

MIKROSTRUKTURNO PRAĆENJE KVALITETA TOKOM DUGOTRAJNOG RADA NA POVIŠENIM TEMPERATURAMA ČELIKA ČSN 15 223 METODOM REPLIKA

MICROSTRUCTURE QUALITY MONITORING IN ČSN 15 223 STEEL IN LONGTERM EXPLOATATION AT ELEVATED TEMPERATURES BY REPLICA METHOD

Z. Karastojković¹⁾, Z. Kotačević²⁾

¹⁾ Z. Karastojković, Visoka tehnička škola strukovnih studija, 11070 N. Beograd, bul. Dr Z. Đinđića 152a

²⁾ Z. Kotačević, Institut za ispitivanje materijala, 11000 Beograd, bul. vojvode Mišića 43.

Rezime: Ispitivanje metala bez razaranja je od posebnog interesa, naročito kada je moguće utvrđivanje kvaliteta mikrostrukture na terenu. Metoda uzimanja replike primenom tanke folije nudi prednost: ispitivana komponenta ne mora da bude izvađena iz originalne konstrukcije. Ovo je od velike važnosti za kotlovske cevi i sl. iz sistema termoelektrana. Nakon uzimanja replike, folija se pažljivo može analizirati u laboratoriji, u svako željeno vreme.

Korišćenjem metode replika omogućeno je praćenje različitih procesa radi kontrole: mnogih oblika korozionog propadanja, razugljeničenja, grafitizacije, rasta zrna, pora, finih strukturnih promena usled puzanja, kao i pojave pukotina. Ovakve promene kvaliteta materijala nije moguće uspešno kontrolisati drugim metodama ispitivanja, kao što su gamaradiografija, rentgenografija, ultrazvuk, magnetne čestice ili slično. Strukturne promene praćene putem replika moguće je primeniti u ispitivanju kako osnovnog tako i zavarenog metala.

Ključne reči: toplopostojani čelici, replike, strukturne promene, kvalitet

Abstract: Non-destructive testing of metals is of particular interest when the evaluation of the microstructure quality is possible, especially in field applications. Method of replicating the surface state by using a thin foil offers an advantage: the testing component should not be taken off from the original position of structure assembly. This fact is of a great importance for boiler tubes, from piping system in thermo-power generators or similar equipment. After replicating the surface, than foils could be carefully analyzed in the laboratory at every desired time.

By using the replica method the different processes are available to control: many types of corrosion attack, decarburization, graphitization, grain growth, pores, fine changes in microstructures as a result of creep process, and also a crack(s) appearance. Those changes in quality of tested material could not be successfully controlled by other testing methods, as like gamma-radiography, x-ray testing, ultra-sound, magnetic particles, or similar. The structure changes monitored by replica's method are available in testing either the parent or weld metal.

Key words: steels for elevated temperatures, replica method, structure changes, quality

1. UVOD

Ispitivanja bez razaranja su vrlo zahvalna, pogotovu kada ispitivani deo ili konstrukciju nije moguće iseći ili demontirati samo radi ispitivanja [1,9]. Uobičajena ispitivanja strukture materijala podrazumevaju uzimanje (sečenje) uzorka, i to je onda metoda ispitivanja sa razaranjem. Ispitivanje strukture primenom replika je praktično metoda ispitivanja bez

razaranja [1,11], može se reći sa zanemarljivim razaranjem.

Mnogi mašinski elementi ili delovi konstrukcija u radu trpe znatne promene strukture. Praćenje promene u strukturi, npr. čelika, nije uvek jednostavno iako su razvijene brojne metode ispitivanja bez razaranja. Pokazalo se da je metoda replika vrlo pouzdana metoda za ispitivanje površine, odnosno podpovršinskog sloja (nakon uklanjanja npr. korozionog sloja

≤0,2mm) i drugih promena koje se događaju u tom sloju [1÷5].

