

NEBOJŠA GRAHOVAC\*, ZORAN MIŠKOVIĆ\*  
SONJA VIDOJKOVIĆ\*\*

Originalni naučni rad  
UDC:620.193.4-462:620.92.621.311.2.4=861

## Uticaj korozije cevi na pouzdanost rada termoenergetskog postrojenja

*Prikazani su rezultati ispitivanja korozije cevi i sastava korozionih naslaga na cevima i delovima jednog termoenergetskog postrojenja. Vršena je rendgenostrukturalna analiza. Uzorci su zatim posmatrani na svetlosnom mikroskopu, a slikanje uzoraka vršeno je digitalnom kamerom. Na digitalnim mikrofotografijama merena je debljina korozionog sloja. Na osnovu rezultata ispitivanja korozije ukazano je kako korozija utiče na pouzdanost rada postrojenja, kao i to kako ovim rezultatima uticati na upravljanje pouzdanosti postrojenja.*

**Ključne reči:** korozija, pouzdanost rada

### 1. UVOD

Pouzdanost termoenergetskog postrojenja zavisi od stanja u kome su cevi pojedinih delova postrojenja. U toku rada postrojenja, cevi su pretrpele koroziju koja je uglavnom rezultat vodno-hemijskog režima postrojenja.

Polazeći od materijala cevi i sastava korozionih produkata na cevima moguće je uticati povratnom spregom na vodno-hemijski režim postrojenja u cilju eliminisanja korozije kao glavnog uzročnika oštećenja ili pucanja cevi. Na ovaj način mi možemo upravljati pouzdanošću rada postrojenja gde su kao izlazne veličine sastav produkta korozije (korozione naslage) koje zajedno sa ulaznom veličinom (vodno-hemijski režim) povratnom spregom ulaze u sistem kojim upravljamo (termoenergetsko postrojenje).

U ovom radu dat je prikaz karakterističnih tipova korozije sa cevi termoenergetskog postrojenja.

Cilj ovoga ispitivanja je bio da se uoče promene na kotlovskim cevima, kako na unutrašnjim površinama cevi, tako i u materijalu zida cevi i da se na osnovu ovih promena utiče na vodno-hemijski režim postrojenja.

Cevi su uglavnom čelične (st.45.8 i 14CrMoV63) i napravljeno je ukupno 39 uzoraka sa karakterističnih delova postrojenja. U radu su prikazani rezultati sa tri karakteristična uzorka, kod kojih se pojavljuju tipovi korozije koji prevladavaju i kod drugih uzoraka.

Postupak ispitivanja kotlovskih cevi obuhvatio je vizuelni pregled kotlovskih cevi, određivanje količine unutrašnjih naslaga cevi i njihovu vrstu, kao i promenu mikrostrukture materijala cevi.

Adresa autora: \*Institut "Vinča", P.fah 522, 11001 Beograd, \*\*Termoelektrana "Nikola Tesla", Obrenovac, Bogoljuba Uroševića Crnog b.b.

### 2. EKSPERIMENTALNI DEO

Kotlovske cevi su sa postrojenja isečene brusilicom i obeležene. Cevi su dalje isečene po dužini SiC abrazivnim diskom uz hlađenje vodom da bi se uočila unutrašnja površina cevi, odnosno izvršio vizuelni pregled, što je dokumentovano digitalnim foto aparatom. Iz cevi su dalje isečeni manji uzorci, takođe SiC diskom, uz hlađenje vodom. Sa polovine manjih uzoraka čeličnim sečivom su sastrugane naslage. Količina naslaga je merena na analitičkoj vagi (tačnosti 0,1mg i deljenjem sa površinom sa koje su naslage sastrugane dobijena je specifična količina unutrašnjih naslaga. Na sastruganim naslagama je izvršena rendgenostrukturalna analiza, da bi se odredile vrste korozivnih naslaga. Rendgenostrukturalna analiza je izvršena na difraktometru Philips 1050 u opsegu uglova  $2\theta$  od 20 do 80°.

