Resul Hamzić [1,a], Namik Džibrić [1,b], Alen Hodžić [2,c]

SANACIJA PUKOTINE NA ČEONOJ STIJENI MLINA CEMENTA

REPAIR OF A CRACK ON THE CEMENT MILL END WALL

Stručni rad / Professional paper

Rad primljen / Paper received:

Jun 2026.

Rad prihvaćen / Paper accepted:

Oktobar 2026.

Adresa autora / Author's address:

[1]*Institut za zavarivanje d.o.o., Tuzla, Bosna i Hercegovina*

[2] *Tehnopetrol d.o.o., Tuzla, Bosna i Hercegovina*

Email / ORCID ID:

[a] *resul.hamzic@izz-bh.ba / 0009-0008-8864-9205*

[b] *namik.dzibric@izz -bh.ba / 0009-0006-3742-233X*

[c] *alen.hodzic@tehnopetrol / 0009-0004-5306-7652*

Ključne reči: reparaturno zavarivanje, mlin cementa, liveni čelik GS30Mn5V, pukotina

Keywords: repair welding, cement mill, GS30Mn5V cast steel, crack

Rezime

U ovom radu dat je kompletan proces sanacije kritičnog oštećenja na čeonoj stijeni mlina cementa. Predmet sanacije je pukotina dužine 700 mm i dubine 160 mm, locirana u zoni radijusa stijene, koja je ugrožavala stabilnost i kontinuitet proizvodnje. Rad detaljno opisuje tehnologiju reparaturnog zavarivanja prilagođenu osnovnom materijalu livenom čeliku GS30Mn5V, uz primjenu specijalnih elektroda na bazi nikla E Ni 6182. Poseban fokus stavljen je na tehnološke korake, uključujući precizno kontrolisano predgrijavanje u opsegu 180÷200°C, metodu žljebljenja grafitnom elektrodom, zatim višeslojno zavarivanje s obaveznim međufaznim iskivanjem radi relaksacije zaostalih napona. Pored tehnološkog aspekta, rad analizira i proces stručnog nadzora koji je obuhvatio ispitivanja bez razaranja (NDT) u svim fazama rada. Bez obzira na otežane uslove rada u ograničenom prostoru i veću dubinu pukotine od inicijalno procijenjene, primjenjena metodologija osigurala je uspješnu sanaciju bez pojave novih pukotina i bez deformacija.

Abstract

This paper presents a comprehensive procedure for the rehabilitation of critical damage on the front wall of a cement mill. The repair addressed a crack measuring 700 mm in length and 160 mm in depth, located in the wall radius zone, which posed a significant risk to structural integrity and production continuity. The study provides a detailed analysis of the repair welding technology tailored to the base material, GS30Mn5V cast steel, with the application of specialized nickel-based electrodes (E Ni 6182). Particular emphasis is placed on the technological sequence of operations, including carefully controlled preheating within the temperature range of 180÷200°C, groove preparation using a graphite electrode, and subsequent multilayer welding. Mandatory interpass peening was applied to promote relaxation of residual stresses. In addition to the technological aspects, the paper examines the process of professional supervision, which encompassed non-destructive testing (NDT) at all stages of the repair. Despite challenging working conditions in a confined space and a crack depth exceeding initial estimates, the implemented methodology enabled a successful repair, with no occurrence of new cracks or permanent deformation.

Rad je u originalnom obliku objavljen u Zborniku radova sa 1. Konferencije sa međunarodnim učešćem „Tehnologije spajanja materijala“ održane u Bečićima, Crna Gora od 14. do 16. maja 2026. godine.

1. Uvod

U toku eksploatacionog vijeka, uslijed stalnih dinamičkih i termičkih opterećenja, komponente mlina su podložne pojavi različitih oštećenja, od kojih su posebno kritične prsline [1, 2].