Od brojnih važnih primera ovde će se obraditi slučajeti interesantni za termoelektrane. U termoelektranama postoje izvesni konstrukcioni elementi i sklopovi, kao što su kotlolske cevi i td., koji su neprekidno izloženi dejstvu povišenih ili visokih temperatura. U termoelektranama na ugalj najveći deo cevi je izložen dejstvu povišenih temperatura, od 100 do 550 °C.

Isecanje uzorka, za bilo kakva ispitivanja, skoro je nezamislito jer to najčešće znači zaustavljanje rada celog postrojenja. Troškoti takvog rada, sa zaustavljanjem, bili bi enormno veliki. Posmatranje kvaliteta ispitivanog

materijala korišćenjem replika radi praćenja promena u mikrostrukturi ovde će biti urađeno registrotanjem karakterističnih pojava, koje pak odražavaju neke procese koje se odigravaju u materijalu pod dejstvom povišenih temperatura ili pak pod delovanjem okružujuće atmosfere. Takve pojave su: razugljeničenje, grafitizacija, rast kristalnog zrna, pojave pora, puzanja ali i pukotina [3,10÷13]. Praćenje opisanih elemenata kvaliteta stanja materijala izvodljivo je, prilično brzo i pouzdano, primenom replika. Tokom dugotrajnog rada u ovim čelicima, i pod opisanim uslovima, nastaju nepovratne promene, koje proističu iz dobro poznatih termodinamičkih zakona.

2. POLOŽAJI UZIMANJA REPLIKA NA JEDNOM PAROVODU

Replike su vrlo pogodne za uzimanje: moguće je uzeti ih praktično sa bilo koje konstrukcije, bez obzira da li je njihova površina ravna ili zakrivljena (ispupčena, udubljena i sl.).

Replike se u termoelektranama uzimaju sa različitih mesta, a najčešće sa kritičnih mesta toplovoda, npr. cevni lukova i sl.

3. ČELICI ZA RAD NA POVIŠENIM TEMPERATURAMA

Toplopostojani čelici treba dugotrajno da izdrže temperature do oko 550 °C. Da bi se to ostvarilo, pristupa se višestrukom legiranju [2÷10]. U izradi konstrukcionih delova termoenergetskih postrojenja koriste se

niskouglenični čelici dopunski legirani sa hromom, molibdenom, volframom, ređe sa niklom ili vanadijumom. Različito iskustvo proizvođača dovelo je do ponude raznovrsnih sastava, tabela 1.

Element	15H1M1F po GOST-u	14MoV 6 3 po DIN-u	ČSN 15 223
Ugljenik	0,08-0,15	0,10-0,18	0,17 - 0,23
Silicijum	0,17-0,37	0,10-0,35	0,15 - 0,40
Mangan	0,40-0,70	0,40-0,60	1,20 - 1,60
Fosfor	0,025	0,35	≤ 0,040
Sumpor	0,025	0,35	≤ 0,040
Hrom	0,90-1,20	0,30-0,60	≤ 0,20
Molibden	0,25-0,35	0,50-0,70	0,30 - 0,50
Vanadijum	0,15-0,30	0,22-0,32	-
Nikl ili bakar	0,25 Ni	-	Ni ≤ 0,25; Cu ≤ 0,30

Tabela 1. Hemijski sastav nekih toplopostojanih čelika, tež. %

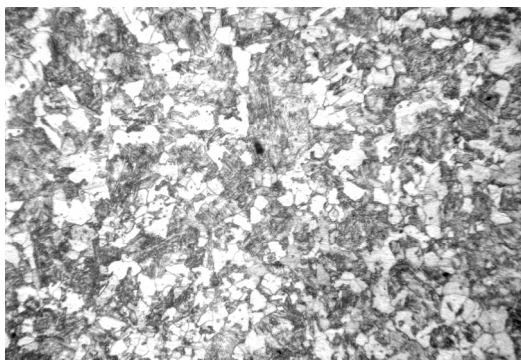
4. MIKROSTRUKTURNO PRAĆENJE PROMENE KVALITETA ČELIKA

Za analiziranje nastalih promena, neizostavno se moraju primeniti i mikrostrukturalna ispitivanja, što je već praksa u celom svetu pa i kod nas. U odgovarajućoj literaturi mogu se naći delimični podaci o promenama

