Broj rada: 3.1
DOI: 10.65156/wws.sjdp.si.011

ANALIZA DEGRADACIJE MATERIJALA I PROCJENA MOGUĆNOSTI SANACIJE PLAŠTA ROTACIONE PEĆI PRIMJENOM METALOGRAFSKIH REPLIKA

MATERIAL DEGRADATION ANALYSIS AND EVALUATION OF REPAIR FEASIBILITY FOR A ROTARY KILN SHELL USING METALLOGRAPHIC REPLICATION

Resul Hamzić, 0009-0008-8864-9205[1], Namik Džibrić, 0009-0006-3742-233X[2], Hidajet Smajić, 0009-0009-0113-1858[2]

[1,2] INSTITUT ZA ZAVARIVANJE d.o.o. Tuzla, Bosne Srebrene broj 6, 75000 Tuzla, BiH

E-mail: resul.hamzic@izz-bh.ba

Rezime: U radu je data detaljna tehnička analiza degradacije čeličnog plašta rotacione peći na osnovu ispitivanja metalografskim replikama, u cilju procjene mogućnosti sanacije ili potrebe za zamjenom sekcije peći. Ključni nalazi pokazali snažno izražen interkristalni raspad (pucanje duž zrna), brojne mikrošupljine i početak mikropukotina, što ukazuje na puzanje i zamor materijala. Preporuka je zamjena oštećene sekcije plašta, jer je lokalno reparaturno zavarivanje neadekvatno zbog duboke degradacije materijala i rizika nastavka širenja pukotina i nastanka novih. Dodatno su predložena kontrolna ispitivanja, zatim detaljna analiza preostalog radnog vijeka peći.

Ključne reči: Rotaciona peć, Metalografske replike, Puzanje, Pukotine

Abstract: This paper presents a detailed technical analysis of the degradation of a rotary kiln steel shell based on metallographic replica examinations, with the objective of assessing the feasibility of repair or determining the need for shell section replacement. The key findings revealed pronounced intergranular degradation (cracking along grain boundaries), numerous microvoids, and the initiation of microcracks, indicating the occurrence of creep damage and material fatigue. Based on the observed degradation mechanisms, the replacement of the damaged shell section is recommended, as local repair welding is considered inadequate due to the extensive material deterioration and the high risk of continued crack propagation and the formation of new defects. In addition, further inspection activities and a comprehensive assessment of the remaining service life of the kiln are recommended.

Key words: Rotary kiln, Metallographic replicas, Creep, Cracks

1. UVOD

Rotacione peći rade u uslovima povišenih temperatura (najčešće između 300-400°C) i velikim mehaničkim opterećenjima. Čelični plašt peći u uslovima takvog rada razvija zamorna i puzajuća oštećenja usljed dugotrajnog izlaganja toploti i naprezanju. Prisutnost ovakvih oštećenja smanjuje radni vijek trajanja komponente. Zanemarivanje ovih pojava ozbiljno može narušiti integritet peći kao komponente, a također i cijelog tehnološkog procesa. Stoga je za održavanje integriteta neophodno provoditi preventivne i redovne kontrole (vizuelna kontrola, ultrazvučno mjerenje debljine plašta peći, mjerenje tvrdoće plašta peći i dr) s ciljem

pravovremenog otkrivanja eventualnih pukotina. Ispitivanje metalografskim replikama osigurava uvid u mikro stanje materijala bez oštećenja same komponente, što je u industrijskim uslovima rada peći od velike praktične važnosti.
Ciljevi istraživanja su višetruki:

