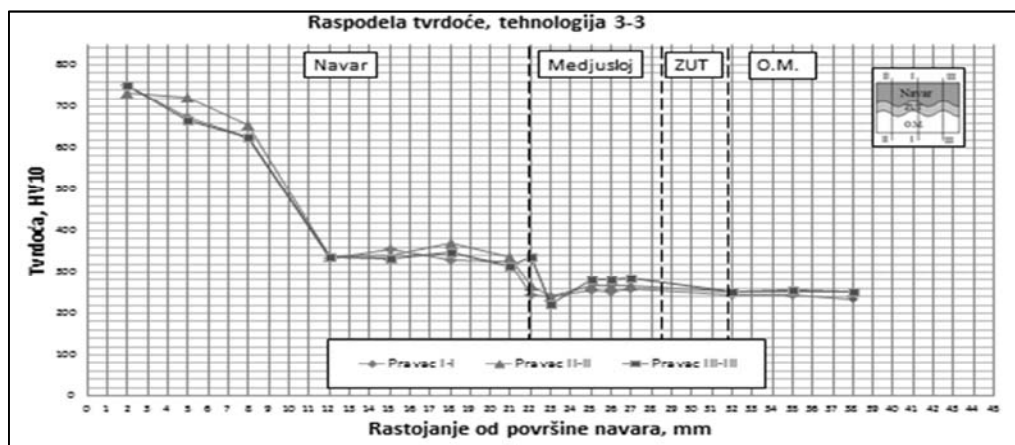
3.1 Ispitivanje tvrdoće

Vrednosti izmerenih vrednosti tvrdoće po raspedela tvrdoće po preseku navara u tri pravca karakterističnim zonama prikazane su u Tabeli 4, a prikazana je na Slici 5.

Tabela 4. Vrednosti tvrdoće po karakterističnim zonama

Table 4. Hardness values in characteristic zones

	Vrednosti tvrdoće, HV10						
	Uzorak 3-3, posle navarivanja			Uzorak 3-3, posle žarenja			
	Rastojanje od površine, mm	Pravac ispitivanja					
I-I		II-II	III-III	I-I	II-II	III-III	
Metal navara EN4660	2	752	734	752	743	731	752
	5	620	724	665	627	665	542
	8	665	657	627	620	642	595
Metal navara EN3205	12	333	339	336	295	292	281
	15	354	342	333	281	237	258
	18	330	370	348	260	233	242
Međusloj Inconel®182	21	325	339	314	194	186	188
	22	245	266	336	264	177	186
	23	242	242	222	232	205	183
Zona Uticaja Toplote	25	256	266	281	201	205	202
	26	253	268	283	205	202	199
	27	260	268	287	202	198	213
Osnovni metal	32	243	251	253	189	188	187
	35	243	253	254	187	178	188
	38	235	253	253	189	188	188



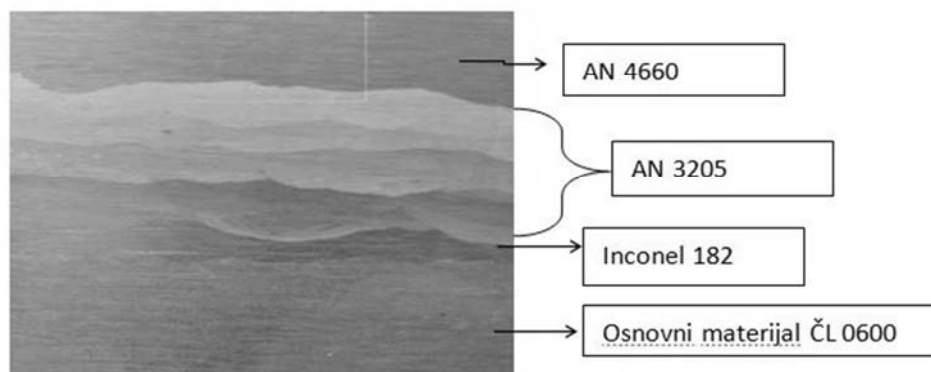
Slika 5. Raspodela tvrdoće po preseku navara u tri pravca

Figure 5. Hardness distribution along the cross section of the weld in three directions

3.2 Ispitivanje makrostrukture

Metalografska analiza uzoraka koji su ispitivani po poprečnom preseku navarenog sloja, ukazuje da se na makro nagriženom izbrusku (šlif) uočavaju navari sa jasno izraženim granicama: osnovnog metala, zone uticaja toplote, međusloja i metala navara i koje su nastale pri izvođenju pojedinih navara, a prikazane su na Slici 6.

uočavaju navari sa jasno izraženim granicama: osnovnog metala, zone uticaja toplote, međusloja i metala navara i koje su nastale pri izvođenju pojedinih navara, a prikazane su na Slici 6.