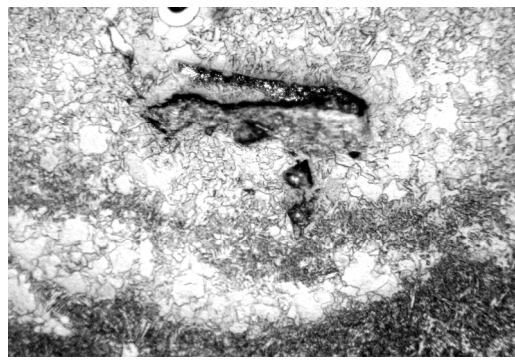
[9÷16], zbog čega se eksperimentalnim podacima svake vrste mora pokloniti dužna pažnja. Ovde je za praćenje eventualnih promena strukture korišćena metoda replika. Uveličanje prikazanih slika je 100h, izuzev sl. 1b), koje iznosi x 200.

Razugljeničenje je jedna od promena u kvalitetu materijala koja se prvo otkrije. Interesantno je da razugljeničenje može da nastane kako u oksidacionoj tako i u redukcionoj atmosferi [1,9-14]. Ovakva promena izaziva smanjenje

mehaničkih osobina materijala, i to je razlog da se ova pojava mora stalno pratiti. Na sl. 1a) je prikazana polazna mikrostruktura a na sl. 1b) primer razugljeničenja čelika (svetla zona).



a)

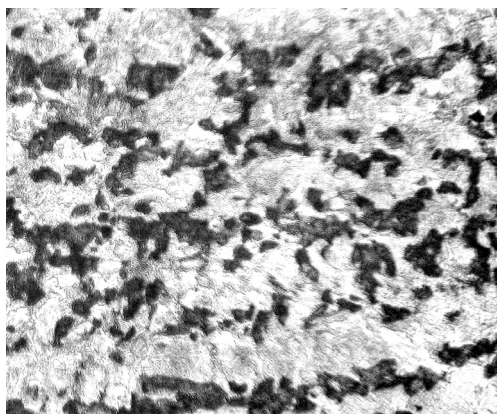


b) x 200

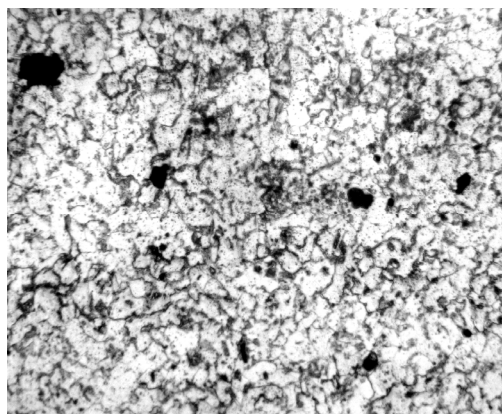
Sl. 1. Mikrostruktura polaznog materijala a) i pojava razugljeničenja b)

Grafitizacija je sledeći lako uočljiv degradacioni proces u čeliku kotlovskih cevi (redosled predstavljanja degradacionih procesa ovde je

slučajan). Iz polazne feritno-perlitne strukture čelika ČSN 15 223 izdvaja se čist grafit (tamna zona), sl. 2).



a)



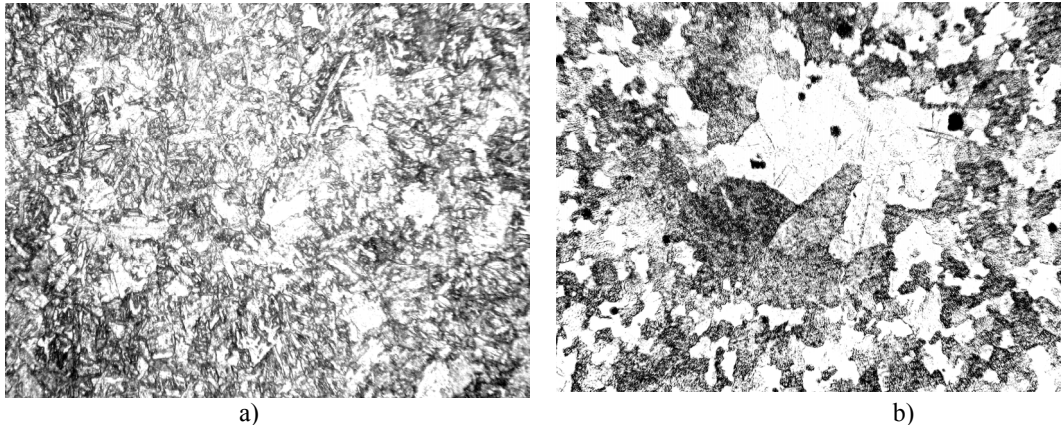
b)