Uzorci cevi za mikrostrukturnu analizu su prvo zatopljeni u hladno polimerizujućem meta akrilatu, a zatim brušeni na SiC papirima finoće od 80 do 1000 uz hlađenje vodom. Uzorci su potom polirani dijamantskom pastom finoće od 10-5 $\mu$ m i 2-0 $\mu$ m. Uzorci cevi su zatim posmatrani na Zeiss Axioplan svetlosnom mikroskopu pri različitim uveličanjima. Uzorci cevi su posmatrani u prepolaranom stanju i posle hemijskog nagrizanja u rastvoru od 2% HNO<sub>3</sub> u etil alkoholu, radi otkrivanja mikrostrukture materijala cevi. Slikanje uzoraka vršeno je digitalnom kamerom. Posmatran je ceo poprečni presek cevi. Na digitalnim mikrofotografijama je merena debljina korozionog sloja. Merenje je vršeno na 10 mesta po obimu cevi, po normalni na unutrašnju površinu cevi. Za merenje je korišćen Zeissov program za obradu i analizu slike - Zeiss Axio Vision. Tačnost merenja je iznosila 0,2 $\mu$ m. Takođe je izvršeno merenje dubine korozionih oštećenja u materijalu cevi korišćenjem istog programa.

## 3. REZULTATI ISPITIVANJA

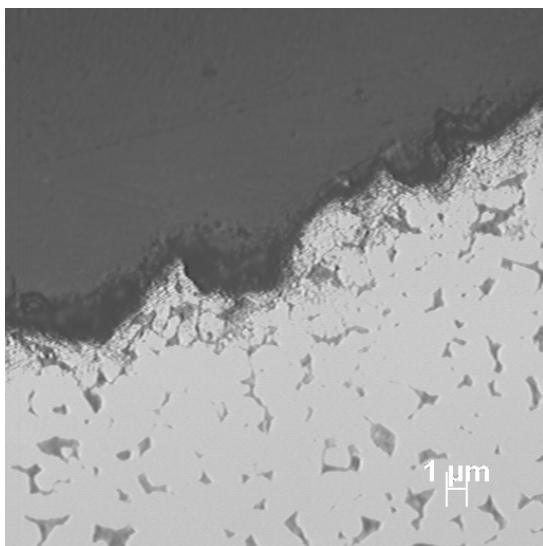
Od ukupno 39 uzoraka izdvojeni su uzorci 2, 3 i 5 kao reprezentativni.

Izgled unutrašnjih naslaga kod uzorka 2 prikazan je na slici 1.



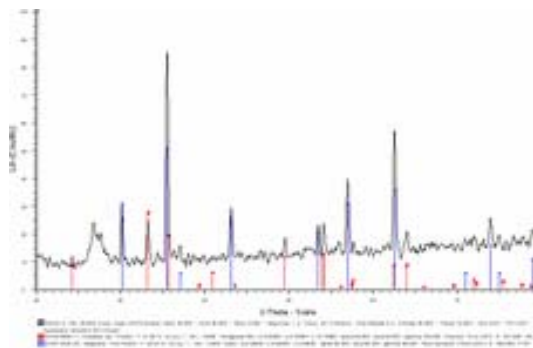
Slika 1 - Unutrašnje naslage na uzorku 2

Naslage su na ovom uzorku prisutne u količini od 2,29 mg/cm<sup>2</sup>. Slika 2 prikazuje mikrostrukturu poprečnog preseka zida cevi.



Slika 2 - Mikrostruktura uzorka 2

Sa slike 2 se vidi da je korozioni sloj relativno tanak tj. između 13 i 25 μm. Na mikrofotografiji se vidi presek jamica korozije što ukazuje i na mehanizam koji ih je izazvao. Difraktogram ovoga uzorka, sl.3, pokazuje da su proizvodi korozije Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Slika 2 pokazuje da je struktura materijala cevi feritno-perlitna. U strukturi se ne zapažaju oštećenja.



