

Analiza korozije nastale na cijevi čelika 15Mo3 iz grijača vodene pare u termoelektrani Plomin

Z. Veljin,^a V. Špada,^{b*} J. Batelić^a i I. Pentek^b

^a Sveučilište Jurja Dobrile u Puli, Tehnički fakultet, Zagrebačka 30, 52 100 Pula

^b Istarsko Veleučilište – Università Istriana di Scienze Applicate, Riva 6, 52 100 Pula

Ovo djelo je dano na korištenje pod
Creative Commons Attribution 4.0
International License



Sažetak

U ovom radu prikazano je istraživanje korozije 15Mo3 cijevi u sustavu grijača vodene pare termoelektrane Plomin. Korozijsko oštećenje dovelo je do puknuća cijevi u sustavu te zastoja u radu. U radu je analiziran uzorak puknute cijevi, a potrebno je bilo odrediti vrstu korozije i uzrok korozije. Korozija se dijeli prema tri faktora: mehanizmu djelovanja, specifičnosti nastanka i obliku korozijskog napada. Opisana su elektroenergetska postrojenja s naglaskom na termoelektrane uz analizu sustava u kojem je došlo do korozijskog oštećenja cijevi parnog kotla termoelektrane. Prikazani su rezultati istraživanja korozijskih produkata na cijevi te izgled same pukotine. Provedena su istraživanja kemijskog sastava, ispitivanja tvrdoće prema Vickersu i analiza FT-IR spektroskopijom te mikroskopska istraživanja svjetlosnom i elektronskom mikroskopijom. Na ispitanom uzorku oštećene cijevi parnog kotla dokazano je da je uzrok nastalog oštećenja erozijska korozija.

Ključne riječi

Parni kotao, korozija, erozijska korozija, 15Mo3 čelik, SEM/EDS analiza

1. Uvod

Kad metalni materijali i konstrukcije korodiraju dolazi do velikih materijalnih, ekonomskih šteta, a ponekad i ljudskih gubitaka. U ovom radu ispitan je uzrok korozije na oštećenom uzorku čelične cijevi parnog kotla termoelektrane TE Plomin, čije puknuće je uzrokovano korozijom i prouzročilo je zastoj u radu elektroenergetskog postrojenja. Prema normi HRN EN ISO 8044 korozija je "fizikalno-kemijsko međudjelovanje metala i njegova okoliša koje uzrokuje promjenu uporabnih svojstava metala te može dovesti do oštećenja funkcije metala, okoliša ili tehničkog sustava koji oni čine".¹ Korozija je prirodni proces oštećivanja metala u kojem se raznim tvarima, fizikalnim, biološkim, kemijskim ili fizikalno-kemijskim, događa razaranje konstrukcijskih metalnih materijala.² Korozija najčešće nastaje u vodenim otopinama i uzrokovana je ionskom vodljivošću okoliša metala. Odnosno, korozija je u tom slučaju rezultat elektrokemijskih reakcija izazvanih uvjetima okoliša. Na koroziju utječu temperatura otopine, pH vrijednost otopine, brzina protoka otopine i koncentracija otopine.³⁻⁶ Kod specifičnih slučajeva istraživanja vrste i uzroka korozije cilj je iznaći načine prevencije i zaštite od korozije. Koroziju je dobro sagledati prema mehanizmu nastanka, jer se brojne vrste korozije javljaju istodobno. Korozija se tako kategorizira prema: i) mehanizmu djelovanja, ii) izgledu korozijskog napada i iii) specifičnosti nastanka; koji kontroliraju nastanak korozije ili njezino širenje.⁷

Korozija može biti uzrokovana mehanički, primjerice trenjem, umorom materijala, erozijom i kavitacijom i pri tome ona sadrži mehanizam trošenja materijala i mehanizam korozije. Erozijsku koroziju tako uzrokuje istodobno djelovanje erozije i korozije pod utjecajem protoka fluida,

pri čemu turbulencije fluida izazivaju oštećenje na površini metala. Metal će se najviše trošiti na mjestima jače erozije. Djelovanju erozijske korozije posebno su izloženi elementi cjevovoda u kojima intenzitet korozije ovisi o brzini protoka fluida. Također, erozijska korozija može se ubrzati ako se u fluidu nalaze krute čestice (pepeo, talog,...) ili mjehurići plina. Kao posljedica erozijske korozije na unutarnjoj površini cijevi mogu se uočiti jame, pukotine ili valoviti uzorci na površini korodiranog metala s naizmjeničnim udubljenjima, izbočenjima i brazdama. Na koroziju su posebno osjetljivi niskolegirani ugljični čelici zbog svoje karakteristike konvencionalne pasivnosti.⁷⁻⁹ Čelične cijevi parnog kotla korodiraju zbog strujanja vodene pare unutar cijevi. Također, uslijed letenja pepela oko cijevi parnog kotla, ako dođe do istjecanja visokotlačne vodene pare, erozijska korozija može nastati i s vanjske strane cijevi.⁸