sl. 2. Grafitizacija u: a) trakastoj feritno-perlitnoj strukturi i b) stvaranjem kolonija grafita (crna polja na obema slikama)

Izdvojeni grafit je mek ali ono što je najnepovoljnije to je izuzetno velika krtost, ali ne samo grafita već i samog materijala. Za ovakvo drastično smanjenje žilavosti se ne može reći da nema promene u kvalitetu ispitivanog materijala.

Sledeća promena u materijalu, koja treba da se prati, predstavlja ukрупnjavanje polaznog

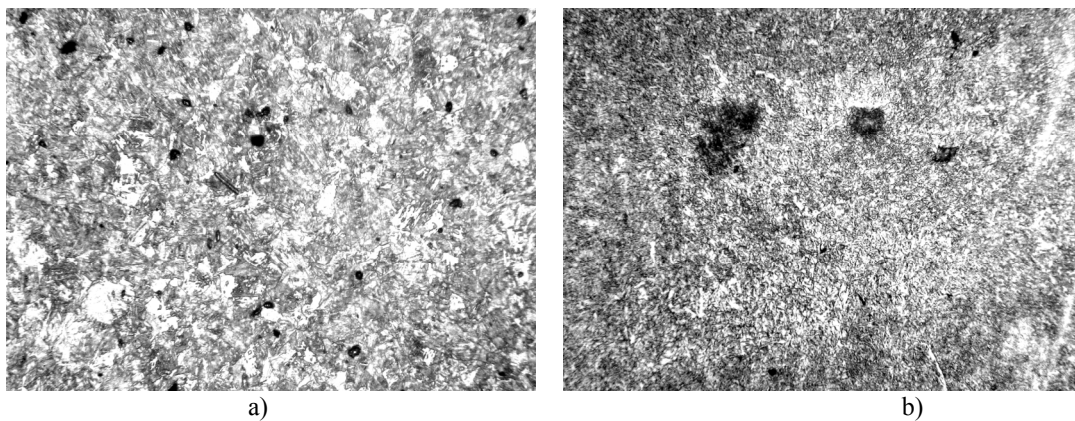
kristalnog zrna. Ukрупnjavanje kristalnog zrna obično dovodi do smanjenja eksploatacionih osobina, i to je razlog više za ocenu opšteg stanja i kvaliteta ispitivanog materijala. Tehnika replike i u ovom slučaju daje vrlo zadovoljavajuće rezultate. Par primera promene veličine kristalnog zrna ilustrovano je sl. 3.



sl. 3. Metalografski efekti rasta kristalnog zrna

Ukoliko je okružujuća atmosfera reagibilna sa metalom, često dolazi do izdvajanja gasovitih

proizvoda, a na tim mestima moraju da ostanu pore, manje ili više vidljive sl. 4.

