



Namik Džibrčić^{1,a}, Sead Avdić¹, Resul Hamzić¹

SANACIJA PUKOTINE NA NOSIVOM PRSTENU ROTACIONE PEĆI CEMENTARE KAKANJ

CRACK REPAIR ON THE BEARING RING OF THE ROTARY KILN OF THE KAKANJ CEMENT PLANT

Stručni rad / Professional paper

Rad primljen / Paper received:

Septembar 2022.

Rad prihvaćen / Paper accepted:

April 2023.

Ključne reči: sanacija, pukotina, cementara, rotaciona peć, nosivi prsten.

Rezime

U ovom radu je izložena problematika osiguranja integriteta konstrukcije - rotacione peći za proizvodnju cementa, nakon katastrofalnog otkazivanja integriteta uslijed zamornog loma nosivog prstena. Zbog nemogućnosti nastavka proizvodnje, a predugo potrebnog vremena za zamjenu nosivog prstena novim, jedino moguće rješenje je reparaturno zavarivanje. Ukupno 26 dana (24/7) bez prestanka se radilo, u svim vremenskim uslovima od +25°C do -15°C, suncu, kiši, snijegu, ledu i vjetru. Potrebno je bilo preko 550 kg dodatnog materijala (elektrode i žice) da bi se sanirala pukotina u nosivom prstenu dimenzija Ø5400x900x370 mm koji je izrađen od čelika 100CrMn6 kao odlivak i starosti od preko 40 godina. Posebna pažnja se posvetila unosu toplote, temperaturi predgrijavanja i međuslojnoj temperaturi, kako bi se spriječile dodatne deformacije i zaostali naponi. Poslije mjesec dana intenzivnog rada, rotaciona peć je puštena ponovo u pogon, tako da je Tvornica Cementa d.d. Kakanj ponovo mogla da odgovori potražnji tržišta za klinkerom i cementom za građevinsku sezonu.

Adresa autora / Author's address:

¹Institut za zavarivanje d.o.o. Tuzla, Bosne Srebrene br.6,
75000 Tuzla, BiH

email: ^a : namik.dzibric@izz-bh.ba

Keywords: repair, crack, cement factory, kiln, bearing ring.

Abstract

This paper presents the issue of ensuring the integrity of structure - rotary kiln, after a catastrophic failure of integrity due to fatigue fracture of the bearing ring. Due to the impossibility of continuing production and the time required to replace the bearing ring with a new one, the only possible solution was repair welding. A total of 26 days (24/7) were worked non-stop in all weather conditions from + 25 ° C to -15 ° C, sun, rain, snow, ice and wind. It took over 550kg filler material (electrodes and wires) to repair the crack in the bearing ring in dimensions of Ø5400x900x370 made of casted steel 100CrMn6 over 40 years old. Special attention was paid to heat input, preheating temperature, interlayer temperature to prevent additional deformations and avoid remaining stresses after welding. After a month of intensive work, the rotary kiln was put back into operation condition, so that the Cement Factory d.d. Kakanj can again respond to the market requests for clinker and cement for the upcoming construction season.

Rad je u izvornom obliku objavljen u Zborniku radova sa 32. Savetovanja sa međunarodnim učešćem „Zavarivanje 2022“ održanog na Tari, Srbija od 12. do 15. oktobra 2022. godine



1. Uvod

Rotaciona peć predstavlja ključno postrojenje za proizvodnju cementa. Od prve rotacione peći izumljene krajem 18-tog stoljeća pa sve do danas spadaju u kategoriju najvećih i najtežih okretnih industrijskih postrojenja. Ukupna proizvodnja cementa zavisi od kapaciteta i učinka rotacione peći, te je od vitalnog značaja kontinuiran rad sa što manje neplanskih zastoja, jer direktno utiče na proizvodnju klinkera/cementa. Temeljito pravilno održavanje i kontrola ključnih elemenata rotacione peći mora biti u redovnim intervalima vršeno kako bi se obezbijedio integritet i funkcionalnost postrojenja. Nemogućnost redovnog održavanja i pregleda vitalnih dijelova rotacione peći zbog ogromne konstantne potražnje tržišta, za posljedicu je imalo otkazivanje nosivog rotacionog prstena peći te momentalnog zaustavljanja rada rotacione peći.