1.1. Korozija u parnom kotlu termoelektrane

Elektroenergetska postrojenja proizvode, prenose i distribuiraju električnu energiju. Izrazito su složeni tehničko-tehnološki sustavi radi proizvodnje električne energije koja se ne može skladištiti te razinu proizvodnje definira razina potrošnje. Proizvodnju električne energije omogućuju generatori koji se pokreću energentom ovisno o tipu elektrane: plin, ugljen, voda itd. Tako se elektrane prema izvoru energije dijele na hidroelektrane, termoelektrane, nuklearne elektrane, vjetroelektrane, solarne elektrane i geotermalne elektrane.² U ovom radu se analizira cijev iz parnog kotla termoelektrane koja je korodirala, što je dovelo do loma i zastoja u radu postrojenja. U termoelektranama se električna energija dobiva izgaranjem fosilnih goriva, pretvorbom toplinske energije u električnu energiju. Od energenata se najčešće rabi ugljen. U parnom kotlu voda se zagrijava u pregrijanu vodenu paru koja pokreće parnu turbinu. Za rad su potrebna dva spremnika topli-

* Autor za dopisivanje: doc. dr. sc. Vedrana Špada
e-pošta: vspada@iv.hr

ne s dovoljnom temperaturnom razlikom. Složeni sustavi i elementi koji su izrađeni od metala podložni su koroziji, posebice kotlovi, cjevovodi i rashladni sustavi.⁹ Osim opće korozije te nekih tipičnih vrsta korozije koja se javlja u metalnim konstrukcijama termoelektrane, posebno treba izdvojiti erozijsku koroziju. To je vrsta lokalizirane korozije kod koje, osim trošenja, dolazi i do naglog pucanja materijala stvaranjem brazdi (udubljenja). Erozijska korozija javlja se u cijevima za transport fluida i uzrokovana je gibanjem fluida u cijevi. Na brzinu korozije može utjecati vrsta fluida, vrsta materijala cijevi, brzina protoka fluida, temperatura i tlak fluida.⁷

2. Eksperimentalni dio

2.1. Materijali

Iz termoelektrane je preuzeta legirana čelična cijev s pukotinom uzrokovanom korozijom (slika 1a). Na samom oštećenju (pukotini) napravljen je presjek u svrhu detaljnijeg pregleda, pri kojem je uočeno da je stijenka cijevi stanjena s vanjske strane cijevi, a ne s unutarnje (slika 1b). Na obje strane cijevi uz pukotinu uočena su korozijska oštećenja i korozijski produkti. Na unutarnjoj strani cijevi prisutni su korozijski produkti crvene boje ravnomjerno po čitavoj stijenci. S vanjske strane cijevi mogu se uočiti brazde (udubljenja i izbočenja) ponavljajućeg uzorka i usmjerenja, kao i rubovi pukotine usmjereni prema van vjerojatno nastali naglim puknućem cijevi uslijed stanjenja cijevi i istjecanjem visokotlačne vodene pare.



Slika 1 – a) Korodirana cijev, b) Presjek cijevi na oštećenju
Fig. 1 – a) Corroded pipe, b) Cross-section of the pipe at rupture

Čelične se cijevi izrađene od materijala 15Mo3 u termoelektrani Plomin upotrebljavaju za grijanje ekonomizatora,

pregrijača i grijača visokotlačnog parnog kotla, čiji je radni tlak iznad 9,8 MPa i radna temperatura između 450 i 650 °C. Ta cijev bila je dio sustava za grijanje međupregrijača radne temperature 530 °C i radnog tlaka od 4,5 MPa. Kroz unutrašnjost cijevi prolazila je vodena para koja se pregrijavala u visokotlačnom sustavu pri 535 °C. Termoelektrana Plomin u svojem radu upotrebljava kameni ugljen kao energent, a plinsko ulje samo za paljenje. Dnevno se u TE Plomin potroši oko 1800 t ugljena. Oko cijevi u kotlu leti pepeo. Uslijed korozije ponekad pukne cijev u kotlu, pri čemu čestice pepela dobivaju kinetičku energiju zbog visokotlačne pare koja šiklja iz puknute cijevi. Vrlo brzo, u razmaku od samo nekoliko dana, popuca čitav niz cijevi na kojima se mogu uočiti tragovi “brušenja” kao na cijevi sa slike 1a, koji vjerojatno nastaju uslijed novonastalih uvjeta s fluidima u kotlu. To je druga cijev koja je pukla u nizu te je nakon nje ubrzano puklo još 10-ak cijevi, a svrha je ovog rada istražiti o kojoj se vrsti korozije radilo.