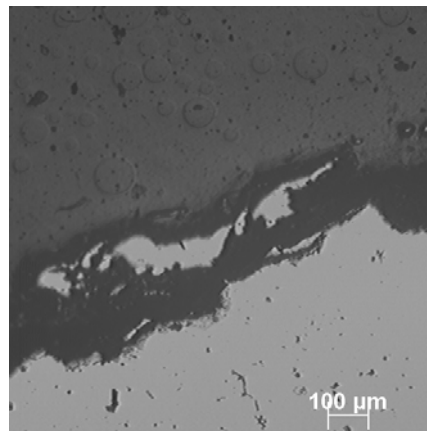
Slika 3 - Difraktogram uzorka 2

Izgled naslaga na unutrašnjoj površini uzorka 3 prikazan je na slici 4. Na slici se zapažaju pore u naslagi. Korozioni proizvodi su prisutni u količini od 6,01 mg/cm<sup>2</sup>. Slika 5 prikazuje mikrofotografije ovoga uzorka.

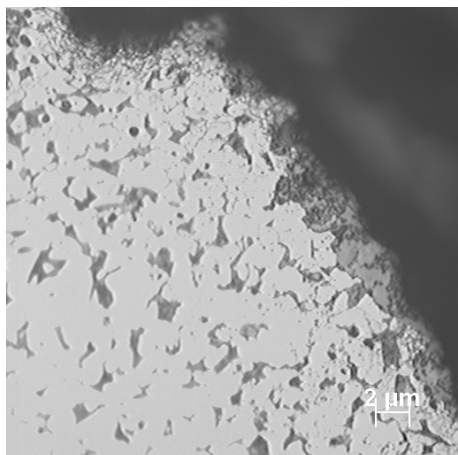


Slika 4 - Naslage na uzorku 3

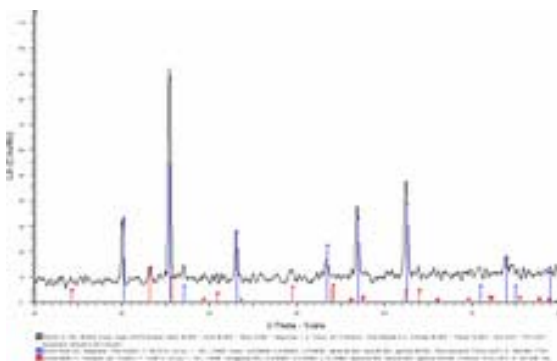
Na slici 5 se vidi da je sloj promenljive debljine od 30-160 μm. Takođe se vidi da dolazi do odvajanja materijala cevi paralelno površini zida cevi što ukazuje na dejstvo naponske korozije. Slika 5b pokazuje da je struktura materijala cevi feritno-perlitna. Difraktogram ovoga uzorka slika 6 pokazuje da korozione proizvode čine Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>.



Slika 5a - Izgled sloja u preseku



Slika 5b - Mikrostruktura uzorka 3



Slika 6 - Difraktogram uzorka 3

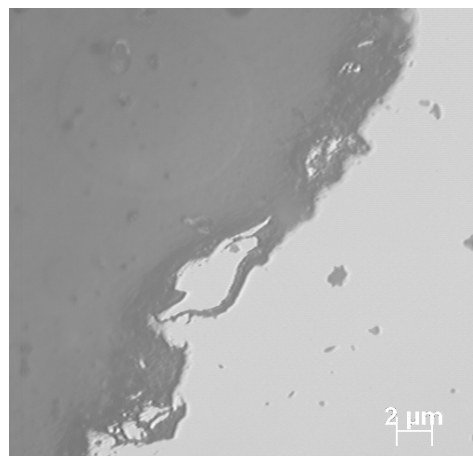
Slika 7 prikazuje izgled naslaga na uzorku 5. Debljina korozionog sloja merena je na mikrofotografijama prikazanim na slici 8.