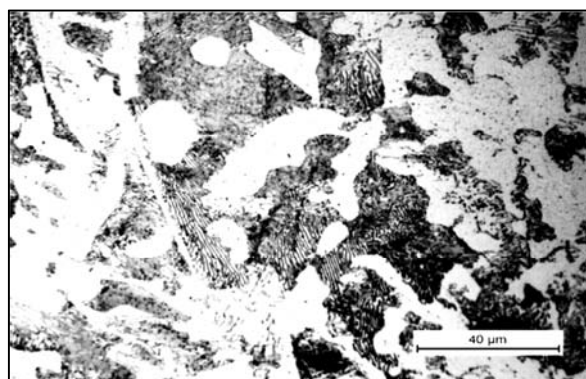


Slika 6 . Izgled makrostrukture navarenog sloja

Figure 6. Appearance of the bead on plate welded layer macrostructure

3.3 Ispitivanje mikrostrukture

Rezultati ispitivanja mikrostrukture u karakterističnim zonama navara, prikazani su na Slikama 7-11.



Slika 7. Mikrostruktura osnovnog materijala (nagrizanje u nitalu 2%)

Figure 7. Microstructure of the parent material (etching in nital 2%)

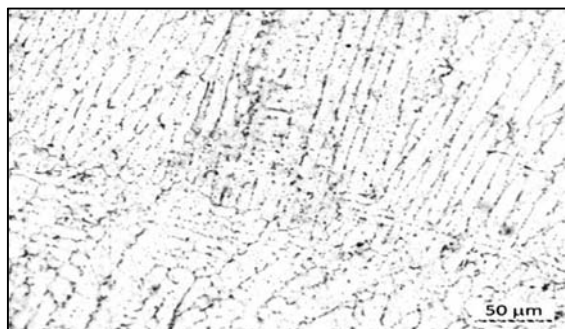


Slika 8. Mikrostruktura ZUT-a, 30 mm od površine navara (nagrizanje u nitalu 2%)

Figure 8. Microstructure of the HAZ, 30 mm from the surface of the weld (etching in nital 2%)



Mikrostruktura osnovnog materijala, prikazana na Slici 7, može se opisati kao livena sruktura koja se sastoji od lamelnarnog perlita i ferit, dosta je homogena, a lamele perlita su fino raspoređenje. U strukturi se zapaža dosta nemetalnih uključaka različite veličine i poneka pora.

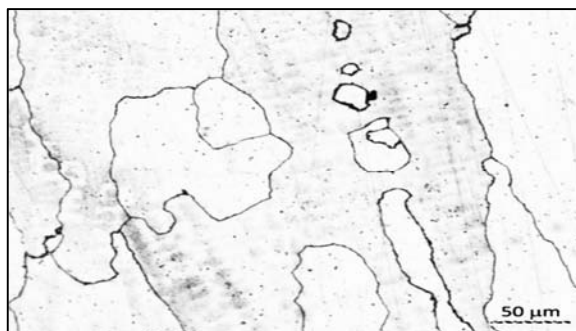


Slika 9. Mikrostruktura međusloja – dodatni materijal INCONELL 182, nagrizano u carskoj vodi

Figure 9. Microstructure of the interlayer – filler material INCONELL 182, etched in Aqua Regia

Prikazana mikrostruktura međusloja na Slici 9. može se opisati kao livena dendritna austenitna struktura, sa taložnim česticama na bazi niobijuma i titana. Na Slici 10. prikazana je mikrostruktura prvog

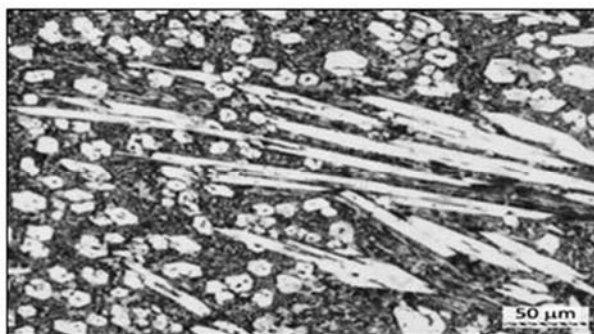
Slika 8. prikazuje mikrostrukturu zone uticaja toplote na približno 30mm od površine navara i može se opisati kao struktura globularnog perlita plus ferit (igličast i zrnast). Zona uticaja toplote je dosta izražena i iznosi oko 4 mm. U strukturi su uočljivi loptasti uključci MnS u feritnoj matrici.



Slika 10. Mikrostruktura navara I, žica EN 3205, nagrizano u carskoj vodi

Figure 10. Microstructure of bead on plate weld I, wire EN 3205, etched in Aqua Regia

tvdog navarenog sloja, navara– I, i može se opisati kao austenitna. Zrna su izrazito gruba, izdužena, usmerena i u okviru njih se uočavaju dendritne grane.



Slika 11. Mikrostruktura navara, Navar II, žica EN 4660 nagrizano u carskoj vodi

Figure 11. Microstructure of bead on plate weld Navar II, wire EN 3205, etched in Aqua Regia

Na Slici 11. prikazana je mikrostruktura metala navara II - pokrivnog sloja i može se opisati kao nadeutektska legura, koja je dosta kompleksna i sastoji iz mešavine martenzita, ledeburita i zaostalog austenita, sa primarno izdvojenim karbidima Nb i Cr.