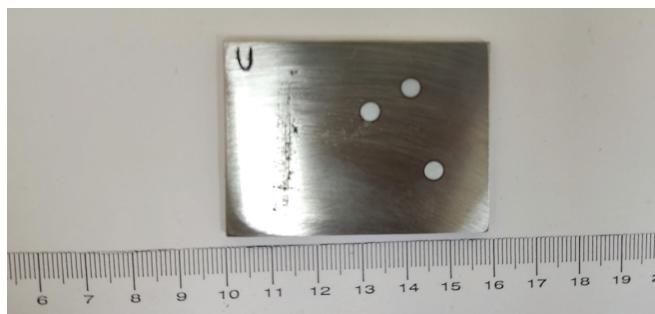
Čelik 15Mo3 se upotrebljava u proizvodnji tlačnih posuda, peći, dijelova parnih kotlova, izmjenjivača topline, sabirnih komora, dijelova kemijske opreme, razdjelnika vrućih plinova, vijaka, prirubnica, matica, zavojnica, kolektora i druge energetske opreme. Pogodan je za zavarivanje. To je vrsta čelika legiranog s nekoliko elemenata, kao što su krom, molibden, silicij, mangan, nikal, vanadij i bor. Ti se elementi dodaju da bi se povećala njegova tvrdoća, čvrstoća, otpornost na trošenje i žilavost. Količine legirajućih elemenata mogu varirati između 1 i 50 %. Zbog sadržaja kroma i molibdena u materijalima, ploče od legiranog čelika 15Mo3 imaju izvrsnu otpornost na toplinu i otpornost na koroziju.^{9–11}

2.2. Metode

Ispitivanja puknute cijevi parnog kotla TE Plomin odrađena su u Centru za istraživanje METRIS Istarskog veleučilišta, akreditiranom ispitnom laboratoriju, prema HRN EN ISO/IEC 17025. Analize su odrađene u sklopu izrade završnog rada Zvezdane Veljin na temu Istraživanje korozije u elektroenergetskom postrojenju.⁹

2.1.1 Ispitivanje kemijskog sastava

Kemijski sastav materijala od kojeg je izrađen uzorak cijevi parnog kotla TE Plomin u svrhu usporedbe s certifikatom materijala ispitan je pomoću optičkog emisijskog spektrometra (GDS) LECO GDS 500A. Postupak se provodi primjenjujući metodu pobude uzorka tinjajućim izbojem u inertnoj atmosferi argona. GDS se zagrijava materijalom sličnog kemijskog sastava, potom se kalibrira metoda, u ovom slučaju za niskolegirane čelike te slijedi ispitivanje etalona za kontrolu točnosti uređaja. Provedena su tri mjerenja kemijskog sastava u svrhu kontrole kvalitete. Prije ispitivanja površina uzorka mora se pripremiti ravnanjem i vodenim brušenjem. Nakon ispitivanja kemijskog sastava na uzorku ostanu vidljivi otisci mjerenja (slika 2).



Slika 2 – Uzorak cijevi nakon provedene analize kemijskog sastava GDS metodom

Fig. 2 – Photo of the sample after GDS analysis of chemical composition

2.2.2 Mikroskopska ispitivanja

Za mikroskopska ispitivanja puknute cijevi parnog kotla TE Plomin uzorci su pripremljeni pomoću LECO stroja za precizno rezanje i STRUERS LABOPOL uređaja za precizno brušenje i poliranje uzoraka. Površina cijevi snimljena je optičkim stereomikroskopom SZX10 OLYMPUS. Mikrostruktura je pregledana pomoću optičkog mikroskopa OLYMPUS BX51. Skenirajućim elektronskim mikroskopom (SEM) FEI QUANTA 250 FEG opremljenim detektorom za energijsko-disperzijsku spektroskopiju (EDS) OXFORD PENTAFET ispitan je izgled i kemijski sastav korozijskih produkata na površini uzorka uz samu pukotinu, s unutarnje i vanjske strane cijevi. SEM mikrosnimak površine vodljivih čvrstih materijala provodi se u visokom vakuumu pomoću detektora sekundarnih elektrona koji prikazuje morfologiju površine uzorka, dok EDS detektor prikazuje razliku u kemijskom sastavu. EDS mikroanalizom dobiva se kemijski sastav površine ispitivanih uzoraka u točki ili polju, odnosno obojenom mapom se pojedinom kemijskom elementu dodjeljuje boja te se jasno vidi raspodjela pojedinih elemenata po površini uzorka kao i njihov maseni udio.

