



V. Grabulov, Z. Odanović, B. Katavić, S. Momčilović, B. Tasić

REPARATURNO ZAVARIVANJE DISKA RADNOG KOLA MLINA ZA UGALJ OD Cr-Mo ČELIKA

REPAIR WELDING OF THE COAL MILL DISK MADE OF Cr-Mo STEEL

Originalni naučni rad / Original scientific paper

UDK / UDC: 625.173.6

Rad primljen / Paper received:

Septembar 2008.

Ključne reči: Reparaturno navarivanje, disk radnog kola, čelični liv GS 17 CrMo 55, mlin za ugalj.

Izvod

U ovom radu prikazano je istraživanje u cilju određivanja optimalnih parametara reparaturnog navarivanja diska radnog kola mlina za ugalj u termoelektrani, koji je oštećen abrazijom. Reparatura je izvedena na radnom kolu, bez njegove demontaže na sastavne delove kao što su disk, prsten i udarne ploče. Prečnik radnog kola je $\varnothing 4100$ mm, a težina 23 tone. Odlivak diska radnog kola je izrađen od čelika GS17CrMo55, koji spada u grupu uslovno zavarljivih čelika, koji mogu uspešno da se zavaruju uz primenu posebnih dodatnih materijala, predgrevanja i drugih mera predostrožnosti. Iz tih razloga izvršena je analička procena zavarljivosti, ispitivanja na osnovu tehnoloških proba i izvedeno nekoliko serija probnih navarivanja CrMo čeličnog liva sa različitim uslovima navarivanja i termičke obrade.

Na osnovu ovih ispitivanja izvedena je analiza uticaja primene različitih postupaka i uslova navarivanja, dodatnih materijala, kao i različitih uslova termičke obrade pre i posle zavarivanja na strukturno – mehaničke osobine CrMo liva. Rezultati analize omogućili su izbor optimalnih parametara navarivanja i izvođenje reparaturnog navarivanja diska radnog kola mlina za ugalj. Rezultati merenja tvrdoće i IBR-a potvrdila su zadovoljavajući kvalitet reparaturnog navarivanja diska.

Adresa autora / Author's address:

dr Vencislav Grabulov, dipl. inž. met.

dr Zoran Odanović, dipl. inž. met.

IMS Institut, Bulevar vojvode Mišića 43, Beograd, Srbija.

dr Boris Katavić, dipl. inž. met.

Institut Goša, Milana Rakića 35, Beograd, Srbija

Saša Momčilović, dipl.inž.maš,

Boban Tasić, dipl.inž.maš.

MS Termopro, Juhorska 1, 11060 Beograd, Srbija

Keywords: Repair welding, working wheel of the coal mill, cast steel GS 17 CrMo 55.

Abstract

In the paper the details of the investigation of the optimal parameters for repair welding of abrasive damaged working wheel of the coal mill are presented. Repair was performed without disassemble of the wheel. Diameter of the wheel was 4100 mm, and a weight was approximately 23 tons. The wheel was made of the cast steel GS17CrMo55. As the weldability of this steel is limited, weldability analysis of the base material by the analytical equations was performed and a series of trial welds with different welding and thermal conditions were done. The effects of the different welding processes and parameters, different filler materials and different preheating and post weld heat treatment conditions on hardness and macro and micro structure were analyzed. The Y probe was used for sensitivity testing to crack forming.

Based on obtained results, the optimal welding parameters were selected, and the repair welding of the wheel was performed. Hardness measurement and NDT testing were verified quality of the applied repair welding.

UVOD

Oprema u termoelektranama može biti decenijama u eksploataciji bez zamene osnovnih agregata i njihovih delova. Međutim, njihove pojedine metalne komponente su izložene dugotrajnom dejstvu visokih temperatura i pritiska, koroziji, abraziji i cikličnom opterećenju.

U navedenim uslovima eksploatacije različiti uzroci mogu dovesti do oštećenja kao što su puzanje materijala, niskociklični termalni zamor, pojava krstosti, omekšavanje i sferodizacija. Lomovi delova postrojenja

mogu prouzrokovati znatna oštećenja i zastoj u radu energetskih postrojenja, kao i povrede radnog osoblja.

U cilju produženja radnog veka ili izbegavanja loma komponenti, koje su izložene starenju materijala, istrošenosti ili nekoj drugoj vrsti oštećenja, neophodne su neprekidne kontrole rada postrojenja, kao i zamena i/ili reparatura delova u određenom vremenskom periodu.

Kao jedan od najuspešnijih, najekonomičnijih i najbržih načina reparature jeste primena tehnologije reparature zavarivanjem, odnosno navarivanjem [1-5].

