

**ANALIZA LOMA RUKAVCA  
ČEONE STIJENE MLINA**

**ANALYSIS OF BROKEN  
JOURNAL END WALL FOR CEMENT MILL**

**Emina Kratina, dipl.inž.met.  
Mr.sci. Belma Fakić, dipl.inž.met.  
Adisa Burić, dipl.inž.met.  
Univerzitet u Zenici  
Metalurški institut “Kemal Kapetanović” Zenica  
Travnička cesta broj 7, Zenica  
Bosna i Hercegovina**

**Kategorizacija rada:** Stručni rad

**SAŽETAK**

*Materijal čeone stijene rukavca je čelični liv GS-20Mn5, WNo: 1.1120, prema standardu DIN 17182. Čeona stijena je izrađena iz dva posebno odlivena dijela – cilindra i tanjira, koji su spojeni zavarivanjem. Nehomogenost u gruboj livenoj mikrostrukturi materijala, neadekvatan termički tretman normalizacije, krupni nemetalni uključci i poroznost zajedno sa dinamičkim opterećenjem u toku eksploatacije nepovoljno su uticali na rad rukavca čeone stijene i doveli do pucanja materijala.*

**Ključne riječi:** prijelom rukavca čeone stijene, tanjir i cilindar rukavca, čelični liv, zavareni spoj, mikrostruktura, makroporoznost

**ABSTRACT**

*The material of journal end wall for cement mill is cast steel GS-20Mn5, WNo: 1.1120 according to standard DIN 17182. The journal end wall is made from two separately cast part - the plate and the cylinder, which are joined by welding. Inhomogeneity in the rough cast microstructure of materials, inadequate heat treatment of normalization, large nonmetallic inclusions and porosity together with dynamic loading during exploitation adversely affected the work of the journal end wall and lead to cracking of the material.*

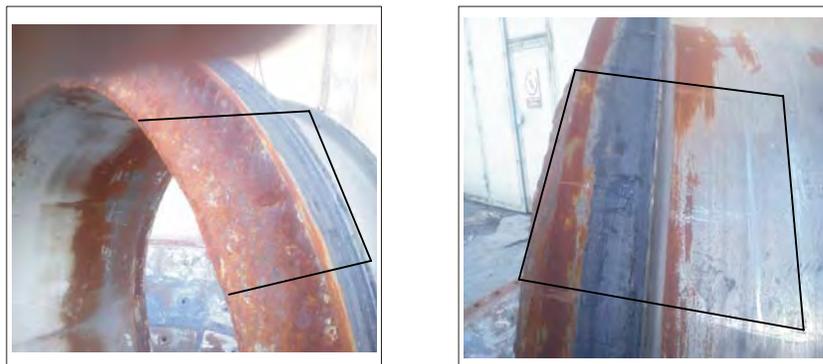
**Keywords:** broken journal end wall, plate and cylinder of journal end wall, cast steel, welding, microstructure, macroporosity

**1. UVOD**

Materijal čeone stijene mlina je čelični liv GS-20Mn5, WNo: 1.1120, prema standardu DIN 17182 koji se odnosi na čelične odlivke za opću upotrebu sa povećanom zavarivošću i žilavošću. Prema dokumentaciji proizvođača tanjira i cilindar su normalizovani i popušteni (temperatura normalizacije  $890^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$ , temperatura popuštanja  $630^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$ ). Zavareni spoj cilindra i tanjira je nakon zavarivanja naponski žaren (temperatura  $570^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$ ). Uvidom u crtež zavarenog sklopa-rukavca i puknute dijelove, konstatovano je da se prijelom dogodio na cilindričnom dijelu odlivka tanjira gdje je najveća debljina stijenke tanjira, u blizini zavarenog spoja.

## 2. UZORKOVANJE

Lokacija zavarenog spoja između cilindra i tanjira nije bila uočljiva, jer su površine bile prekrivene debljim slojem prašine od eksploatacije, te atmosferskom korozijom od stajanja na otvorenom prostoru. Za ispitivanja je uzet veći komad rukavca koji je bio pristupačan, u obimu oko 500mm, od slomljenog dijela u okviru kojega je dio cilindra, zavar i dio tanjira sa prijelomom i komad iz oboda tanjira. Mjesta sa kojih su uzeti uzorci za ispitivanje data su na slici 1.