2.2.3 Ispitivanje tvrdoće prema Vickersu

Na materijalu cijevi parnog kotla TE Plomin određeno je i ispitivanje tvrdoće, prema Vickersu, unutarnje i vanjske strane cijevi pomoću tvrdomjera STRUERS DURAMIN 2. Provedeno je pet mjerenja s vanjske i unutarnje strane cijevi. Instrument se provjerava certificiranim referentnim materijalima prije ispitivanja samog uzorka. Uzorci su pripremljeni za ispitivanje tvrdoće kalupljenjem u poliestersku smolu, rezanjem pomoću LECO stroja za precizno rezanje i poliranjem pomoću STRUERS LABOPOL uređaja za precizno brušenje i poliranje uzoraka.

2.2.4 FT-IR analiza

Infracrvenom spektroskopijom s Fourierovom transformacijom (FT-IR) identificiraju se sastavnice uzorka analizom apsorpcijskih ili emisijskih spektara infracrvenog zračenja. Spektroskopija metodom izrade KBr pastile izvršena je pomoću BRUKER TENSOR 27 FT-IR spektrometra. Ispitan je kemijski sastav korozijskih produkata. Spektri dobiveni FT-

IR analizom su rezultati srednje vrijednosti 64 snimljena spektra za svaki uzorak. Rezolucija snimanja je 4 cm^{-1} .

3. Rezultati i rasprava

Kotlovski čelici su kao materijal otporni na radnu temperaturu do $550\text{ }^{\circ}\text{C}$. Jedan je od takvih i 15Mo3. U ovom radu napravljena je kontrola kemijskog sastava dobivenog korodiranog uzorka iz TE Plomin u svrhu usporedbe s certifikatom da bi se otklonio eventualan uzrok korozije u samoj nesukladnosti materijala. Usporedba izmjenjenog kemijskog sastava i onog deklariranog prikazana je u tablici 1.

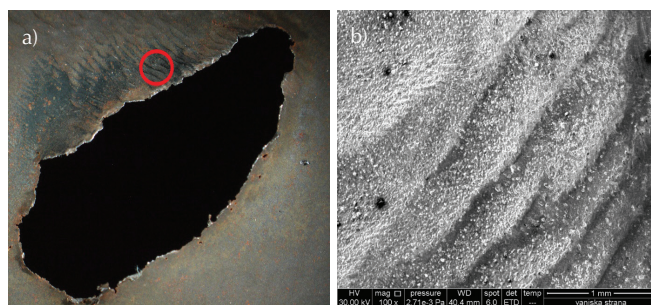
Tablica 1 – Usporedba kemijskog sastava s certifikatom¹²

Table 1 – Comparison of chemical composition with certificate¹²

Kemijski element	Maseni udio (mjerjenja)/%	Maseni udio (certifikat)/%
C	0,176	0,12 – 0,2
Mn	0,688	0,4 – 0,9
Si	0,220	0 – 0,35
P	0,008	0 – 0,025
S	0,002	0 – 0,01
Mo	0,294	0,25 – 0,35
Ni	0,170	0 – 0,3
Cr	0,147	0 – 0,3
Cu	0,023	0 – 0,3

Materijal od kojeg je načinjena ispitivana cijev je niskolegirani ugljični čelik i prema kemijskom sastavu sukladan je certifikatu za deklarirani materijal 15Mo3.^{10,11}

Tragovi trošenja materijala cijevi u blizini pukotine (slika 3a) na uzorku cijevi snimljeni su SEM-om (slika 3b). Na SEM mikrosnimku može se uočiti uzorak ponavljajućih udubljenja i izbočenja karakterističan za erozijsku koroziju.

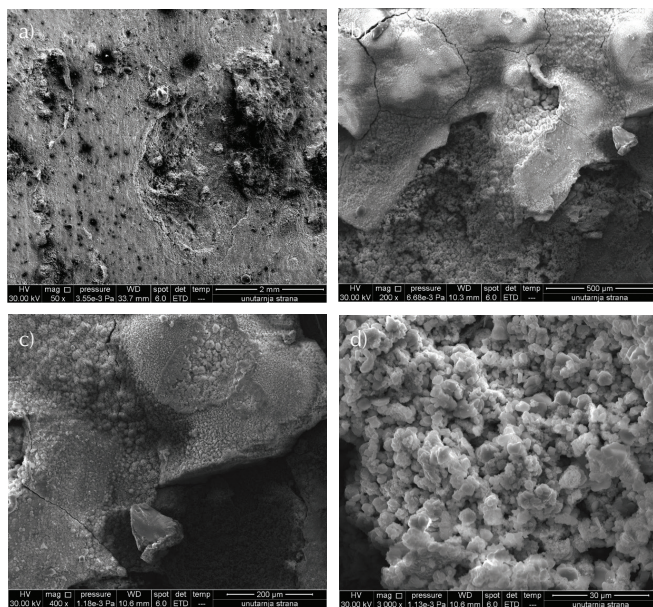


Slika 3 – a) Pozicija snimanja SEM-a, b) SEM mikrosnimak vanjske površine cijevi neposredno uz pukotinu

Fig. 3 – a) Position of SEM analysis, b) SEM micrograph of the outer pipe surface next to the rupture

ju.^{13,14} Mikroskopska analiza pokazala je izgled površine cijevi na kojoj se vide razne brazde uzrokovane korozijskim djelovanjem na vanjskoj strani cijevi.