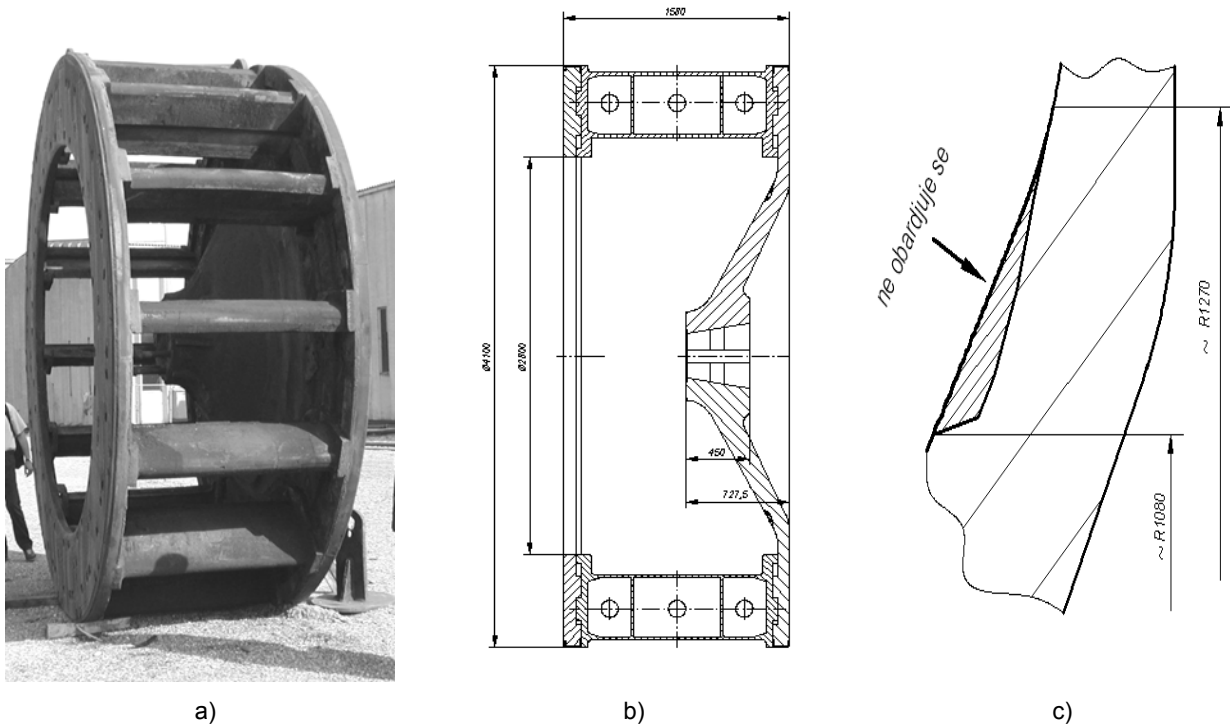


Brojne su prednosti reparature delova zavarivanjem. Međutim, u praksi na postoje standardne procedure za definisanje i primenu najoptimalnije tehnologije reparature zavarivanjem ili za procenu preostalog radnog veka reparirane komponente.

Za mnoge komponente i razne vrste oštećenja na njima, ne postoje proverene metodologije reparature. Pored toga, prisutan je i problem i izbora optimalnog termičkog tretmana komponenti u toku i nakon reparature. Poseban problem predstavlja kontrola kvaliteta tokom ovih procesa [1, 2].

U ovom radu razmatrana je problematika reparature diska radnog kola mlina za uglj u termoelektrani. Prečnik radnog kola je $\varnothing 4100$ mm i težine 23 tone. U toku rada obrtna brzina kola je 420 o/min. Radna temperatura ovog postrojenja je oko 300 – 350 °C. Na slici 1a prikazan je izgled radnog kola.

Reparatura je bila neophodna zbog oštećenja koja su nastala usled abrazije na unutrašnjoj površini diska i koja su radijalno raspoređena na rastojanju od oko 2700 mm od ose diska. Na slikama 1 b i c prikazana su oštećenja dubine oko 25 – 30 mm i širine oko 200 mm.



Slika 1: Izgled radnog kola i oštećenja na disku radnog kola: a) radno kolo; b) presek kola sa mestom oštećenja na disku; c) detalj preseka diska sa oštećenjem.

Figure 1: View of the working wheel of the coal milling plant and damages: a) working wheel; b) damaged zone on the disc; c) detail of the damaged zone

Tabela 1: Hemijski sastav čeličnog liva GS 17 CrMo 55 (mas.%).

Table 1: Chemical composition of the cast steel GS 17 CrMo 5-5 (mass.%)

	C	Si	Mn	S	P	Cr	Mo
SRPS EN 10213-2	0,15-0.20	0,30-0.60	0,50-1.00	max. 0,020	max. 0,020	1.00-1.50	0.45-0.65
Urađena analiza	0.17	0,45	0,72	0,019	0,018	1.42	0.38

Tabela 2: Mehaničke osobine čeličnog liva GS 17 CrMo 55

Table 2: Mechanical properties of the cast steel GS 17 CrMo 55

	Granica razvlačenja Rp0.2min, MPa	Zatezna čvrstoća Rm, MPa	Izduženje Amin, %	Rad udara KUmin, J
SRPS EN 10213-2	315	490-690	20	27



EKSPERIMENT

Materijal diska radnog kola

Analiza hemijskog sastava materijala diska, po dokumentaciji čelični liv oznake GS 17 CrMo 55, određena je spektrofotometrijskom metodom i data je u tabeli 1. Hemijski sastav čeličnog liva odgovarao je, osim nešto nižeg sadržaja Mo, zahtevima standarda SRPS 10213 – 2/2003. odnosno EN 10213/95.

Mehaničke osobine čelika odlivka prema standarda SRPS 10213 – 2/2003. odnosno EN 10213/95 su prikazane u tabeli 2.

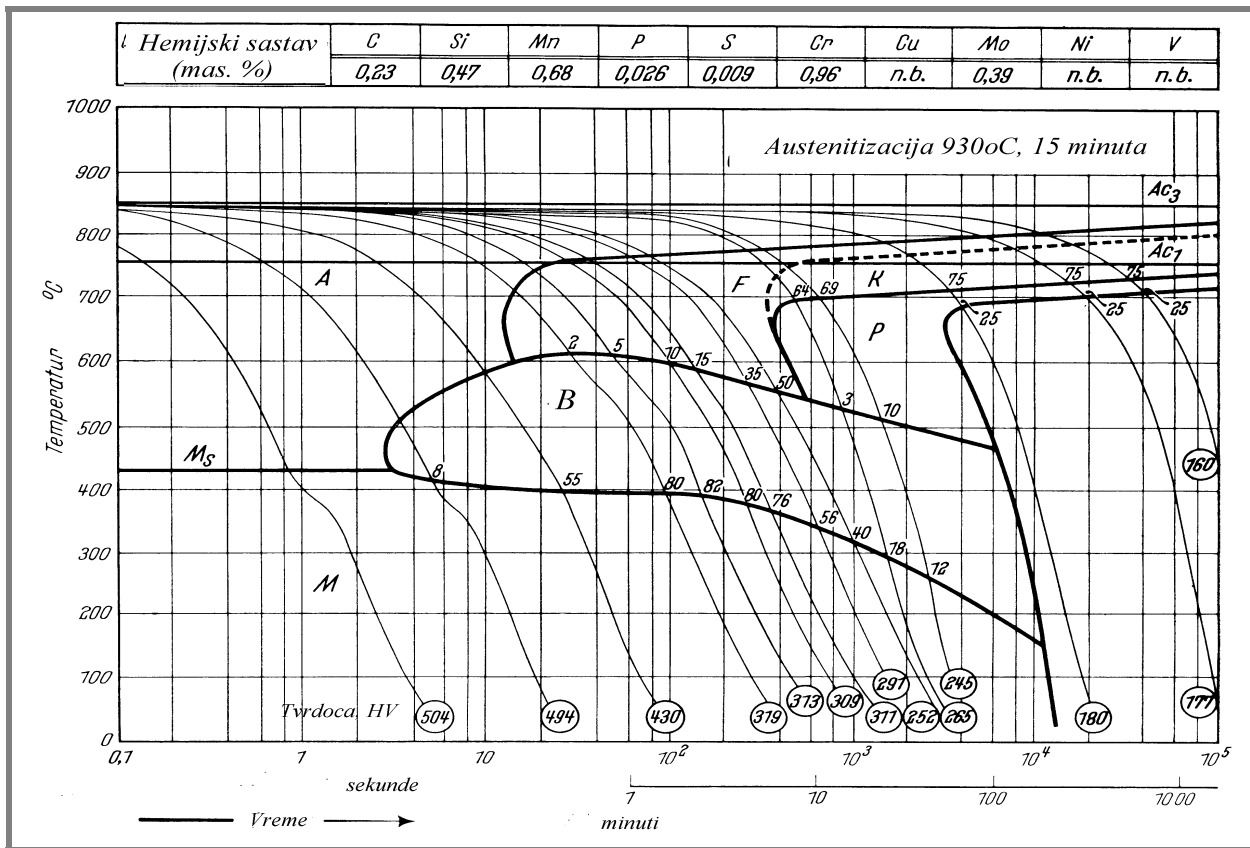
Ispitivanje mikrostrukture odlivka vršeno je metodom replike u zoni koja nije oštećena sa unutrašnje strane konusa radnog kola. Kvalitativno ispitivanje mikrostrukture izvršeno je na svetlosnom mikroskopu na uzorcima koji su pripremani klasičnim postupkom metalografske pripreme, a potom nagriženi u 3% nitalu. Mikrostruktura sastoji od grubo-igličastog beinita u