Slika 1. *Mlin cementa sa lokacijom oštećenja u toku predgrijavanja*

Figure 1. *Cement mill with location of damage during preheating*

U praksi, ovakva oštećenja mogu za kratko vrijeme dovesti do ozbiljnih posljedica, od smanjenja nosivosti konstrukcije pa do potpunog zastoja proizvodnje. Upravo iz tog razloga komponente mlina se periodično provjeravaju i kontrolišu. Tokom takve jedne redovne kontrole identifikovana je pukotina dužine *cca* 700 mm u zoni radijusa čeone stijene mlina. S obzirom na potencijalne gubitke uslijed zastoja u radu na duži period i znatno većih troškova nabavke i ugradnje nove čeone stijene, odlučeno je da se pristupi sanaciji pukotine na licu mjesta.

U ovom radu dat je kompletan prikaz pristupa rješavanju ovog problema u slučaju mlina cementa (Slika 1), od izbora tehologije i dodatnog materijala, do samog izvođenja i kontrole kvaliteta radova. Cilj je bio osigurati dugoročno pouzdano rješenje.

2. Tehnologija reparaturnog zavarivanja

2.1. Osnovni materijal i njegova zavarljivost

Uvidom u tehničku dokumentaciju došlo se do podatka da je predmetni dio izrađen od livenog čelika tipa GS30 Mn5V. Ovdje se radi o ugljeničnom čeličnom livu koji ima primjenu u izradi odlivaka komponenti koje su izložene dinamičkim opterećenjima, kao što su kućišta mlinova, glave čekića i slični masivni dijelovi. Tipičan hemijski sastav čeličnog liva GS30 Mn5V dat je u Tabeli 1.

Tabela 1. *Hemijski sastav čeličnog liva GS30 Mn5V*

Table 1. *Chemical composition of cast steel GS30 Mn5V*

Elementi	Sadržaj (maseni %)
C	0,25÷0,32
Si	< 0,6
Mn	1,2÷1,8
P	< 0,035
S	< 0,03
Fe	ostatak

Čelični liv GS30 Mn5V posjeduje dobru zavarljivost uz uslov prethodnog predgrijavanja.

2.2. Izbor postupka zavarivanja

Prema pristupačnosti zone sanacije kao i tipa proizvoda (masivni odlivak složene geometrije), odabran je postpak zavarivanja 111 (REL - ručno elektorlučno zavarivanje obloženom elektrodom). REL postupak omogućava fleksibilan pristup teško dostupnim mjestima s obzirom na ograničen prostor i geometriju pukotine.

2.3. Dodatni i pomoćni materijal za zavarivanje

Na osnovu odabranog postupka zavarivanja, materijala za zavarivanje i pristupačnosti zone sanacije, reparaturno zavarivanje se vršilo obloženom elektrodom tipa E Ni 6182 prema EN ISO 14172, oznake kod proizvođača *Castolin Xuper NucleoTec 2222*. Ova elektroda osigurava visoku postojanost na pojavu pukotina, naročito pri stalnim temperaturama i mehaničkim opterećenjima.

U Tabeli 2 dat je prikaz mehaničkih i fizičkih osobina elektrode E Ni 6182, a u Tabeli 3 preporuke parametara zavarivanja.

Tabela 2. *Mehaničke i fizičke osobine elektrode E Ni 6182*

Table 2. *Mechanical and physical properties of the electrode E Ni 6182*

Osobina	Vrijednost
Zatezna čvrstoća [Rm]	620÷690 (N/mm^2)
Granica tečenja [Rp]	ca. 390 (N/mm^2)
Izduženje [l=5d]	40÷45(%)
Udarni rad [Aw]	ca. 120 (J)*
Tvrdoća [HV]	180÷220
*Pri ekstremnim temperaturama	

Tabela 3. *Preporuke parametara za zavarivanje od strane proizvođača*

Table 3. *Recommendations of parameters for welding by the manufacturer*

Parametar	Vrijednost
Vrsta struje/polaritet	DC (+) ili AC
Jačina struje za zavarivanje [I]	Ø 2,4 [mm] = 50÷70[A]
	Ø 3,25 [mm] = 70÷90[A]
	Ø 4,0 [mm] = 90÷100[A]
	Ø 5,0 [mm] = 110÷140[A]

Nakon procesa očvršćavanja, ohlađena masa osigurava nehrđajući zavareni spoj koji se odlikuje visokom elastičnošću. Spoj je žilav do - 269°C i otporan je na oksidaciju do 1000°C. Elektrode su sušene u mobilnoj peći na temperaturi od 250°C u vremenu od 1 časa.