Na SEM mikrosnimcima (slika 4) prikazan je izgled korozijskih produkata na unutarnjoj strani cijevi neposredno uz pukotinu. Cilj je bio i utvrditi izgled i dimenzije, posebno dubinu korozijskih oštećenja s unutarnje strane cijevi, da bi se moglo procijeniti treba li uzrok puknuća cijevi iz ovog rada tražiti s unutarnje ili vanjske strane cijevi.



Slika 4 – SEM mikrosnimci korozijskih produkata na unutarnjoj strani cijevi pri uvećanjima: a) 50×, b) 200×, c) 400× i d) 3000×

Fig. 4 – SEM micrographs of corrosion on inside area of the pipe at magnification of: a) 50×, b) 200×, c) 400×, and d) 3000×

Snimci (slika 4) pokazuju produkte korozije u naslagama jednake dubine te korozijska oštećenja koja bi s vremenom mogla napredovati i do stanjenja stjenke cijevi u toj mjeri da dođe i do puknuća. Konkretno, kod uzorka te cijevi lom nije uzrokovan korozijom s unutarnje strane cijevi, što je razvidno već iz samog promatranja pukotine u tlocrtu i u presjeku (slike 1a i 1b), gdje se jasno može uočiti da je cijev stanjena s vanjske strane u mnogo značajnijoj mjeri nego s unutarnje. U konkretnom slučaju, tj. u ovom radu utvrđeno je da je oštećenje uzrokovano trošenjem s vanjske strane cijevi, budući da fluid (pepeo i vodena para) struji oko cijevi i "troši" vanjsku površinu temeljem erozijom uzrokovane korozije.^{13,14}

Rezultati EDS analize kemijskog sastava tih produkata korozije dani su u tablici 2.

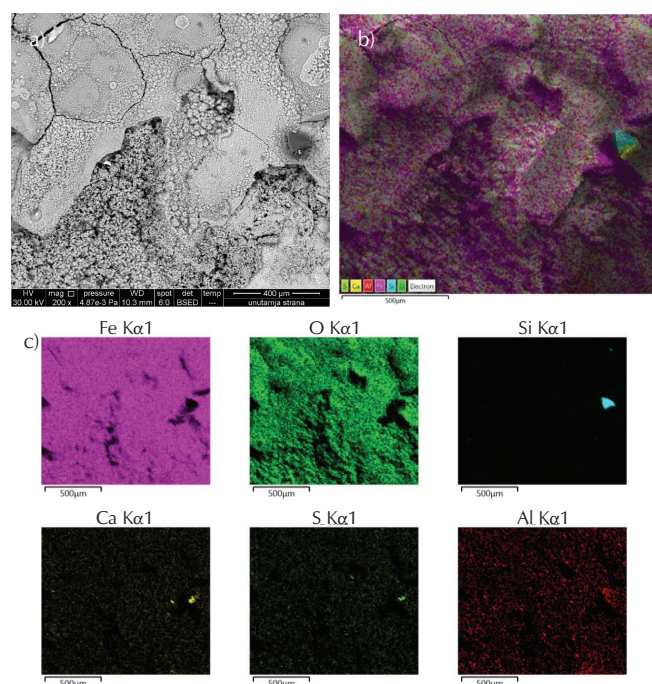
Rezultat ispitivanja kemijskog sastava korozijskih produkata na unutarnjoj strani cijevi prikazan je i na parcijalnim obojenim mapama (slika 5) dobivenih EDS analizom. Obojenim se mapama dobivenim EDS analizom prikazuje raspored kemijskih elemenata na površini unutarnje strane

Tablica 2 – Kemijski sastav korozijskih produkata na unutarnjoj strani cijevi dobiven EDS mikroanalizom

Table 2 – EDS chemical composition of corrosion products inside the pipe sample

Kemijski element	Maseni udio / %	Standardna devijacija / %
Fe	70,45	0,39
O	27,11	0,38
Cu	2,06	0,13
Si	0,37	0,08

cijevi, gdje se nalazi crvena naslaga korozije. Na području sa slike 5a provedena je EDS analiza kemijskog sastava te su rezultati prikazani zbirnim i parcijalnim obojenim mapama na slikama 5b i 5c.