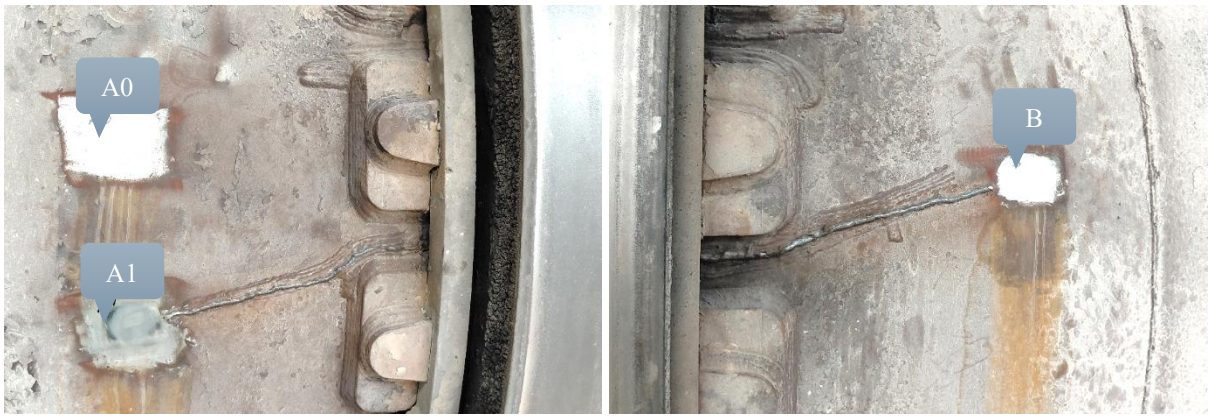
- Dijagnostika stanja materijala: utvrditi stepen i tip degradacije plašta peći.
- Identifikacija mehanizma oštećenja: klasifikovati pojavu mikrošupljina, pukotina i tip mikrostrukture pomoću metalografskih replika.
- Preporuka za dalje postupanje: reparaturno zavarivanje ili zamjena oštećenog segmenta.

2. MATERIJAL I METODOLOGIJA

Predmet ispitivanja bio je čelični plašt rotacione peći u zoni oko bandažnog prstena, gdje su tokom eksploatacije uočene površinske pukotine. Za procjenu stanja materijala primijenjena je metoda metalografskih replika u skladu sa zahtjevima standarda BAS ISO 3057:1998.

Nakon vizuelne inspekcije odabrane su tri karakteristične zone za ispitivanje (slika 1):

- Zona A0 - referentna zona bez vidljivih pukotina,
- Zona A1 - područje neposredno uz završetak pukotine,
- Zona B - područje nastanka i propagacije pukotine.



Slika 1 - Definisane lokacije za izuzimanje metalografskih replika

Površina na odabranim lokacijama pripremljena je mehaničkim brušenjem i poliranjem do kvaliteta pogodnog za metalografsku analizu, nakon čega je izvršeno hemijsko nagrizanje i izuzimanje replika. (slika 2).



Slika 2 - Pripremljena površina s uočljivom pukotinom (lijevo) i proces repliciranja (desno)

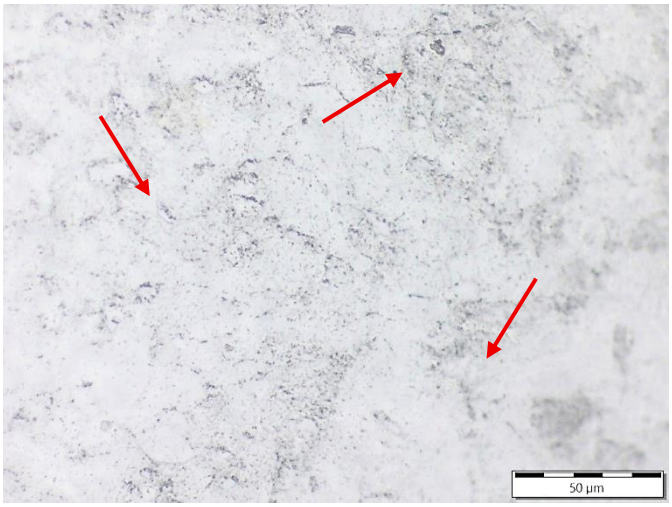
Dobijene replike analizirane su u laboratorijskim uslovima, pomoću optičkog mikroskopa u cilju identifikacije mikrostrukture i eventualnih oštećenja karakterističnih za proces puzanja i zamora materijala.

Pored metalografske analize izvršeno je i mjerenje tvrdoće metodom po Brinellu na svim ispitivanim lokacijama radi procjene eventualnih promjena mehaničkih svojstava materijala usljed dugotrajne eksploatacije.