količini od oko 60% i od oko 35% ferita. Uočava se prisustvo karbida po granicama zrna u količini od 2-3%, kao i izvesna mala količina martenzita.

Dijagram kontinuiranog hlađenja za liveni čelik GS 17 CrMo 55 prikazan je na slici 2. Na osnovu ovog dijagrama može se konstatovati da se kod ovog čelika može javiti martenzitna mikrostruktura i pri hlađenju na vazduhu, što ukazuje na povišenu sklonost ka pojavi krutih struktura i prslina u ZUT-u.

Materijal za probna ispitivanja

U cilju definisanja optimalne tehnologije reparaturnog navarivanja diska radnog kola izvršena su probna navarivanja. Obzirom da se nije raspolagalo identičnim materijalom od koga je izrađen radno kolo mlina za ugaj, korišćen je čelični liv čiji hemijski sastav odgovara zahtevima prema SRPS EN 10213-2, ali sa nižim sadržajem molibdena. Hemijski sastav i mehaničke osobine materijala za izradu probnih uzoraka su prikazani u tabelama 3 i 4.



Slika 2: Dijagram kontinuiranog hlađenja za čelik GS 17 CrMo 55

Figure 2: CCT diagram of the GS 17 CrMo 55 steel

Tabela 3: Hemijski sastav CrMo čeličnog liva probnih uzoraka (mas.%).

Table 3: Chemical composition of the cast steel CrMo samples (mass.%)

Hemijski sastav, mas.%						
C	Si	Mn	S	P	Cr	Mo
0.20	0.44	0.60	0.028	0.032	1.25	0.15

**Tabela 4:** Mehaničke osobine CrMo čeličnog liva probnih uzoraka**Table 4:** Mechanical properties of the cast steel CrMo samples

Granica razvlačenja Rp0.2, MPa	Zatezna čvrstoća Rm, MPa	Izduženje A, %	Tvrdoća HB	Rad udara KU, J
462	631	23	168 - 205	24

Analiza zavarljivosti čeličnog liva GS17CrMo55

Obzirom na prethodna zapažanja koja se odnose na materijal odlivka diska, a pre eksperimentalnih ispitivanja, izvršena je analitička ocena zavarljivosti Cr – Mo čeličnog liva. U oceni zavarljivosti primenjeni su sledeći analitički izrazi:

- Ekvivalent ugljenika CEKV određen je prema formuli Međunarodnog instituta za zavarivanje (IIW), japanskih autora i metode BWRA;
- Parametar prslina određen je prema formuli Tekkena;
- Skлонost ka pojavi hladnih prslina je određen prema formuli Ita i Bessya;
- Skлонost ka pojavi toplih prslina određen je primenom faktora HCS;
- Skлонost čelika ka pojavi prslina usled naponskog žarenja određena je preko parametra Nakamura - ΔG i indeksa Ito-a Psr

Rezultati primene parametarskih jednačina su prikazani u tabeli 5.

Sve parametarske jednačine su primenjene za sledeće materijale:

- Cr – Mo čelični liv od kojeg su izrađene odgovarajuće tehnološke probe (dodatna oznaka – indeks 1);
- Cr – Mo čelični liv (GS 17 CrMo 55) od koga je izrađen disk radnog kola (dodatna oznaka – indeks 2);
- Cr – Mo čelični liv čiji hemijski sastav odgovara gornjem graničnom hemijskom sastavu za čelik GS-17 CrMo 55 (dodatna oznaka – indeks 3).

Ovi rezultati ukazuju da je čelični liv GS 17 CrMo 55 zavarljiv primenom konvencionalnih postupaka zavarivanja ali uz primenu odgovarajućih mera predostrožnosti. To znači da je u toku zavarivanja potrebno voditi računa o brzini zagrevanja, hlađenja i temperaturi međuprolaza, odnosno o termičkom ciklusu zavarivanja. Pored toga, rezultati analitičke procene ukazuju da je čelični liv GS 17 CrMo 55 (disk radnog kola) sklon pojavi prslina usled žarenja.

Zbog umerene sklonosti ka pojavi hladnih i toplih prslina, na koje su ukazali rezultati analitičke ocene zavarljivosti, izvršeno je i ispitivanje "Y" tehnološkom probom.