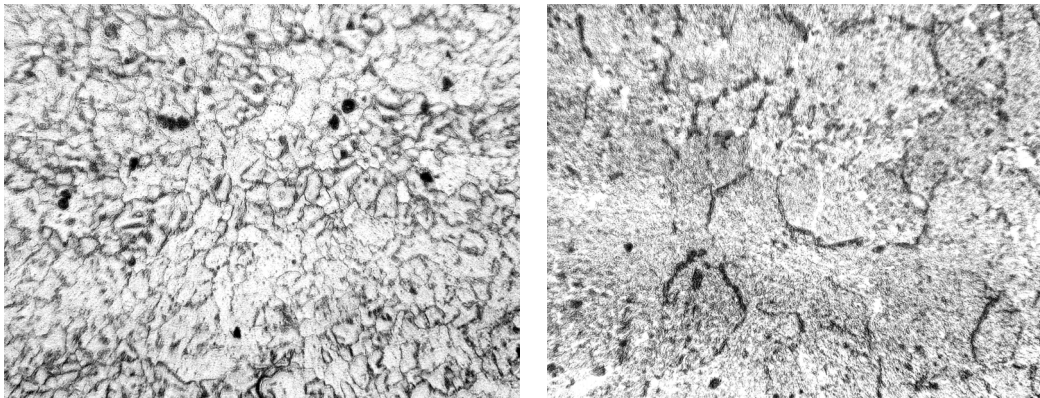


sl. 4. Kolonija pora a) ili pore posmatrane pod većim uveličanjem b), x 200

Međutim, pore mogu da nastanu i iz nekih drugih razloga, koalescijom vakansija i td. [3÷5]. Naravno da pore direktno smanjuju čvrstoću, čime projektovana nosivost postaje ugrožena. Ugroženost se odnosi na dotični deo ali se to prenosi na celo postrojenje, naravno, i na ceo sistem termoelektrane. Iz ovog je još jednom jasno zašto je potrebno periodično praćenje kvaliteta korišćenjem replika, u cilju određivanja opšteg stanja čelika, naravno i poređenje sa

prethodnim stanjem (takođe registrovanog putem replika).

Puzanje je specifična pojava i ona je naročito od interesa kada određena mašinska komponenta dugotrajno radi na povišenim temperaturama. U sprezi sa velikim radnim opterećenjima efekti puzanja se strogo moraju pratiti. Par promena mikrostrukture usled pojave puzanja materijala prikazano je sl. 5.

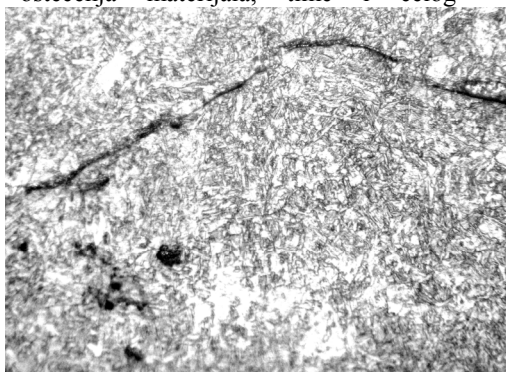


Sl. 5. Promene u mikrostrukтури čelika čelika ČSN 15 223 usled puzanja

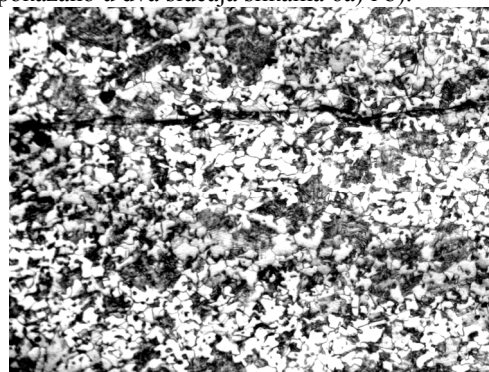
Usled promena, za tumačenje pojava puzanja je potrebno veliko metalografsko ali i ostalo vrlo specifično inženjersko iskustvo.

Pukotine su, izvesno, najnepovoljniji slučaj oštećenja materijala, time i celog

postrojenja, odnosno sistema. Postojanje vrlo sitnih pukotina često nije moguće otkriti npr. radiografski ili ultrazvukom, ako je pukotina tanka (ispod 0,2 mm) ali je izvodljivo primenom replika, pokazano u dva slučaja slikama 6a) i b).



a)



b)

sl. 6. Registrovanje pukotina u površinskom sloju ČSN 15 223 primenom replika

Na osnovu izgleda pukotine vrši se dalja analiza uzroka njenog nastanka, što je

predmet vrlo stručnih izučavanja i disciplina, uopšte [9,12÷15].