3. REZULTATI ISPITIVANJA

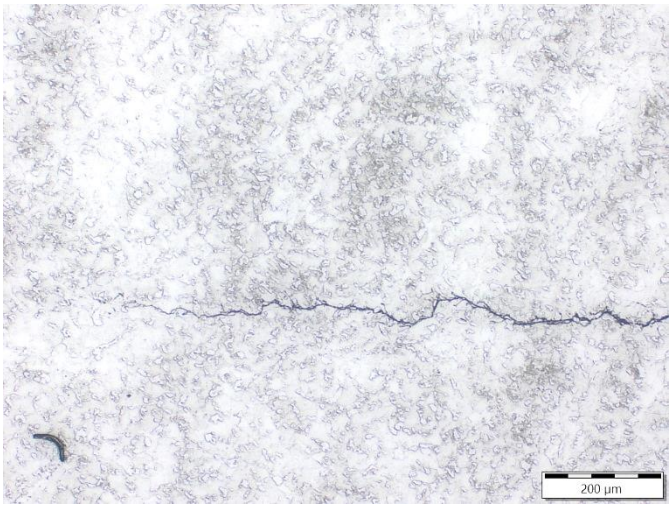
Analizom metalografskih replika pod mikroskopom utvrđeno je da se radi o feritno-perlitnoj mikrostrukturi.

U zoni A0 koja se smatrala netaknutom, uočen je veliki broj dislokacija uzrokovanih puzanjem materijala, koje se mogu svrstati u klasu 3b prema VGB-S 517 standardu (slika 3).



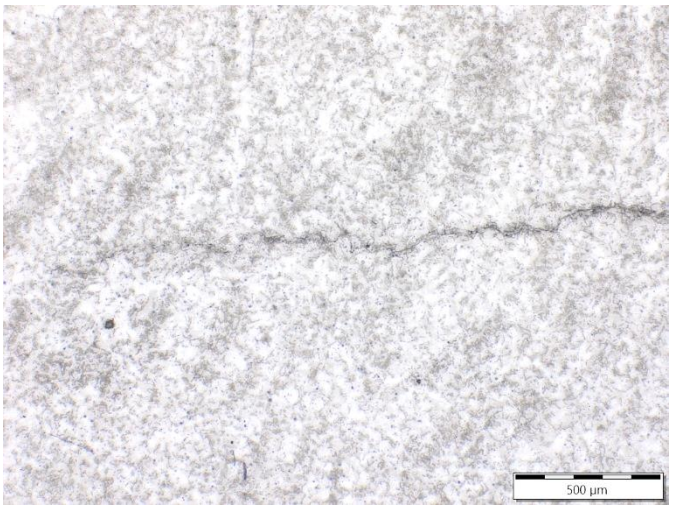
Slika 3 - Dislokacije klase 3b u ispitnoj zoni A0

U zoni A1 koja je pokrivala područje izlaza pukotine prema netaknutom materijalu dokazano je da se radi o interkristalnim pukotinama nastalim uslijed dugotrajnog zamora materijala i puzanja (slika 4).



Slika 4 - Interkristalna pukotina u ispitnoj zoni A1

Zona B je područje nastanka i pravca propagacije pukotine, uočljivo je da se radi o interkristalnoj pukotini koja propagira ispod bandažnog prstena (slika 5).



Slika 5 - Početak interkristalne pukotine u ispitnoj zoni B

Analiza metalografskih replika pokazala je da su uočene pukotine interkristalne te da je i materijal u referentnoj zoni u određenoj fazi degradacije i da bi sanacija reparaturnim zavarivanjem mogla dovesti do širenja postojećih i pojave novih pukotina. Uz ova opažanja preporuka je zamjena sekcije plašta, u suprotnom ukoliko bi se teoretski pokušalo reparaturno sanirati, rizik od naglog otkaza usljed puknuća je vrlo visok.

4. DISKUSIJA REZULTATA

Rezultati metalografskih ispitivanja ukazuju na izraženu degradaciju materijala plašta rotacione peći. U svim ispitivanim zonama identifikovana je feritno-perlitna mikrostruktura, pri čemu su u referentnoj zoni A0 uočeni su znakovi početnog stadija degradacije u vidu povećane gustine dislokacija i oštećenja karakterističnih za puzanje.

Prema smjernicama VGB-S 517 klasifikacija oštećenja klase 3b predstavlja uznapredovali stadij degradacije mikrostrukture kod kojeg je proces puzanja već jasno izražen. Takvo stanje ukazuje da je materijal značajno iscrpio dio svog radnog vijeka te da se degradacioni procesi odvijaju i u zonama gdje još uvijek nisu prisutne vidljive pukotine.