Temperatura predgrevanja je određena metodom koja se bazira na vrednosti parametra za hladne prsline P_w i po metodi Seferijana [6-7]. Dobijene temperature predgrevanja za tri vrste materijala (označenih sa indeksima I, II i III) su u intervalu od 150 - 200 °C.

Određeno je područje stvaranja martenzita, odnosno temperatura početka i kraja stvaranja martenzita T_{Ms} i T_{Mf} i dozvoljena temperatura T_{doz} , ispod koje se ne bi smela hladiti zona navarivanja u toku procesa navarivanja, prema empirijskoj jednačini za niskolegirane čelike [7].

Prema empirijskim jednačinama martenzit u CrMo čeličnom livu može da nastane u temperaturnom intervalu od 200 - 420 °C, a prosečna dozvoljena temperatura $T_{doz} = 470$ °C.

Generalno rečeno, čelični liv GS 17 CrMo 5-5 spada u grupu uslovno zavarljivih čelika, odnosno u grupu zavarljivih čelika koji mogu uspešno da se zavaruju uz primenu posebnih dodatnih materijala, predgrevanja i drugih mera predostrožnosti. Uzimajući u obzir rezultate analitičke procene na osnovu parametarskih jednačina i dimenzije odlivka, potrebno je pored navedenih mera predostrožnosti primeniti i visokotemperaturno naponsko žarenje posle zavarivanja.

Izbor tehnologije navarivanja na probnim uzorcima

Na osnovu analitičke procene zavarljivosti osnovnog materijala, obima i vrste posla, raspoložive opreme, geometrijske složenosti diska i pretpostavljenih zahteva za nivo kvaliteta zavarenog spoja (navara), za reparaturno navarivanje diska radnog kola može se primeniti ručno elektrolučno zavarivanje obloženom elektrodom (E) i/ili zavarivanje punjenom žicom u atmosferi zaštitnog gasa (MAG)

Izbor dodatnog materijala izvršen je na osnovu kvaliteta i dimenzija osnovnog materijala, složenosti konstrukcije, položaja zavarivanja i analitičke procene zavarljivosti osnovnog materijala. Pored toga, zahtevi za odgovarajućom tvrdoćom i niskim sadržajem vodonika u metalu šava uticali su na izbor odgovarajućeg dodatnog materijala. Primenom navedenih kriterijuma izabrani su dodatni materijali za navarivanje.

U tabelama 6 i 7 dati su hemijski sastav i mehaničke osobine čistog metala šava izabranih dodatnih materijala komercijalnih oznaka:

- Bazična elektroda EVB CrMo, ϕ 2.5, ϕ 3.25, ϕ 4.0 mm;
- Bazična elektroda INOX B 18/8/6, ϕ 3.25, ϕ 4.0, ϕ 5.0 mm;
- Bazična punjena žica FILTUB 16B, ϕ 1.2 i ϕ 1.6 mm.

**Tabela 5:** Rezultati procene zavarljivosti Cr – Mo čeličnog liva zasnovane na analitičkim jednačinama**Table 5:** Result of the weldability analysis of the Cr Mo steel based on the analytical equations

POKAZATELJ	OZNAKA	IZRAČUNATA VREDNOST	KOMENTAR
Ekvivalent ugljenika po IIW	CEKV-1	0,59	Uslovno zavarljiv
Ekvivalent ugljenika po IIW	CEKV-2	0,64	Uslovno zavarljiv
Ekvivalent ugljenika po IIW	CEKV-3	0,8	Veoma teško zavarljiv
Ekvivalent ugljenika – japanska	CEKV-1	0,61	Uslovno zavarljiv
Ekvivalent ugljenika -- japanska	CEKV-2	0,67	Uslovno zavar
Ekvivalent ugljenika -- japanska	CEKV-3	0,85	Veoma teško zavarljiv
Ekvivalent ugljenika po BWRA	CEKV-1	0,38	Indeks C (kriterijum A-G), (bazična obloga)
Ekvivalent ugljenika po BWRA	CEKV-2	0,38	Indeks C (kriterijum A-G), (bazična elektroda)
Ekvivalent ugljenika po BWRA	CEKV-3	0,44	Indeks E (kriterijum A-G), (bazična obloga)
Parametar prslina prema Tekkenu	PCM-1	0,32	Sklon prema prslinama
Parametar prslina prema Tekkenu	PCM-2	0,32	Sklon prema prslinama
Parametar prslina prema Tekkenu	PCM-3	0,39	Sklon prema prslinama
Parametar za hladne prsline	Pw-1	0,37	Umerena sklonost
Parametar za hladne prsline	Pw-2	0,36	Umerena sklonost
Parametar za hladne prsline	Pw-3	0,44	Umerena sklonost
Indeks za tople prsline	HCS-1	4,9	Sklon pojavi
Indeks za tople prsline	HCS-2	2,6	Umereno sklon pojavi
Indeks za tople prsline	HCS-3	2,5	Umereno sklon pojavi
Parametar prslina usled žarenja - Nakamuru	$\Delta G-1$	- 0,436	Nije sklon
Parametar prslina usled žarenja - Nakamuru	$\Delta G-2$	0,06	Granično sklon
Parametar prslina usled žarenja - Nakamuru	$\Delta G-3$	0,8	Sklon
Indeks prslina usled žarenja - Ito	Psr-1	- 0,255	Nije sklon
Indeks prslina usled žarenja - Ito	Psr-2	0,476	Sklon
Indeks prslina usled žarenja - Ito	Psr-3	1,645	Veoma sklon

Tabela 6:- Hemijski sastav čistog metala šava (mas.%).**Table 6:** Chemical composition of the weld metal (mass.%)

Oznaka			Hemijski sastav, mas.%					
Standard	Kom. ozn.		C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni
EN 1599	E CrMo1 B 42	EVb CrMo	0.08	0.45	0.80	1.10	0.50	/
EN 1600	E18 8 Mn B 22	INOX B 18/8/6	0.12	0.80	7.00	19.00	/	9.00
EN 12071	TCrMo1BC(M)3H5	FILTUB 16B	0.06	0.40	1.00	1.20	0.50	/