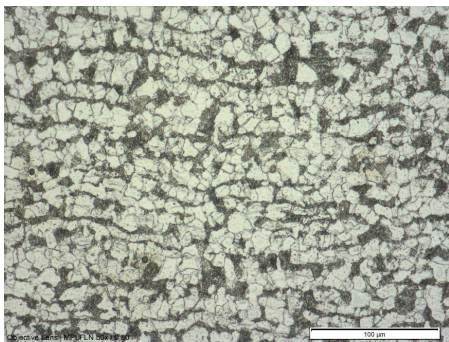
Slika 5 – a) SEM mikrosnimak unutarnje površine cijevi na kojoj je provedena EDS analiza, b) zbirna mapa raspodjele kemijskih elemenata na površini, c) parcijalne mape kemijskog sastava pojedinih elemenata

Fig. 5 – SEM micrograph of inner pipe surface with EDS analysis, b) map of element distribution, b) partial map of chemical composition

Za unutarnju koroziju cijevi, koja nije predmet u ovom radu, trebalo bi svakako detaljnije proučiti porijeklo bakra u korozijskim produktima s obzirom na to da bakar može biti odgovoran za koroziju ugljičnih čelika te za pojavu mikrobiološke korozije.¹⁵

Na uzorku puknute cijevi TE Plomin ispitana je i mikrostruktura. Nakon hladnog rezanja, kalupljenja, brušenje i poliranja uzorak cijevi nagrižen je otopinom nitala (5 ml

etanola i 0,15 ml nitritne kiseline) u trajanju 45 s za metalografsku analizu.



Slika 6 – Mikrostruktura vanjske površine cijevi
Fig. 6 – Microstructure of the pipe outer surface

Mikrostruktura vanjske površine cijevi (slika 6) pokazuje primarne α -kristale, sitnozrnata istoosna poligonalna zrna ferita (bijelo), fino lamelarni oblik perlita te iverasto-lamelarni perlit (crno). Na slici dobivenoj metalografskim mikroskopom može se uočiti homogenost zrna te predstavlja mikrostrukturnu građu normaliziranog čelika s 0,18% ugljika.¹⁶

Na uzorku cijevi ispitana je tvrdoća prema Vickersu prema normi HRN EN ISO 6507 – 1:2018. Tvrdoća vanjske strane cijevi iznosi 157,0 HV, a unutarnje strane 168,4 HV. Razlika u tvrdoći može se pripisati uvjetima visoke temperature i toplinskim promjenama mikrostrukture cijevi u eksploataciji. Na uzorku su vidljivi otisci mjerenja tvrdoće (slika 7).



Slika 7 – Uzorak cijevi nakon provedenih ispitivanja tvrdoće prema Vickersu
Fig. 7 – Sample of the pipe after Vickers testing

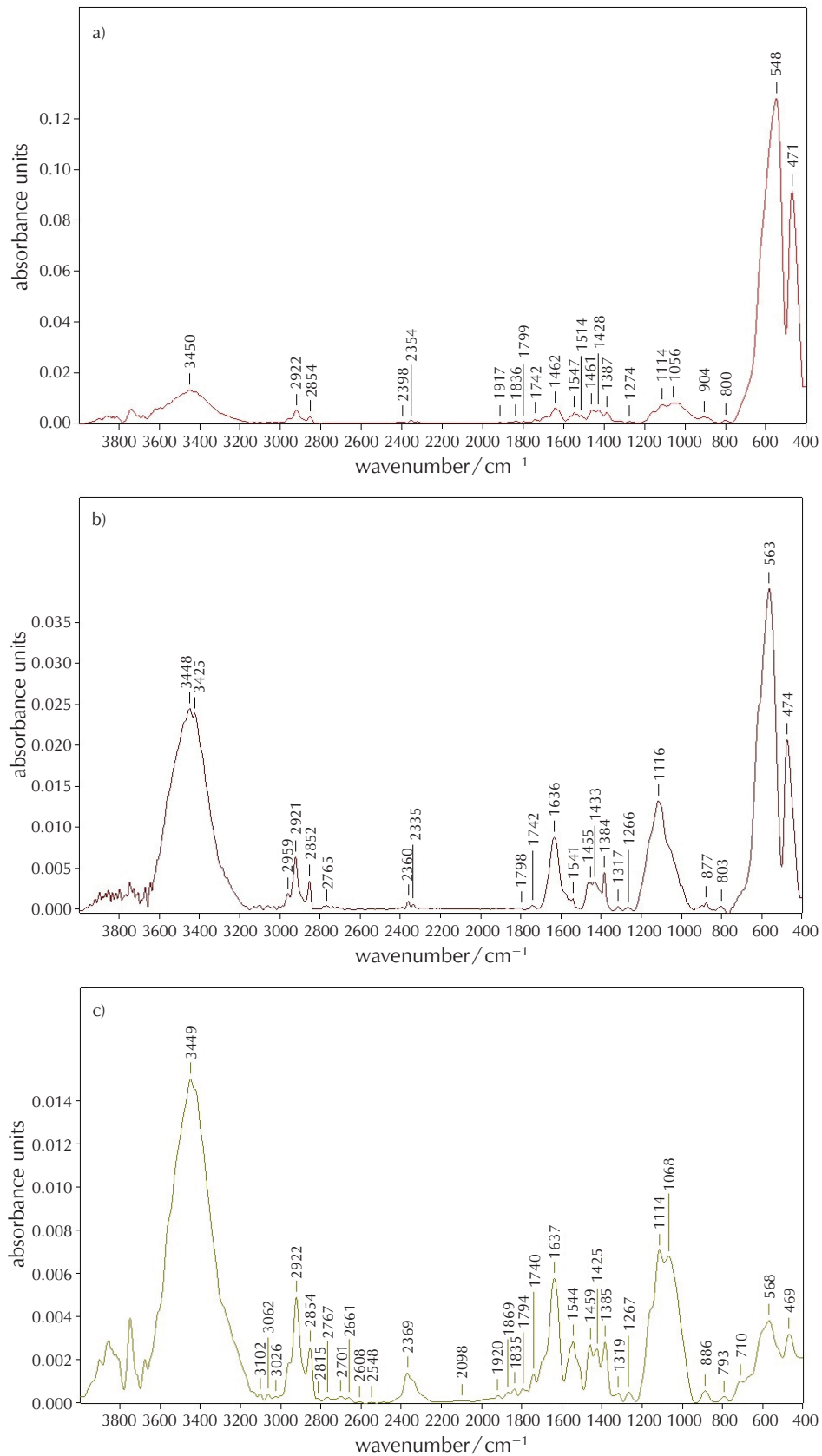
FT-IR analizom analizirano je oko 3 mg strugotina korozivskih produkata s tri pozicije na puknutoj cijevi iz parnog kotla TE Plomin. Izrađene su tri pastile kalijeva bromida. Prvi uzorak je crveni korozivski produkt na unutarnjoj strani uzorka cijevi. Drugi je naslaga neposredno uz pukotinu, a treći je korozivski produkt s vanjske strane cijevi. Nakon izrade, pastile su sušene na 60 °C da bi se uklonila suvišna vlaga kroz 24 h. Vrijednosti dobivenih vrpce označene su na spektrima (slika 8a–c).