2.4. Tehnologija reparaturnog zavarivanja

Prije postupka reparaturnog zavarivanja, bilo je neophodno rasteretiti i pozicionirati mlin, tako da pukotina bude u najpogodnijem položaju za pripremu i zavarivanje.

Izvršena je zaštita osjetljivih dijelova u blizini mjesta reparaturnog zavarivanja, a zatim pozicioniranje termoelemenata na predviđenim mjestima u zoni pukotine. Izvršeno je kontrolisano zagrijavanje komada (Slika 2). Kontrola temperature vršena je na rastojanju 50 mm od pukotine.



Slika 2. *Kontrolisano zagrijavanje zone reparacije*

Figure 2. *Controlled heating of the repair zone*



Slika 3. *Proces žlijebljenja*

Figure 3. *The grooving process*

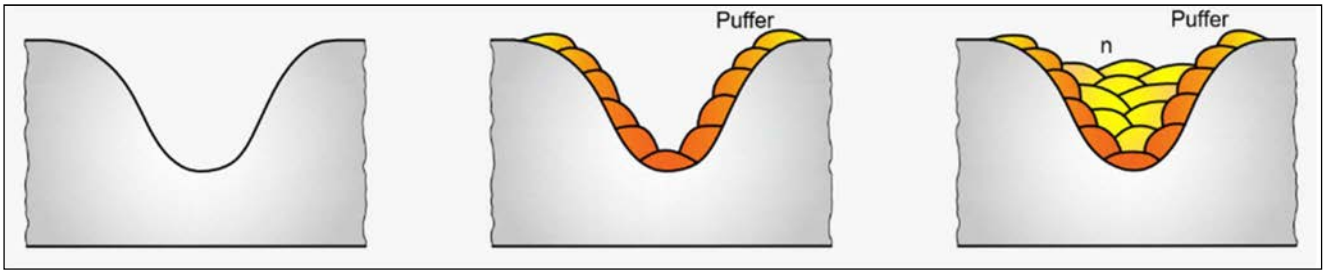
Nakon što je temperatura na komadu dostigla vrijednost od minimalno 100°C, pristupljeno je žljebljenju grafitnom elektrodom. Postupak žlijebljenja (Slika 3) izvođen je dok se prslina potpuno nije odstranila.

U toku žlijebljenja vršena je kontrola temperature komada. Prilikom postupka žlijebljenja korišten je pneumatski čekić za čišćenje i opuštanje materijala. Žlijeb je pripremljen u obliku slova „U" sa blagim prelazima bez oštrih ivica, srhova ili bilo kakvih nedostataka (Slika 4a).

Nakon završenog postupka žljebljenja, provedeno je kontrolisano hlađenje komada do 50°C. Žlijebljena površina je pripremljena do fine glatkoće.

Nakon provedene penetrantske kontrole koja je bila zadovoljavajuća, komad je kontrolisano dogrijavan do 200°C, nakon čega se pristupilo zavarivanju.

Reparaturno zavarivanje izvođeno je na način da se prvo nanio sluj „puffer" (Slika 4b), a zatim popuna žlijeba (Slika 4c), uz obavezno iskivanje i čišćenje.