Nabavka novog nosivog rotacionog prstena i zamjena iziskuju mnogo vremena i sredstava te se zbog nedostatka istih pristupilo jedinom mogućem rješenju – reparaturno zavarivanje na licu mjesta. Reparaturno zavarivanje u idealnim uslovima – radioničkim uslovima nakon demontaže predstavlja

izuzetno kompleksan poduhvat, ali u ovom slučaju reparatura je zbog svih okolnosti morala biti izvršena na licu mjesta (visina, zimsko godišnje doba, izuzetno mali prostor za rad) te se morala posvetiti maksimalna pažnja i dosljednost u svakoj fazi sanacije kako bi reparatura bila uspješna i obezbijedio ponovo integritet postrojenja.

2. Eksperiment - definisanje problema

Rotaciona peć cementa je cilindrična peć za kontinuirane procese proizvodnje u procesnom inženjerstvu, koja se tokom normalnog rada neprekidno rotira oko sopstvene ose brzinom od oko 2 rpm. U kombinaciji s blagim nagibom ose rotacije, rotacijski pokret osigurava transport materijala od ulaza do izlaza peći. Od trenutka izuma 1857 godine, pa sve do danas, proizvodnja klinkera u rotacionoj peći predstavlja tehnologiju za proizvodnju najkvalitetnijeg klinkera. Rotaciona peć minimalno se sastoji od: plašta rotacione peći; vatrostalne opeke; prstena i valjaka peći; pogona peći i plamenika [1]

Rotaciona peć u Tvornici Cementa d.d. Kakanj po kapacitetu i gabaritima spada u klasu većih rotacionih peći (l=70m, Ø4500mm, 100T/h) i izgled peći prikazan je na slici 1.



Slika 1. Rotaciona peć – Tvornica cementa d.d. Kakanj

Figure 1. Rotary kiln - Tvornica cementa d.d. Kakanj

Peći novijih generacija imaju i druge elemente koji pospješuju proces proizvodnje klinkera. Nosivi prsteni rotacionih peći nose težinu peći sa materijalom te je od krucijelne važnosti održavanje i ispravnost istih. Nosivi prsteni se izrađuju raznim tehnologijama, dok je u konkretnom slučaju prsten proizveden tehnologijom livenja, od materijala 100CrMn6. Rotaciona peć sa svim elementima je u eksploataciji preko 40 godina, te su na svim elementima rotacione peći vidljivi tragovi eksploatacije. Nosivi prsteni se oslanjaju na valjke koji služe kao oslonci. Broj prstenova sa pripadajućim parom valjaka direktno ovisi od dužine

rotacione peći, te se taj broj u zavisnosti od dužine peći kreće od 0 do 8 nosivih prstenova. Nosivi prsteni su u toku rada ciklično opterećeni na pritisak i istezanje u zavisnosti od položaja prilikom rotacije peći i oslanjanja na valjke. Uslijed ogromnih cikličnih opterećenja prilikom rotacije peći, uobičajena su oštećenja kontaktnih površina te se blagovremenim manjim intervencijama mogu spriječiti havarije većih razmjera [1]. U konkretnom slučaju, u Tvornici Cementa d.d. Kakanj desio se najgori scenario, u toku rada došlo je do loma nosivog prstena.



Slika 2. Prslina na nosivom prstenu

Figure 2. A crack on the bearing ring

Lom nosivog prstena je ustanovljen momentalno (lom praćen praskom i bukom) te je prema radnom uputstvu zaustavljen rad rotacione peći uz prethodno pražnjenje kompletnog sadržaja (sirovine i klinker) kako bi se rasteretila peć. Detaljnim pregledom ustanovljeno je da je lom zahvatio kompletan poprečni presjek, te je bilo nemoguće nastaviti normalan rad zbog opasnosti havarije većih razmjera. Na slici 2. prikazan je izgled prslina na nosivom prstenu peći.