FT-IR analizom dokazano je kako u svakom od korozivskih produkata ima najviše kemijskih spojeva željezova(III) oksida, alumosilikata i nitrata.

4. Zaključak

Kemijska ispitivanja provedena na čeličnoj cijevi iz parnog kotla TE Plomin pokazala su da se radi o ugljičnom čeliku koji prema kemijskom sastavu odgovara specifikacijama materijala 15Mo3. FTIR analiza dokazala je prisutnost korozivskih produkata na cijevi i s unutarnje i s vanjske strane. Mikroskopskim je ispitivanjem vidljivo da su brazde i udubljenja na uzorku posljedica erozijske korozije te se može uočiti uzorak trošenja gibanjem fluida i čestica. Ispitana cijev je druga u nizu koja je pukla vrlo brzo nakon oštećenja prve cijevi. Druga cijev je puknula unutar 48 h nakon prve cijevi, jer se analizirana cijev u parnom kotlu termoelektre po položaju nalazi iznad pukotine prve cijevi. Dimni plinovi koji su puni pepela, time i silicija, dobili su dodatnu kinetičku energiju, a zatim se erozijom „brusila“ površina ostalih cijevi, što je brz i vrlo agresivan proces koji posljedično propagira puknuće i više cijevi u nizu. Svakako bi bilo od interesa istražiti i uzrok puknuća prve cijevi.

Prema svim rezultatima, a najviše temeljem poznavanja samog procesa u parnom kotlu, uvjeta kojima je izložen i okoliša analiziranog uzorka te temeljem rezultata gdje svakako treba izdvojiti SEM analizu i mikroskopsku analizu vanjske površine cijevi s tipično izraženim tragovima trošenja, može se zaključiti da rezultati upućuju na erozijom uzrokovanu koroziju. S unutarnje strane cijevi prisutna je opća korozija, međutim nije izraženo stanjivanje presjeka, a nisu uočene ni jamice te je u konkretnom slučaju iz ovog rada isključena korozija s unutarnje strane cijevi kao uzrok puknuća ispitane cijevi. Kao predmet daljnjih istraživanja moglo bi se usredotočiti na koroziju s unutarnje strane cijevi, jer je korozija unutar cijevi parnog kotla uzrok puknuća prve cijevi u nizu. Vrlo bi važno bilo ispitati porijeklo bakra u cijevima (bakar je detektiran EDS analizom korozivskih produkata unutar cijevi).