**Tabela 7:** Mehaničke osobine čistog metala šava**Table 7:** Mechanical properties of the weld metal

Oznaka			Mehaničke osobine			
Standard	Kom. ozn.		Rp0.2, MPa	Rm, MPa	A5, %	AV min, J (+20 °C)
EN 1599	E CrMo1 B 42	EVb CrMo	> 470	570-670	> 20	> 95
EN 1600	E18 8 Mn B 22	INOX B 18/8/6	> 350	590-690	> 40	> 80
EN 12071	TCrMo1BC(M)3H5	FILTUB 16B	> 460	550-650	> 20	> 110

REZULTATI I DISKUSIJA

Ocena sklonosti zavarenog spoja ka hladnim prslinama

Ispitivanje tehnološke zavarljivosti CrMo čeličnog liva, koji odgovara sastavu materijala diska radnog točka, vršeno je na Y- probi (proba Tekken) izrađenoj od ploče debljine 15 mm. Uslovi zavarivanja probe dati su u tabeli 8. Sučeono zavarivanje vršeno je sa elektrodnom žicom Filtub 16B prečnika ϕ 1.2mm. Zavarivanje je vršeno sa predgrevanjem na temperaturi od 200 °C. Na poprečnom preseku probe izvršeno je merenje tvrdoće HV10 i analizirana makrostruktura, slika 3.

Ispitivanja su pokazali da je tvrdoća metala šava nešto viša od osnovnog metala i da nema pojave prslina u zavarenom spoju.

Ovi rezultati su ukazali da predloženi uslovi zavarivanja omogućavaju dobijanje kvalitetnog zavarenog spoja, odnosno navara.

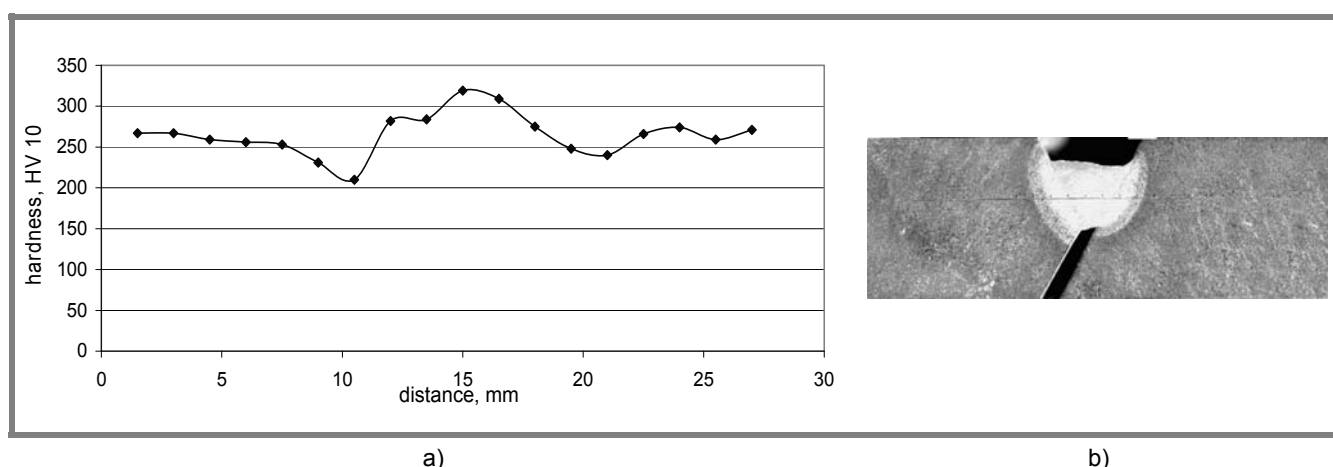
Probna navarivanja i zavarivanja

U cilju definisanja optimalne tehnologije reparaturnog navarivanja diska radnog kola izvršena su probna navarivanja. Primenjene su tehnike navarivanja bez i sa polaganjem (puterovanjem) međusloja austenitnom elektrodom INOX B 18/8/6.

Jednoprolazno i višeproložno (višeslojno) navarivanje vršeno je ručnim elektro-lučnim postupkom (E) sa bazičnom elektrodom EVb CrMo ili elektro-lučnim postupkom (MAG) u atmosferi mešavine gasova Ar i CO₂ (M21 po EN 439) sa punjenom žicom Filtub 16B.

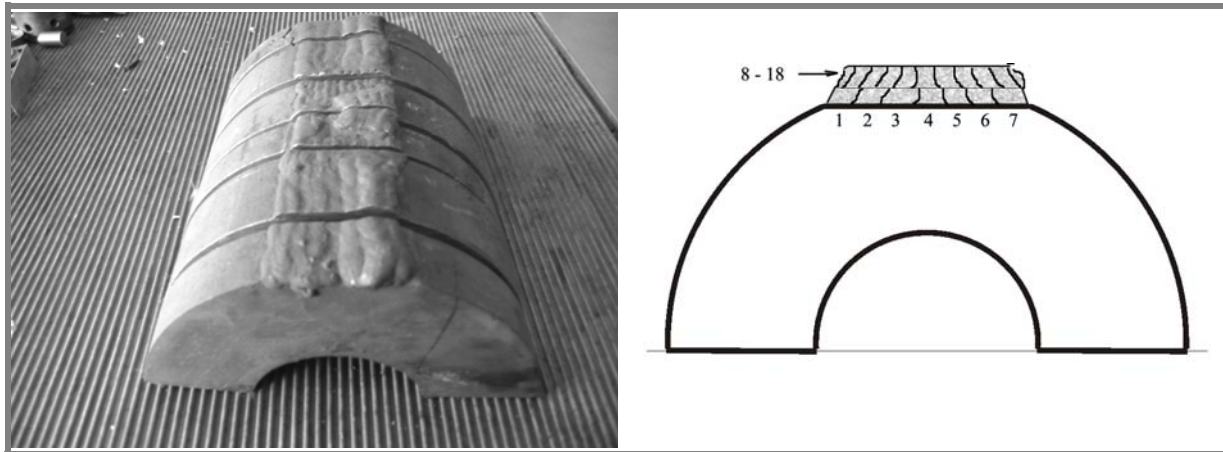
Tabela 8: Uslovi zavarivanja Y- probe**Table 8:** Welding conditions of the Y test