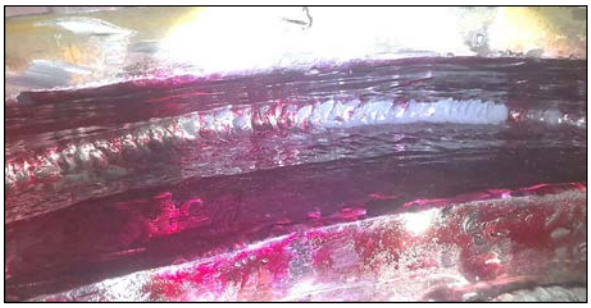
Slika 4. *Priprema i ispuna žlijeba; a) blagi prelazi, b) puffer sloj, c) popuna*

Figure 4. *Preparation and filling of the groove; a) soft transitions, b) puffer layer, c) filling*

3. Rezultati i diskusija

Tokom i nakon provedenog reparaturnog postupka zavarivanja vršena je vizuelna i penetrantska kontrola, radi prevencije pojave nedostataka.

Penetrantska kontrola potvrdila je da je kompletna pukotina odstranjena žlijebljenjem, ali i da ne postoje površinski nedostatci u zoni zavarivanja nakon zavarivanja (Slika 5).



Slika 5. *Penetrantska kontrola u toku žlijebljenja*

Figure 5. *Penetrant control during grooving*

U toku procesa reparaturnog zavarivanja nije došlo do pojave novih pukotina, što daje poseban značaj s obzirom na početnu kompleksnost oštećenja i dubinu pukotine.

Kontrolisani režimi predgrijavanja i međuprolazne temperature imali su ključnu ulogu za smanjenje zaostalih napona i pojavu hladnih pukotina. Izbor postupka 111 (REL) pokazao se kao optimalan za uslove rada, prvenstveno zbog ograničene pristupačnosti (Slika 6). Odabrani dodatni materijal na bazi nikla bio je ključan za kvalitetno reparaturno zavarivanje (Slika 7).



Slika 6. *Proces reparaturnog zavarivanja postupkom 111*

Figure 6. *Process of repair welding by procedure 111*



Slika 7. *Utrošeni dodatni materijal*

Figure 7. *Used filler material*

Nakon kompletnog procesa reparaturnog zavarivanja, hlađenja i kontrole, pristupilo se oblikovanju navarene površine brušenjem, što je u konačnom dovelo do homogene geometrije na samom komadu (Slika 8).



Slika 8. *Obrušena površina nakon reparaturnog zavarivanja*

Figure 8. *Grinded surface after repair welding*

4. Zaključci

Kompletna reparatura oštećenog dijela čeone stijene mlina cementa sprovedena je u skladu s definisanom tehnologijom zavarivanja, što je dovelo do efikasnog i ekonomski opravdanijeg rješenja u odnosu na zamjenu dijela.

Ključni faktori koji su osigurali kvaliteno reparaturno zavarivanje su priprema žlijeba, kontrolisano zagrijavanje, dogrijavanje i hlađenje, zatim iskivanje u toku procesa reparaturnog zavarivanja kao i kontrola u svim fazama.

Još jednom se pokazalo da uprkos otežanim uslovima rada i većoj dubini pukotine od očekivane, primijenjena tehnologija i kvalitetan nadzor omogućili su sanaciju oštećenja bez pojave novih prslina.

Nakon puštanja u rad nije došlo do deformisanja niti degradacije spoja, što potvrđuje dugoročnu pouzdanost izvršene reparacije.

4. Conclusion

The complete repair of the damaged part of the face of the cement mill was carried out in accordance with the defined welding technology, which led to an efficient and economically justified solution compared to the replacement of the part.

The key factors that ensured high-quality repair welding are groove preparation, controlled heating, reheating and cooling, then forging during the repair welding process, as well as control in all phases.

Once again, it was shown that despite the difficult working conditions and the greater depth of the crack than expected, the applied technology and quality supervision made it possible to repair the damage without the appearance of new cracks.

After commissioning, there was no deformation or degradation of the joint, which confirms the long-term reliability of the performed repair.

References / Literatura

[1] Jürgen Tuchtfeld, Thomas Assion, Issam Chiguer; Efficient welding repairs in the cement industry, 7. Međunarodno znanstveno-stručnom savjetovanje SBZ 2013.

[2] Wolfgang Martini, Stella Ruiz; Cement mill - Cracks in the mill ends - Short Paper on an interesting case of damage; Machinery Insurance; Prepared for IMIA, Munich Re; Feb. 2008.