ZAKLJUČAK

Uobičajeno je da se kvalitet materijala/proizvoda analizira pre bilo kakve ugradnje. Međutim, nakon više godina rada-pogotovu u ekstremnim uslovima rada, kao što je rad na povišenim temperaturama-nastupaju brojne degradacione promene u materijalu, koje je nemoguće primetiti u bilo kojoj početnoj analizi. Jedna od vrlo pouzdanih metoda ocene kvaliteta toplopostojanih čelika nakon dugogodišnjeg neprekidnog rada, a izvodi se praktično bez razaranja, je metoda replika.

Metodom replika ovde su otkriveni i opisani brojni degradacioni procesi u materijalu toplopostojanog čelika, počev od razugljeničenja, grafitizacije, rasta kristalnog zrna, pojave pora, puzanja i pukotina. Pojava pukotina je, nesumnjivo, najkritičnija pojava u svakoj konstrukciji, tako i u razmatranom slučaju kotlanskog postrojenja.

Ukoliko se uoči pukotina, to mesto se odmah brusi, ponovo uzima replika, posmatra da li još uvek postoji pukotina. Postupak se ponavlja sve dok se pukotina ne ukloni.

Literatura

- [1.] H. Thielsch: Defects and Failures in Pressure Vessels and Piping, New York 1965, Reinhold Publ. Corp, pp. 333-367.
- [2.] H. Šuman: Metalografija, Beograd 1968, Zavod za izdavanje udžbenika Srbije, str.272-286.
- [3.] R. Smallman: Modern Physical Metallurgy, London 1970, Butterworths, pp. 482-493.
- [4.] S.Z. Bokštejn: Stroenie i svojstva metaličeskikh splavov, Moskva 1971, Metallurgija, pp.379-398.
- [5.] R.E. Reed-Hill: Physical Metallurgy Principles, New York 1973, Van Nostrand, pp. 827-882.
- [6.] A.N. Podgornij, T.T. Bortovoj, P.P. Gontarotskij, i dr.: Polzučest elementov mašinstroiteljnih konstrukcij, Kiev 1984, Naukova dumka, pp. 171-179.
- [7.] R.W.K. Honeycombe: The Plastic Deformation of Metals, London 1985, Edward Arnold, pp. 356-397.
- [8.] A.M. Arharov, S.I. Isaev, I.A. Kožinov, i dr.: Teplotehnika, Moskva 1986, Mašinstroenie, pp. 149-167.
- [9.] S.Tajra, R. Otani: Teorija temperaturnoj pročnosti materialov, prevod s japonskog, Moskva 1986, Metallurgija, pp. 50-91.
- [10.] A.P. Guljajev: Metallovedenie, Moskva 1986, Metallurgija, pp. 211-252.
- [11.] Z. Karastojković, Z. Đorđević: Grafitizacija u čeliku u toku rada na povišenim temperaturama i njeno otkrivanje replikama *in situ*, V Jugoslovenski simpozijum o termičkoj obradi metala, Vrnjačka Banja, Zbornik radova, pp. 284-288.
- [12.] R.T. Hercberg: Deformacija i mehanika razrušenija konstrukcionih materialov, prevod sa angliskog, Moskva 1989, Metallurgija, pp. 112-134.
- [13.] Z. Karastojković, Z. Kovačević: Metalografsko ispitivanje delovanja kotlovske vode i vodene pare na koroziju kotlovskih cevi, Međunarodno savetovanje "Industrijske vode", Pančevo 1995, Zbornik radova, str. 173-178.
- [14.] Guideline for the Assessment of Microstructure and Damage Development of Creep Exposed Materials for Pipes and Boiler Components, Essen 1992, 8-88.
- [15.] T.L. de Silveira, I. Le May: The Arabian J. Sci. and Eng., 31/2006/2C, pp. 99-118.
- [16.] Z. Karastojković, Z. Janjušević, Z. Kovačević, i dr.: Korozija toplovoda, Integritet i vek konstrukcija, 7/2007/2, pp. 129-132.