Dodatni mat.	Struja	Napon	Brzina dodavanja žice	Dužina zavara	Vreme zavarivanja	Energija zavarivanja	Temperatura predgrevanja	Zaštitna atmosfera
FILTUB 16B	Isr, A	Usr, V	VŽ, cm/sec	L, cm	T, sec	Ez, kJ/mm	Tp, °C	M21, l/min.
ϕ 1.2 mm	200	16 - 17	5.3	63	22	0.97	200	10 - 14



Slika 3 : Rezultati ispitivanja Y – probe za MAG postupak, punjena žica ϕ 1.2 mm, a) raspodela tvrdoće po poprečnom preseku; b) makrostruktura na poprečnom preseku

Figure 3: Results of the Y test for flux cored wire ϕ 1.2 mm, FCAW/AG process, a) hardness, b) macrostructure in cross section



Slika 4: Izgled druge grupe (II) navarenih proba sa shemom redosleda navarivanja

Figure 4: Second group (II) of samples with the sequence scheme of the welds

Probna navarivanja su izvedena u dve grupe. Prva grupa probnih navarivanja (I) je izvedena na uzorcima dimenzija 150x50x50 mm, a druga grupa probnih navarivanja (II) na uzorcima u obliku presečene cevi unutrašnjeg prečnika ϕ 75 mm, debljine zida 50 mm i dužine 500 mm, slika 4. Navarivanje je izvedeno na nekoliko načina:

- međusloj sa elektrodom E18 8 Mn B 22 i jednoprolazno (jednoslojno) navarivanje sa elektrodom E CrMo1 B 42 ili elektrodom žicom TCrMo1BC(M)3H5;
- međusloj sa elektrodom E18 8 Mn B 22 i višeprolazno (višeslojno) navarivanje sa elektrodom E CrMo1 B 42 ili elektrodom žicom TCrMo1BC(M)3H5;
- Kod druge grupe izvedeno je i direktno navarivanje (bez međusloja) elektrodom žicom TCrMo1BC(M)3H5 ili elektrodom E CrMo1 B 42.

Uslovi navarivanja obe grupe su dati u tabeli 9. Izbor optimalnih parametara zavarivanja probnih uzoraka je izvršen na osnovu izabranih postupaka navarivanja, dodatnog materijala, dimenzija proba, položaja navarivanja i preporuka proizvođača dodatnih materijala.

U tabelama 10 i 11 dati su rezultati merenja tvrdoće po poprečnom preseku navarenih proba prve i druge grupe. Merenje tvrdoće je izvedeno metodom Vikersa sa opterećenjem HV10 i HV30, po poprečnom preseku navarenih uzoraka na rastojanju od 0.5 – 1.0 mm između otisaka.

Makro i mikrostruktura na poprečnom preseku probno navarenih uzoraka I i II grupe prikazana je na slikama 5 i 6.

Tabela 9: Parametri navarivanja probnih uzoraka

Table 9: Welding parameters for trial welds

Grupa proba / sloj	Dodatni materijal	Napon U, V	Struja I, A	Brzina zavariv. V, mm/s	Energija zavarivanja, E=U*I/v, kJ/mm	Brzina dod. žice, vz, m/min	Primedba
I / prvi	INOX B 18/8/6	27 - 29	117	4.85	0.675	/	prečnik el. ϕ 3.25 mm
I / ostali	EVB CrMo	27 - 29	120	5.22	0.627	/	prečnik el. ϕ 3.25 mm
I / ostali	Filtub 16B	20	200	5.50	0.650	3.2	prečnik žice. ϕ 1.2 mm
II / prvi	INOX B 18/8/6	27 29	142-143	3.85	1.040	/	prečnik el. ϕ 4.00 mm
II / ostali	EVB CrMo	24 - 26	141-142	4.08	0.863	/	prečnik el. ϕ 4.00 mm
II / ostali	Filtub 16B	18 - 20	200	4.99	0.680	3.2	prečnik žice. ϕ 1.2 mm
zavarivanje	EVB CrMo	23 -25	110	2.16	1.220	/	prečnik el. ϕ 3.25 mm
zavarivanje	Filtub 16B	18 – 20	200	3.50	0.970	3.2	prečnik žice. ϕ 1.2 mm

Primedba: predgrevanje za grupu I - 150°C, 190°C, 230°C; predgrevanje za ostale grupe - 200°C

**Tabela 10:** Tvrdće prve grupe proba (I) navarivanja sa predgrevanjem, sa i bez žarenja nakon navarivanja**Table 10:** Hardness of the samples from the first group of trial bead on plate welds with preheating and with and without annealing

Oznaka probe	Kombinacija dodatnog materijala	Broj prolaza	Tvrdća HV30				Primedba
			EVb CrMo	Filtub 16B	INOX 18/6/6	OM	
1	EVb CrMo INOX 18/6/6	jednopr.	348	/	394-397	167-200	predgrev. na 150°C
	Filtub 16B INOX 18/6/6	jednopr.	/	444	202-323	173-182	
	Filtub 16B INOX 18/6/6	više prol.	/	240-313	358-426	167-195	
1T	EVb CrMo INOX 18/6/6	jednopr.	289	/	303-313	161-165	žareno na 700°C/3.5h
	Filtub 16B INOX 18/6/6	jednopr.	/	319	252	163-179	
	Filtub 16B INOX 18/6/6	više prol.	/	192-289	208-304	184-190	
2	EVb CrMo INOX 18/6/6	jednopr.	360	/	246-396	165-202	predgrev. na 190°C
	Filtub 16B INOX 18/6/6	jednopr.	/	471	223-230	181-196	
	Filtub 16B INOX 18/6/6	više prol.	/	234-335	379-405	171-189	
2T	EVb CrMo INOX 18/6/6	jednopr.	283-288	/	251-343	170-188	žareno na 700°C/3.5h
	Filtub 16B INOX 18/6/6	jednopr.	/	316-318	184-194	174-181	
	Filtub 16B INOX 18/6/6	više prol.	/	193-263	323-345	169-179	
3	EVb CrMo INOX 18/6/6	jednopr.	382	/	409-423	174-191	predgrev. na 230°C
	Filtub 16B INOX 18/6/6	jednopr.	/	457	196-255	174-178	
	Filtub 16B INOX 18/6/6	više prol.	/	237-301	393-435	168-182	
3T	EVb CrMo INOX 18/6/6	jednopr.	284-290	/	257-311	168-176	žareno na 700°C/3.5h
	Filtub 16B INOX 18/6/6	jednopr.	/	325	189-232	170-177	
	Filtub 16B INOX 18/6/6	više prol.	/	185-231	253-316	171-174	