Slika 1. Lokacije uzimanja uzoraka sa slomljenog rukavca čelone stijene

## 3. ISPITIVANJA

Na uzetim uzorcima izvršena su ispitivanja hemijskog sastava, mehaničkih svojstava – zatezne čvrstoće i utrošene energije udara, kao i mikrostrukture [2].

### 3.1 Hemijska analiza

Izvršena je hemijska analiza cilindra i tanjira na pet osnovnih elemenata. Rezultati su dati u tabeli 1, kao i propisana analiza za čelični liv GS-20Mn5, prema DIN-u 17 182 [1].

Tabela 1. Rezultati hemijske analize

Materijal / Uzorak	C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]
Cilindar	0,21	0,30	1,13	0,020	0,021
Tanjir	0,21	0,53	1,17	0,038	0,015
GS-20Mn5 DIN 17182 WNo: 1.1120	0,17 do 0,23	≤ 0,60	1,00 do 1,50	≤ 0,020	≤ 0,015

### 3.2 Mehanička ispitivanja

S obzirom da se prijelom dogodio na tanjiru rukavca izvršeno je ispitivanje zatezanjem:

- na dvije lokacije na tanjiru, u blizini prijeloma i na obodu tanjira, radi poređenja i
- na cilindru rukavca

Utrošena energija udara je ispitana na tanjiru u blizini prijeloma i na cilindru rukavca. Rezultati mehaničkih ispitivanja su dati u tabeli 2.

Tabela 2. Rezultati mehaničkih ispitivanja

Materijal Uzorak	R <sub>p0,2</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	R <sub>m</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	A [%]	Tvrdoća HV10		Utrošena energija udara na t=0°C	
				Pojedinačno	Prosjek	Pojedinačno	Prosjek
Tanjir uz prijelom	316	490	10,0	151	155		
				142		11	
				158		11	-*
				163		40	
				159			
Tanjir na obodu	269	505	26,0	150	157	-	-
				157			
				168			
				144			
				165			
Cilindar rukavca	284	474	27,0	-	-	105	86
						72	
						80	
Čelični liv GS- 20Mn5 Normalizovano stanje bez popuštanja	min 260	480 do 630	min 20	-	-	min 35	

\*Zbog rasipanja pojedinačnih vrijednosti nije data srednja vrijednost

### 3.3 Metalografska ispitivanja

Uzet je veći broj metalografskih uzoraka iz komada rukavca uz prijelom na vanjskom i unutrašnjem zidu i po dužini zida od prijeloma u cilju otkrivanja lokacije zavarenog spoja u odnosu na prijelom kao i u cilju analize mikrostrukture, kako pokazuju slike 2 i 3, zatim uzorak iz cilindra kao i uzorak iz oboda tanjira.

Mjesto prijeloma na tijelu rukavca



Slika 2. Lokacija uzimanja uzoraka za metalografska ispitivanja uz prijelom

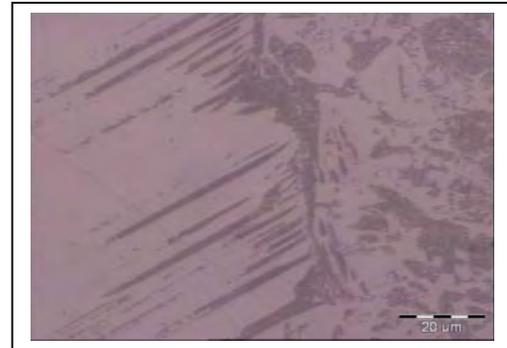


Slika 3. Lokacije uzimanja uzoraka uz prijelom i dalje po dužini cilindričnog dijela rukavca

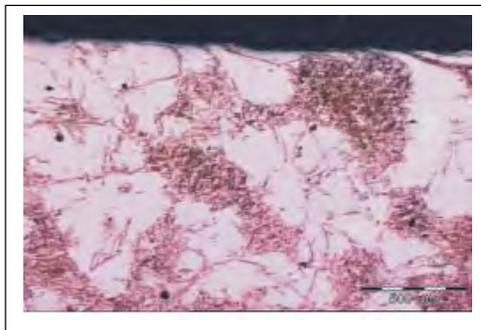
Analizirane su mikrostrukture cilindra i tanjira, kao i zone uticaja toplote oko zavarenog spoja. Prilikom rezanja uzoraka na tanjiru rukavca uočena je na više mjesta makroporoznost, te izražena nagomilana (kao traka) makroporoznost, koja se proteže sredinom debljine zida na lokaciji između zavara i prijeloma, slika 4. Na slici 5 data je mikrostruktura tanjira – livena feritno-perlitna sa krupnim primarnim zrnom i prisutnim Widmanstatenovim feritom. Slike od 6 do 10 predstavljaju mikrostrukturu cilindra u blizini prijeloma. Otkrivena je livena feritno-perlitna mikrostruktura sa krupnim primarnim zrnom, prisutnim Widmanstatenovim feritom i subzrnima ferita. Cementit unutar perlita je djelimično sferoidiziran. Na slici 11. je data mikrostruktura cilindra dalje od preloma. Uzorci su nagriženi u NITAL-u (2% alkoholni rastvor HNO<sub>3</sub>).