6. Diskusija

Nakon navarivanja kontrola navarenih uzoraka je izvedena u obimu 100%. Primenjeno je ispitivanje VT (vizuelna kontrola) i MT (kontrola magnetnim česticama). Ove metode ispitivanja bez razaranja su pokazale da je proizveden navareni sloj prihvatljivog kvaliteta i da nisu uočene bilo kakve značajne indikacije koje bi se mogle

klasifikovati kao neprihvatljive. Primetno je da je raspodela tvrdoće dosta ravnomerna sa znatnim porastom u metalu navara. Takođe je primetna vrlo mala razlika u tvrdoćama uzoraka koji su termički tretirani i termički netretirani. Raspodela tvrdoće u zoni donjeg prolaza navara i raspodela tvrdoće u zoni gornjeg prolaza navara se razlikuju, što je posledica uticaja efekta predgrevanja prvog prolaza na koji je imao uticaj drugi prolaz i pod uticajem različitog stepena mešanja osnovnog i dodatog materijala.

Potrebno je naglasiti da su rezultati istraživanja dobijeni u realnim radnim uslovima, pokazali da na udarno habanje veću otpornost imaju žilavi materijali sa mikrostrukturom koja u svom sastavu



ima kompleksne karbide u mekšoj metalnoj osnovi nego materijali tvrde martenzitne strukture sa karbidima u metalnoj matrici. Kod navarivanja dodatnim materijalom žica (EN 3205) - podeluteklički materijal, navari su svoju otpornost na habanje postigli preko disperzije karbida unutar

matrice i njihove mogućnosti da deformaciono ojačavaju. Sa druge strane, nadeuteklički tvrdi navari, dodatni materijal (EN 4660), otpornost na habanje postižu zahvaljujući svojim primarnim eutekličkim karbidima.

7. Zaključak

Ispitivanja na modelima ukazuju na to da presudan uticaj na izlazne osobine navarenog sloja, pored primenjene tehnologije, ima vrsta dodatnog materijala. Na osnovu eksperimentalnih rezultata i analiza, moglo bi se smatrati da je tehnologija navarivanja kojom je navaren međusloj sa dodatnim materijalom Inconel 182® i dva pokrivna sloja sa samozaštitnom punjenom žicom Castolin EN 3205 i Castolin EN 4660, najprimerljivija za revitalizaciju oštećenih vučnih segmenata na pogonskom točku bagera ERs1000/20.

Povećanje otpornosti na habanje se objašnjava prvenstveno povoljnijom mikrostrukturom pojedinih zona navara, kao i povoljnom vezom navar-osnovni materijal. Reparturno navarivanje vučnih segmenata se pokazalo vrlo uspešnim, efikasnim i ekonomski opravdanim. Dokazano je da je moguća vrlo brza i efikasna reparatura tribološki i mehanički oštećenih segmenata i u proizvodnim uslovima. Ostvareni su zadovoljavajući rezultati i bez termičke obrade posle navarivanja.

Na osnovu prethodnih analiza može se zaključiti da je najznačajniji faktor za određivanje otpornosti na habanje mikrostruktura nanetih slojeva. Ovim postupkom, već par godina vrlo uspešno se radi reparatura noževa, džepova, kofica, segmenata gusenica, zuba na rotnim bagerima u PD RB "Kolubara".

Literatura / References

[1] Lazić, V. (2000), Optimizacija procesa navarivanja sa aspekta triboloških karakteristika navarai zaostalih napona, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Kragujevac

[2] Seferijan, D. (1969), Metalurgija zavarivanja, Gradjevinska knjiga, Beograd,

[3] Standard SRPS EN ISO 4063 (2009), Lista postupaka i označavanje postupaka.

7. Conclusion

Tests on the models indicate that the decisive influence on the output properties of the welded layer, in addition to the applied technology, has the type of additional material. Based on experimental results and analyzes, it could be considered that the welding technology which welded the intermediate layer with additional material Inconel 182® and two cover layers with self-protective filled wire Castolin EN 3205 and Castolin EN 4660, is most applicable for revitalization of damaged traction segments at the drive wheel of ERs1000 / 20 excavator.

The increase in wear resistance is explained primarily by the more favorable microstructure of individual weld zones, as well as the favorable weld-base material bond. Repair bead on plate welding of traction segments has proven to be very successful, efficient and economically justified. It has been proven that very fast and efficient repair of tribologically and mechanically damaged segments is possible even in production conditions. Satisfactory results were achieved even without heat treatment after welding.

Based on the previous analyzes, it can be concluded that the most important factor for determining the wear resistance of the microstructures of the applied layers. With this procedure, for a couple of years now, repairs of knives, pockets, buckets, segments of caterpillars, teeth on rotary excavators in PD RB "Kolubara" have been done very successfully.

[4] Zbornik radova (1996), Medjunarodno savetovanje „Zavarivanje 86”, Zavarivanje u energetici, Beograd,.

[5] Katalog Castolin Eutectict (2008), firma Messer Tehnogas AD, Beograd, 06/2008.