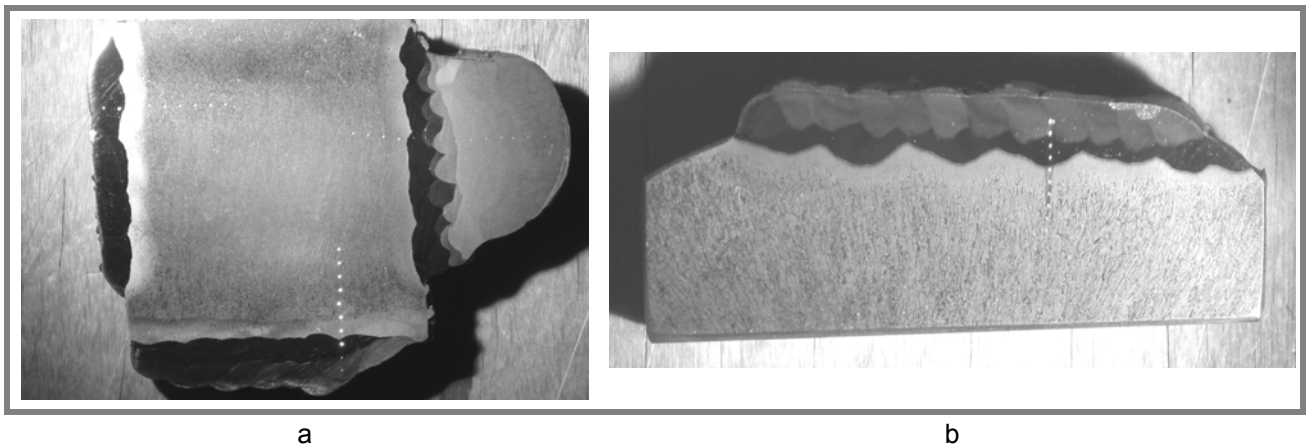


Tabela 11: Tvrdće druge grupe probno navarenih uzoraka sa predgrevanjem na 200°C i naponskim žarenjem na 700°C / 3.5 h

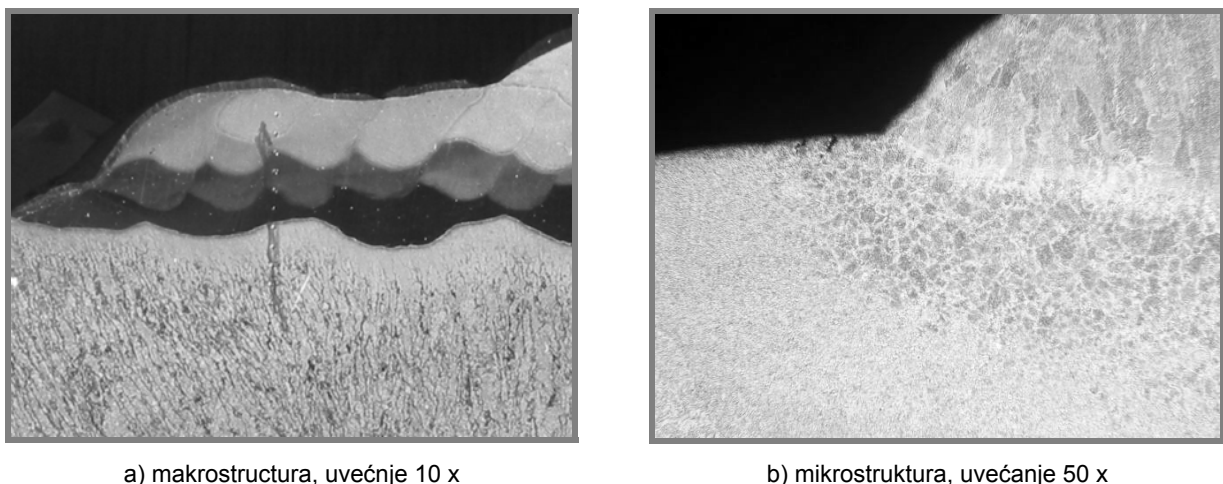
Table 11: Hardness of the samples from the second group of trial bead on plate welds with preheating at 200°C and stress relieving at 700°C / 3.5 hours

Oznaka probe	Konbinacija dodatnog materijala	Broj prolaza	Tvrdća HV10				
			EVB CrMo	Filtub 16B	INOX 18/6/6	ZUT OM	OM
1	INOX 18/6/6 EVB CrMo	jednopr.	245-319	/	318-320	163-191	170-195
2	INOX 18/6/6 Filtub 16B	jednopr.	/	248-270	353	192	160-172
3	INOX 18/6/6 Filtub 16B	višeprol.	/	203-292	230-287	182-208	166-178
4	Filtub 16B	višeprol.	/	186-219	/	168-173	167-173
5	Filtub 16B	jednopr.	/	190-217	/	164-180	164-170
6	EVB CrMo	višeprol.	189-260	/	/	178-180	172-175

Napomena: ZUT – Zona uticaja toplote; OM – osnovni metal



Slika 5: Makrostruktura jednog od probno navarenih uzoraka I grupe (a) i uzorka br. 2 II grupe (b), nagrizano 3% nital
Figure 5: Macrostructure of the trial welds from I group (a) and from II group of samples (b), etched in 3% Nital



a) makrostruktura, uvećnje 10 x

b) mikrostruktura, uvećanje 50 x

Slika 6: Makro i mikrostruktura probno navarenog uzorka br. 3 iz II. grupe, nagrizanje 3% nital
Figure 6: Macro and micro structure of the sample 3 from second group of experiments, etched in 3% Nital



Može se konstatovati da se metal šava sastoji od usmerene dendritne strukture, bez uočenih grešaka od zavarivanja kod oba postupka. Mikrostruktura se sastoji od beinitno feritnih mikrokonstituenata sa većim udelom beinita i sa malim udelom martenzita i karbida