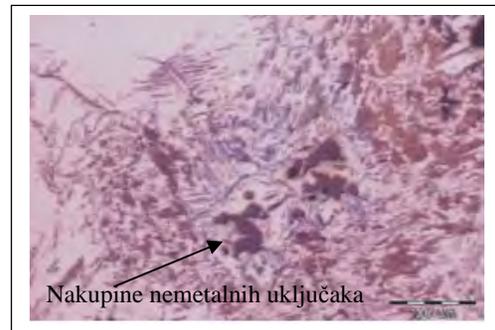
Slika 4. Izražena makroporoznost na cilindričnom dijelu rukavca



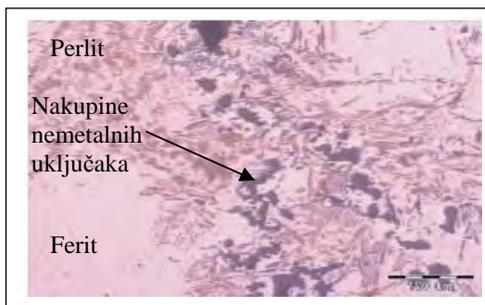
Slika 5. Mikrostruktura tanjira



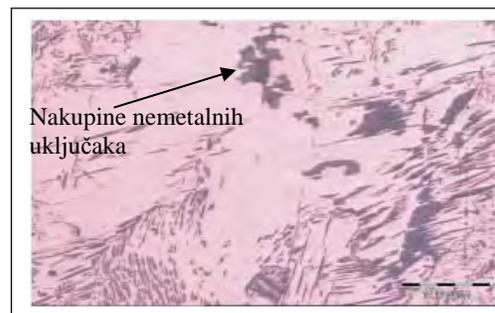
Slika 6. Uzorak 1, mikrostruktura u blizini prijeloma



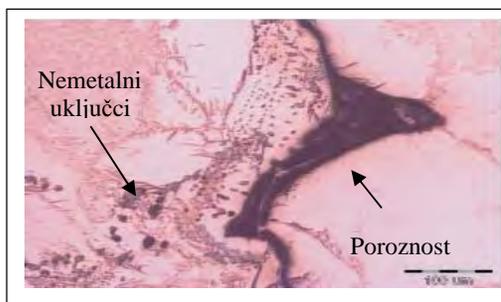
Slika 7. Uzorak 2, mikrostruktura i nakupine nemetalnih uključaka



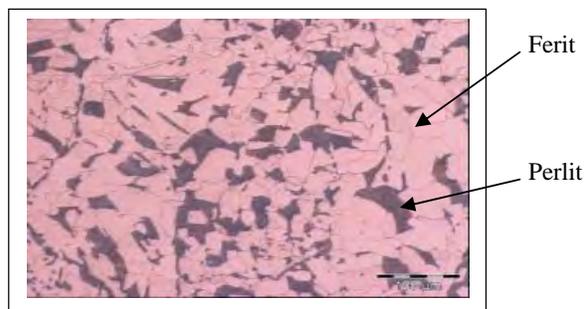
Slika 8. Uzorak 3, mikrostruktura i nakupine nemetalnih uključaka



Slika 9. Uzorak 4, mikrostruktura i nakupine nemetalnih uključaka



Slika 10. Uzorak 5, mikrostruktura, poroznost i nemetalni uključci



Slika 11. Uzorak cilindra rukavca, mikrostruktura dalje od preloma

#### 4. ANALIZA REZULTATA ISPITIVANJA

- Hemijska analiza materijala cilindra i tanjira pokazala je da su izrađeni iz čeličnog liva GS-20Mn5. Uzorak tanjira ima povećan sadržaj P (0,038%) u odnosu na maksimalno propisani prema DIN-u 17 182 (0,020%) [1].