Slika 8 – Rezultati FT-IR analize: a) crvenih koruzijskih produkata na unutarnjoj strani cijevi, b) koruzijskih produkata oko same pukotine i c) koruzijskih produkata s vanjske strane cijevi
 Fig. 8 – Results of FT-IR analysis of: a) of red corrosion products inside the pipe, b) corrosion products at the rupture, and c) corrosion products on outside surface of the pipe

ZAHVALA

Zahvaljujemo se djelatnicima laboratorija Centra za istraživanje METRIS Istarskog veleučilišta za pomoć pri provedbi eksperimenata.

Popis kratica

List of abbreviations

- SEM – skenirajući elektronski mikroskop
– scanning electron microscope
- EDS – energijsko-disperzijska spektroskopija
– energy dispersive spectroscopy
- FT-IR – infracrvena spektroskopija s Fourierovom transformacijom
– infrared spectroscopy with Fourier transformation
- GDS – optički emisijski spektrometar
– glow discharge source optical emission spectrometer

Literatura

References

1. HRN EN ISO 8044, Korozija i zaštita metala i legura – Osnovni nazivi i definicije (ISO 8044:2015; EN ISO 8044:2015).
2. URL: <https://www.enciklopedija.hr> (1. 9. 2022.).
3. ASM International: *ASM Handbook*, Corrosion: Fundamentals, Testing and Protection, Vol. **13A**, 2003.
4. F. Habashi, History of corrosion research, CIM Bulletin, Laval University, 2003., Quebec City, Kanada.
5. M. Safiuddin, Occurrences of corrosion: causes and preven-

- tion, BRAC University Journal, (2006) Waterloo, Kanada.
6. HILTI, *Corrosion Handbook*, 2015., Schaan, Lihtenštajn.
 7. I. Juraga i sur., Korozija i metode zaštite od korozije, interna skripta, Sveučilište u Zagrebu, FSB, 2007., Zagreb.
 8. V. Alar, Kemijska postojanost metala, autorizirana predavanja kolegija Kemijska postojanost materijala, Sveučilište u Zagrebu, FSB, 2015., Zagreb.
 9. Z. Veljin, Istraživanje korozije u elektroenergetskom postrojenju, završni rad, Tehnički fakultet Sveučilišta Jurja Dobrića u Puli, 2022., Pula.
 10. A. Venci, B. Ivljanin, M. Dojčinović, Testing of the mechanical properties for 15Mo3 steel, Proceedings of the 3rd Youth Symposium on Experimental Solid Mechanics, 2004., Portofino Terme, Italija.
 11. L. Krumm, M. C. Galetz, Corrosion of 15Mo3 carbon steel superheater tubes in waste incineration plants: A comparison between a field-returned tube and laboratory tests, *Mat. Corr.* **71** (2019) 1–12, doi: <https://doi.org/10.1002/maco.201911091>.
 12. URL: <http://bbnsteelplate.com/steel-plate/DIN/15Mo3-steel-plate-under-DIN-17155.html> (27. 9. 2023.).
 13. B. Kužnicka, Erosion–corrosion of heat exchanger tubes, *Engin. Fail. Anal.* **16** (2009) 2382–2387, doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2009.03.026>.
 14. M. Schorr, B. Valdez, and J. D. Ocampo, Erosion Corrosion in Industrial Steam Turbines, *Mat. Perfor.* **48** (2009) 2–5.
 15. W.B. Beech, J. Sunner, Biocorrosion: Towards understanding interactions between biofilms and metals, *Curr. Opin. Biotechnol.* **15** (2004) 181–186, doi: <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2004.05.001>.
 16. ASM International: *ASM Handbook*, Metallography and Microstructure, Vol. **9**, 2003.

SUMMARY

Corrosion Analysis of the 15Mo3 Steel Pipes in the Steam Heater of the Plomin Thermal Power Plant

Zvezdana Veljin,^a Vedrana Špada,^{b*} Jakov Batelić,^a and Ivan Pentek^b

This paper presents the investigation of corrosion of 15Mo3 pipe in the steam heater system of the Plomin thermal power plant. Corrosion damage led to a rupture in the system as well as delays. Therefore it was necessary to determine the type and the cause of the corrosion. Corrosion is classified according to three factors: the mechanism, the specificity of its occurrence, and the form of the corrosion attack. Power plants are explained with an emphasis on thermal power plants, along with an analysis of the sample and system in which the damage occurred. The results of the investigation of corrosion products on the pipe and the rupture itself are presented. Chemical analysis, microscopic research with light and electron microscopy, hardness tests according to Vickers, and analysis with FT-IR spectroscopy were carried out. Erosion corrosion was proven to be the cause of the failure in a specific example.

Keywords

Thermal power plant, corrosion, erosion corrosion, 15Mo3 steel, SEM/EDS analysis

^aJuraj Dobrića University, Faculty of Engineering, Zagrebačka 30, 52 100 Pula, Croatia

^bIstrian University of Applied Sciences, Riva 6, 52 100 Pula, Croatia

Professional paper
Received November 21, 2022
Accepted February 1, 2023