S obzirom da je vrijeme čekanja na isporuku novog nosivog prstena i zamjene havarisanog sa novim prstenom do 12 mjeseci, reparaturno zavarivanje se nametnulo kao jedino moguće rješenje.

Reparature ovakvih razmjera, elemenata koji su u eksploataciji preko 40 godinama sa ogromnim opterećenjima, predstavljaju izuzetno kompleksnu oblast, gdje se svi bitni faktori moraju uzeti u obzir prilikom određivanja tehnologije sanacije. U toku sanacije bio je potreban konstantan nadzor kako bi

se pridržavalo maksimalno propisanoj tehnologiji. Prostora za greške u bilo kojem segmentu reparature nije bilo, sa obzirom da svaki dan zastoja rotacione peći predstavlja ogromni finansijski gubitak za preduzeće. Dimenzije nosivog prstena su $\text{Ø}5500 \times 900 \times 370$ te je prema proračunima ustanovljeno da će biti potrebno oko 250kg dodatnog materijala kako bi se reparirao prsten. Period sanacije, lokacija i vremenski uslovi nisu išli u prilog reparaturi. Početak radova je bio 20.12.2021. na improvizovanoj skeli, na visini od 15 metara, u zimskom periodu u najgorim uslovima 24/7.

2.1. Tehnologija reparaturnog zavarivanja i priprema šava za zavarivanje

Reparature ovakvih razmjera iziskuju temeljitu analizu materijala prstena, te je uvidom u dokumentaciju ustanovljeno da se radi o odlivku 100CrMn6, koji je bio preko 40 godina u eksploataciji. Hemijski sastav čelika 100CrMn6 prikazan je u Tabeli 1.

Tabela 1. Hemijski sastav čelika 100CrMn6 prema DIN 17230 sadašnji 100Cr6 prema EN ISO 683-17 u (mas. %)

Table 1. Chemical composition of steel 100CrMn6 according to DIN 17230 current 100Cr6 according to EN ISO 683-17 in (mass. %)

ELEMENT	C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cr [%]	Fe [%]
SADRŽAJ	0,95-1,05	0,40-0,70	0,95-1,25	0,030	0,030	1,35-1,60	ostatak

Za reparature na ovakvim elementima, odličnim se pokazao dodatni materijali na bazi Ni bez kojih su ozbiljne reparature postale nezamislive.

Korištena je elektroda Xuper NucleoTec 2222 ($\text{Ø}3,2/4,0$ mm) i žica EnDOTec® DO*622 S ($\text{Ø}1,6$ mm) proizvođača Castolin. Nakon odabira lokalnog

izvođača radova, pristupilo se pripremi mjesta rada i početku reparature.

Nosivi prsten je ukrućen sa obje bočne strane sa po 2 ukrute dimenzija $800 \times 200 \times 65$ od čelika P355GH, te je peć rotirana kako bi zona reparature bila u normalnom položaju.



Mjesto rada je obezbijeđeno, postavljeni su termoelementi i pristupilo se predgrijavanju na temperaturu od 150°C (Slika 3a). Kada je ispunjen uslov temperature predgrijavanja, pristupilo se

žlijebljenju zone reparature (Slika 3b). Strogo se vodilo računa da se tokom cijelog postupka žlijebljenja i zavarivanja ne odstupa od 150°C +/- 20°C [2].



a)



b)

Slika 3. Predgrijavanje a) i početak žlijebljenja b)

Figure 3. Preheating a) and start of grooving b)

Tehnologijom je određeno da pripremljen šav bude u obliku slova U, koliko god je moguće. Poslije žlijebljenja pristupljeno je brušenju površina šava do metalnog sjaja, kako bi se uklonio zakaljen

materijal i ostale nesavršenosti u osnovnom materijalu. Odrađeno je ispitivanje penetrantima kako bi se uočile eventualne nesavršenosti zaostale u šavu, Slika 4.