- Ispitivanje zatezanjem epruvete izrezane iz tanjira u blizini prijeloma i tanjira po obodu, pokazala su da epruveta iz tanjira uz prijelom ima zateznu čvrstoću blizu donje propisane granice a izduženje znatno ispod minimalno propisanog što se vidi u tabeli 2, s napomenom da su propisane vrijednosti mehaničkih svojstava u DIN-u 17182 [1] u normalizovanom stanju. Dvije od tri ispitane epruvete utrošene energije udara imaju znatno nižu vrijednost utrošene energije udara od minimalno propisane po standardu.

- Metalografska ispitivanja su pokazala da material ima segregiranu livenu mikrostrukturu sa krupnim primarnim zrnom. Raspored i veličina zrna ferita i perlita koji su izlučeni po granicama primarnog austenitnog zrna, nakon njegove transformacije je neujednačen.

Pored Widmanštetenskog ferita prisutna su i subzrna ferita. Cementit unutar perlita je većim dijelom sferoidiziran. Mikrostruktura tanjira, znači, ne pokazuje karakteristike mikrostrukture koje bi trebalo da ima nakon adekvatno urađenog postupka normalizacije. Na metalografskim uzorcima tanjira u neposrednoj blizini prijeloma uočena je dendritna makroporoznost i mikroporoznost i gnijezda (nakupine) nemetalnih sulfidnih uključaka i krupnih kompleksnih oksidnih uključaka. Na uzorku iz oboda tanjira gdje je tanja stijenka odlivka nema makroporoznosti i krupnih uključaka.

Mikrostruktura cilindra je zadovoljavajuća, normalizovana feritno-perlitna sa malim udjelom sferoidiziranog cementita unutar perlita i bez makroporoznosti.

- Na izrezanom komadu rukavca iz kojega su uzeti svi uzorci konstatovano je da je površina prijeloma izvan zavarenog spoja, odnosno ne prati zavareni spoj ili zonu utjecaja toplote, što ne znači da na preostalom dijelu obima to nije slučaj. Iako izgled prijelomne površine izrezanog komada rukavca upućuje na to da se prijelom dogodio usljed zamora, na tom segmentu prijelomne površine nije uočeno inicijalno mjesto. [2]

#### 4. ZAKLJUČAK

Na osnovu provedenih ispitivanja zaključeno je da se prijelom rukavca čeone stijene dogodio na najdebljem dijelu tanjira. Na analiziranom komadu slomljenog rukavca, u obimu oko 500 mm, nije uočena veza prijelomne površine sa zavarenim spojem ili zonom uticaja toplote.

Mikrostruktura tanjira je nehomogena sa elementima grube livene mikrostrukture koja je neadekvatna termičkom režimu normalizacije. Vrijednosti mehaničkih svojstava, izduženje i na dvije od tri epruvete energije udara odlivka tanjira rukavca su znatno ispod minimalno propisanih po standardu DIN 17182 [1]. Analizirani komad rukavca-dio tanjira uz prijelom

[3,4] ima ozbiljnu makroporoznost koja se proteže u središnjem dijelu odlivka u takvom rasporedu da kada se posmatra golim okom izgleda kao traka u sredini debljine zida odlivka. Ovakav intenzitet poroznosti na dijelu odlivka gdje se dogodio prijelom mogao je u sadejstvu sa drugim otkrivenim nehomogenostima u materijalu, kao što su nakupine krupnih kompleksnih uključaka, ne zanemarujući ni blizinu zavarenog spoja i zonu utjecaja toplote, na određenoj lokaciji uzrokovati stvaranje inicijalnog mjesta, te prijevremeni zamor materijala i prijelom.

## **5. LITERATURA**

- [1] Standard DIN 17182/1992 – General-purpose steel castings with enhanced weldability and higher toughness; technical delivery conditions
- [2] E. Kratina, B. Fakić, A. Burić: Analiza materijala slomljenog rukavca čelone stijene u cilju utvrđivanja uzroka pucanja, Metalurški institute “Kemal Kapetanović” Zenica, decembar 2013.godine
- [3] Metals Handbook; Vol.9 Fractography and Atlas of Fractographs, 1974
- [4] Casting Defects Handbook, American Foundrymen’s Society, 1995.