U zonama A1 i B utvrđeno je prisustvo interkristalnih pukotina koje se šire duž granica zrna. Izmjerena tvrdoća od približno 140 HB pokazuje relativno homogeno stanje materijala na svim ispitivanim lokacijama. Međutim, sama vrijednost tvrdoće nije dovoljna za procjenu stepena degradacije usljed puzanja. Poznato je da materijal može pretrpjeti značajna mikrostrukturna oštećenja bez izražene promjene tvrdoće.

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da bi reparaturno zavarivanje predstavljalo visok tehnički rizik. Tokom procesa zavarivanja došlo bi do dodatnog lokalnog zagrijavanja već degradiranog materijala, što može pogodovati nastanku novih pukotina ili daljoj propagaciji postojećih oštećenja.

Iz tog razloga zamjena kompletne oštećene sekcije predstavlja tehnički najpouzdanije i dugoročno najsigurnije rješenje.

5. ZAKLJUČAK

Provedena ispitivanja metalografskim replikama dokazala su da je materijal plašta rotacione peći u zoni oko bandažnog prstena pretrpio značajnu degradaciju usljed dugotrajnog djelovanja povišene temperature i radnih naprezanja. U referentnoj zoni registrovani su znaci puzanja klasifikovani prema VGB-S 517 kao klasa 3b, dok su u zonama uz pukotinu identifikovane interkristalne pukotine nastale kombinovanim djelovanjem puzanja i zamora materijala.

Utvrđeno je da degradacija materijala nije ograničena isključivo na područje vidljive pukotine već zahvata i okolni materijal, što ukazuje na sistemski karakter oštećenja. Zbog toga bi reparaturno zavarivanje predstavljalo privremenu mjeru sa visokim nivoom tehničkog rizika i neizvjesnim dugoročnim efektima.

Na osnovu rezultata ispitivanja preporučuje se zamjena kompletne oštećene sekcije plašta rotacione peći. Ovakav pristup omogućava pouzdan nastavak eksploatacije i smanjenje rizika od iznenadnog otkaza opreme.
Pored zamjene sekcije preporučuje se:

- provođenje dodatnih metalografskih replika na susjednim zonama plašta,
- detaljna analiza preostalog radnog vijeka konstrukcije,
- periodično praćenje stanja kritičnih zona tokom daljnje eksploatacije,
- uspostavljanje programa preventivnog monitoringa zasnovanog na metodama bez razaranja.

LITERATURA

[1] BAS ISO 3057:1998, Ispitivanje bez razaranja – Metoda ispitivanja površine pomoću metalografskih replika.
[2] VGB-S 517, 2008, Guideline for the Assessment of Microstructure and Creep Damage of Creep Resistant Steels for Pipes, Boiler Components and Welds, VGB PowerTech e.V., Essen, Germany.
[3] API 579-1/ASME FFS-1, 2021, Fitness-For-Service, Fourth Edition, American Petroleum Institute (API) and American Society of Mechanical Engineers (ASME), Washington D.C., USA.
[4] EN 13445-5:2021, Unfired Pressure Vessels – Part 5: Inspection and Testing, European Committee for Standardization (CEN), Brussels, Belgium.
[5] Neubauer, B., Wedel, U., 1983, Rest Life Estimation of Creep Loaded Components by Means of Replication Technique, Proceedings of the International Conference on Creep and Fracture of Engineering Materials and Structures, Swansea, United Kingdom.
[6] Viswanathan, R., 1989, Damage Mechanisms and Life Assessment of High-Temperature Components, ASM International, Metals Park, Ohio, USA, ISBN 978-0-87170-358-3.
[7] Toft, L.H., Marsden, R.A., 1985, Life Assessment of High Temperature Plant Components, Mechanical Engineering Publications, London, United Kingdom.
[8] Cane, B.J., 1987, Assessment of Remaining Creep Life in High Temperature Components, International Journal of Pressure Vessels and Piping, Vol. 28, pp. 151–167.
[9] Ainsworth, R.A., 2000, Assessment of High Temperature Components Operating in the Creep Range, Engineering Failure Analysis, Vol. 7, No. 1, pp. 17–30.
[10] Viswanathan, R., Henry, J.F., Tanzosh, J., Stanko, G., Shingledecker, J., Vitalis, B., Purgert, R., 2005, Life Assessment Technologies for Fossil Power Plant Components, International Journal of Pressure Vessels and Piping, Vol. 82, pp. 73–92.