Slika 4. Ispitivanje penetrantima i pripremljeno ½ šava

Figure 4. Penetrant testing and prepared ½ seam

Izuzetno teško je pripremiti adekvatno površinu šava, da se dovede do metalnog sjaja, s obzirom da se radilo o odlivku koji je bio u eksploataciji preko 40 godina. Uočeno je mnogo poroznosti, uključaka i novih manjih pukotina. Nesavršenosti ustanovljene ispitivanjem penetrantima iziskivale su dodatno žlijebljenje/brušenje. Onog trenutka kada je potpuno pripremljen šav, ustanovile su se prave razmjere reparature te se povećao obim radova od predviđenog utroška od 250 kg dodatnog materijala na oko 500 kg dodatnog materijala. Veličina šava ilustrivna je na Slici 5.



Slika 5. Razmjere šava

Figure 5. Dimensions of the seam

2.2. Zavarivanje

Sam tok zavarivanja odvijao se u nekoliko faza sa kombinacijom dva postupka zavarivanja. Donja zona šava (1/3) zavarena je REL postupkom, kao i zidovi šava (Slika 6). Kako bi se ubrzao postupak zavarivanja, istovremeno su u teškim uslovima zavarivala dva zavarivača pri tome strogo vodeći računa da se ne odstupa od propisane tehnologije reparature.



Slika 6. REL zavarivanje – 1/3 šava

Figure 6. MMA welding of the 1/3 seam

Poslije svakog prolaza, potrebno je bilo opuštanje zaostalih napona sa pneumatskim čekićem i detaljno čišćenje šava od šljake elektrode. Kada je završeno zavarivanje REL postupkom, pristupilo se MAG zavarivanju sa praškom punjenom žicom, što je uveliko ubrzalo proces zavarivanja (Slika 7). Kao i kod REL postupka, posebna pažnja se posvetila pravilnom zavarivanju, opuštanju zaostalih napona pneumatskim pištoljem, čišćenjem pri tome strogo poštujući međuprolaznu temperaturu [3].

3. Rezultati i diskusija

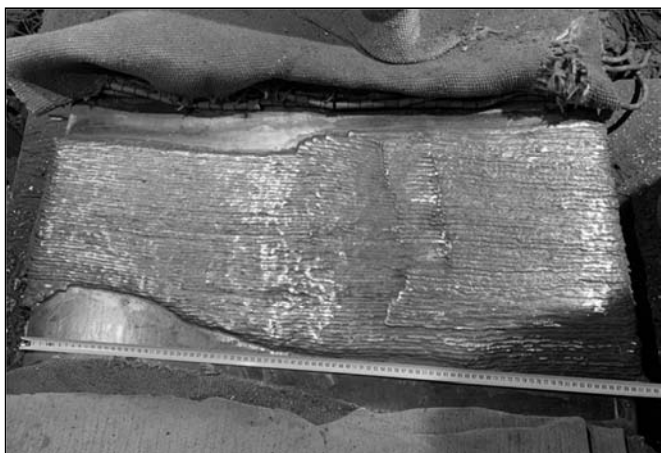
Tehnologijom reparaturnog zavarivanja ostvaren je očekivani i jedino prihvatljivi rezultat – uspješna sanacija oštećenog prstena koja zadovoljava sve zahtjeve te je uspostavljen ponovo proces proizvodnje sa optimalnim parametrima. Maksimalnim poštivanjem propisane tehnologije sanacije pukotine, postignut je rezultat koji