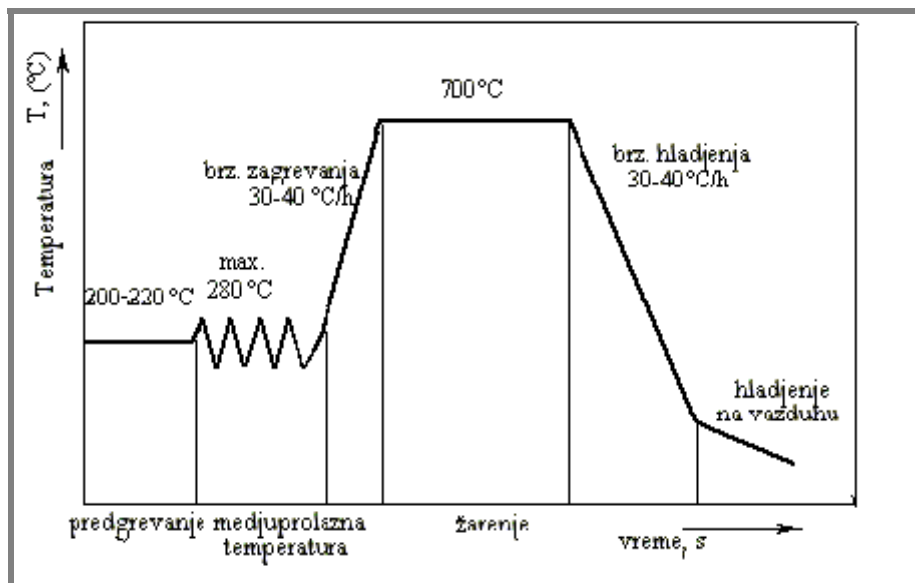
Reparaturno navarivanje diska radnog kola

Na osnovu analitičkih, tehnoloških i strukturno - mehaničkih ispitivanja proba od CrMo čeličnog liva definisana je tehnologija navarivanja oštećenih delova diska radnog kola mlina za uglj. Na slici 7 prikazan je termički ciklus reparaturnog navarivanja.

Uzimajući u obzir dimenzije i težinu odlivka diska, odnosno radnog kola kao i uslovnu zavarljivost čeličnog liva GS 17 CrMo 55 predgrevanje je vršeno sa peći, koja je prikazana na slici 8, a na slici 9 prikazan je detalj diska na kome je izvršeno navarivanje.

Termički ciklus predgrevanja tokom navarivanja i naponskog žarenja neprekidno je održavalo šest grejnih modula.

Nakon navarivanja izvedeno je naponsko žarenje na 700 °C sa hlađenjem u peći, koja je montirana oko radnog kola, Slika 10. Nakon termičke obrade diska radnog kola izvršena je NDT kontrola navarenih delova, koja nije ukazala na prisustvo defekata.



Slika 7: Termički ciklus reparaturnog navarivanja diska radnog kola

Figure 7: Thermal cycle of the weld repairing of the coal mill disc



Slika 8: Izgled peći u fazi predgrevanje - navarivanje

Figure 8: Furnace for preheating and repair welding



Slika 9: Detalj navarenog diska

Figure 9: Detail of the repaired weld



Slika 10: Izgled peći za naponsko žarenje nakon reparaturnog navarivanja

Figure 10: Furnace for PWHT

ZAKLJUČAK

Reparaturno navarivanje diska radnog kola mlina za uglj je izvedeno na sledeći način:

- Izvršena je karakterizacija osnovnog materijala čeličnog liva G 17 CrMo 5-5 i analizirane su mogućnosti saniranja oštećenja. Rezultati ispitivanja su pokazali da je moguće izvršiti saniranje delova kola oštećenih abrazijom, uz prethodnu proveru stanja diska metodama bez razaranja.
- Na osnovu obima i vrste konstantovanih oštećenja, izabran je postupak reparaturnog navarivanja, odnosno izvršen je izbor odgovarajućih postupaka navarivanja i dodatnih materijala.
- Izvršena su probna navarivanja i ispitivanja navarenih proba. Na osnovu rezultata ovih ispitivanja kao i analitičke procene zavarljivosti osnovnog materijala definisani su optimalni parametri navarivanja, odnosno kompletan termički ciklus od predgrevanja do termičke obrade posle navarivanja.
- Ispitivanja bez razaranja koja su izvedena u toku navarivanja i nakon termičke obrade diska radnog kola nisu ukazala na prisustvo defekata.

ZAHVALNICA

Rad je urađen u okviru realizacije projekta 19023 "Osvajanje novih tehnologija reparaturnog zavarivanja za interventne remonte termoenergetskih postrojenja", koji je sufinansiran od strane Ministarstva nauke Srbije.

LITERATURA

- [1] T. Lant, D.L. Robinson : "Review of weld repair procedures for low alloy steels designed to minimise the risk of the future cracking", Int. Journal of Pressure and Piping, Vol. 78, 2001, pp. 813-818
- [2] B. Messer, C. Patrick, S. Seitz : "Achieving cost savings with innovative welding and examination techniques", Int. Journal of Pressure and Piping, Vol. 83, 2006, pp. 365-372
- [3] F. Wever, A. Rose, Atlas zur warmebehandlung der stahle, Verlag, Dusseldorf, 1958.
- [4] J. MacIntyre, D. Stansfield, P. Allot, M. Harris: "An integrated maintenance strategy for the Babcock 10E Coal Mill" Power Station Maintenance - Profitability Through Reliability, 1998. First IEE/IMEchE International Conference (Conf. Publ. No. 452) ISBN: 0-85296-699-7, pp. 84-89
- [5] A. Klenk, S. Issler, I. A. Shibli, J. A. Williams: "Some Characteristics of Weld Repair for Creep Applications", OMMI, Vol. 2, Issue 1, April 2003, pp. 1-32
- [6] V. Grabulov, Z. Odanović, R. Ćirić, M. Antić, A. Sedmak: "Weldability Testing of Microalloyed Steel and Integrity Assessment of Welded Joint", Welding in the World, ISSN 0043-2288, Vol. 49, Special Issue - 2005, pp. 464.-477.
- [7] S. Bajagić, "Primena zavarivanja u sanaciji delova opreme od legiranog čelika za poboljšanje", Zbornik radova, Međunarodno savetovanje Zavarivanje 96., Beograd, 1996, pp. 81 - 84.