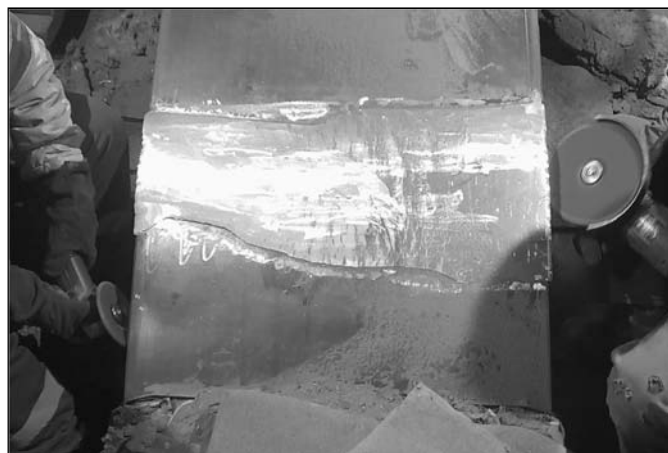
Slika 7. MAG zavarivanje

Figure 7. MAG welding

produžava životni vijek prstena i dozvoljava nastavak neometane proizvodnje klinkera/cementa. Neuspješna reparatura predstavljala bi ogroman rizik po poslovanje tvornice cementa, jer od trenutka pokretanja postupka nabavke novog prstena do puštanja u pogon potrebno je čak i do 12 mjeseci. Ukupno je bilo potrebno 26 dana bez pauze (20.12.2021. – 14.01.2022.), 550 kg dodatnog materijala, 1000 grafitnih elektroda za žlijebljenje. Rad u svim vremenskim uslovima, po vjetru, kiši, snijegu i temperaturama do -15°C kako bi se ponovo uspostavio proces proizvodnje. Naknadnim ispitivanjem bez razaranja (VT, PT, UT) nisu ustanovljena oštećenja na prstenu i na reparaturi, te je isti i dalje u funkciji. Izgled poslednjih faza sanacije i završni izgled saniranog nosivog prstena rotacione peći prikazan je na Slikama 8 a-c, a izgled nosivog prstena rotacione peći nakon 6 mjeseci uspješne upotrebe prikazan je na Slici 8 d.



a)



b)



c)



d)

Slika 8. Saniran nosivi prsten rotacione peći: a-b) poslednje faze snacije, c) izgled saniranog prstena, d) izgled nosivog prstena rotacione peći nakon 6 meseci upotrebe

Figure 8. Repaired bearing ring of the rotary kiln: a-b) final stages of repair, c) appearance of the repaired ring, d) appearance of the bearing ring of the rotary kiln after 6 months of use

4. Zaključak

Reparaturno zavarivanje predstavlja vrlo kompleksan tehnološki postupak koji je često jedini način za ponovno uspostavljanje neometanog rada postrojenja nakon havarije nekog od vitalnih elemenata. U vremenima kada se svi elementi i postrojenja maksimalno eksploatišu zbog ostvarivanja maksimalnog profita, postaje jasno da je reparaturno zavarivanje jedino brzo i efikasno rješenje problema kako bi se ponovo uspostavio integritet konstrukcije - postrojenja. Od ključne važnosti je da izvođač radova bude maksimalno dosljedan propisanoj tehnologiji jer u suprotnom nastaju problemi većih razmjera i puno veći troškovi od planiranih.

Literatura / References

[1] Dominik Načinović, (2017), "Vođenje cementne peći", Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.

[2] Atef Badr, (2018), MESSER Eutectic Castolin, "Repair of Fractured Kiln Tyre", Egipat.

4. Conclusion

Repair welding is a very complex technological procedure, which is often the only way to restore the uninterrupted operation of the plant after the failure of one of the vital elements. In times when all elements and plants are exploited to the maximum for the sake of achieving maximum profit, it becomes clear that repair welding is the only quick and effective solution to the problem in order to re-establish the integrity of the structure - the plant. It is of crucial importance that the contractor be as consistent as possible with the prescribed technology, because otherwise problems of a larger scale and much higher costs than planned arise.

[3] Juraga, I., Živčić, M., Gracin, M., (1994), "Reparaturno zavarivanje", Zagreb.