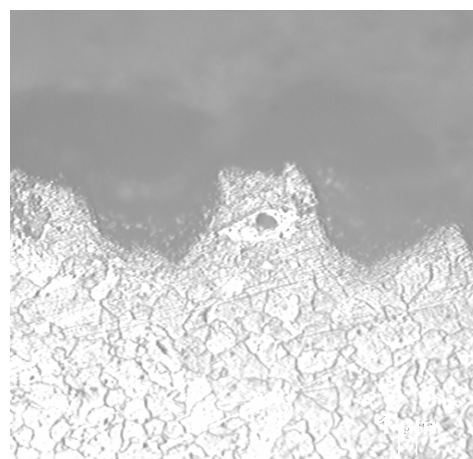
Slika 7 - Unutrašnje naslage uzorka 5

Debljina korozionog sloja iznosi od 22 do 98 μm. Na mikrofotografijama se zapažaju prskotine koje su paralelne površine cevi što ukazuje na to da su nastale kao posledica naponske korozije. Takođe se zapaža da je došlo do promena u mikrostrukturi materijala cevi - uz unutrašnju površinu cevi struktura mate-

rijala je feritna. Ovo je posledica dekarburizacije materijala do koje je došlo kao posledica lokalnog pregrevanja materijala cevi. Ovo dalje ima za posledicu pad mehaničkih osobina cevi i smanjenu korozionu postojanost cevi. Korozione naslage takođe čine  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  i  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .



Slika 8a. - Izgled sloja



Slika 8b - Mikrostruktura cevi

### 3.1. Diskusija rezultata

Kod ispitivanih delova termoenergetskog postrojenja tj. kod kotlovskih cevi uočene su promene koje su se javile na cevima u toku njihovog rada/veka u postrojenju. Ove promene se ogledaju u obrazovanju korozivnih naslaga na unutrašnjim zidovima cevi kao i u pojavi promena i grešaka u materijalu zida cevi. Obrazovane naslage su uglavnom smeša  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  i  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Na osnovu izgleda korozivnih oštećenja vidi se da su ona nastala kao posledica dejstava ili jamičaste korozije ili naponske korozije ili kombinovanim dejstvom ove dve vrste korozije, što je dato u rezultatima ovoga ispitivanja. U slučaju ispitivanih cevi kod kojih su uočene prskotine nastale

kao posledica naponske korozije, očigledno je da dalji rad ovih cevi u postrojenju vodi rastu ovih prskotina odnosno lomu ovih cevi. Kod izvesnog broja ispitivanih cevi uočeno je da je došlo do lokalnog pregrevanja ovih cevi što se ogleda u postojanju feritnog-dekarburisanog sloja u unutrašnjem zidu cevi. Ova pojava ima za posledicu smanjene mehaničke osobine kao i manju korozionu postojanost ovih cevi.

#### 4. ZAKLJUČAK

1. Kod ispitivanih i predstavljenih uzoraka prevladava jamičasta i naponska korozija cevi, a obrazovane naslage su uglavnom smeša  $Fe_2O_3$  i  $Fe_3O_4$ .
2. Kod cevi kod kojih su se pojavile prskotine kao posledica naponske korozije, postoji opasnost od rasta prskotina i loma cevi.
3. Kod izvesnog broja cevi došlo je do lokalnog

pregrevanja što ima za posledicu feritni-dekarburisani sloj u unutrašnjem zidu cevi.

4. Rezultati ispitivanja korozije cevi preko povratne sprege utiču na vodno-hemijski režim postrojenja kao ulaznu veličinu sistema upravljanja pouzdanošću rada postrojenja.

#### LITERATURA

- [1] Metals Handbook, vol.10. Failure analysis and prevention ASM, metals park, Ohio, 1975.
- [2] E. A. Uljanin, Struktura korozija metalov i splavov, Atlas, Moskva, 1989.
- [3] E. A. Uljanin, Korrozion nastojnije stali i splovy, Moskva, Metalurgija 1999.

#### ABSTRACT

##### THE EFFECT OF PIPE CORROSION UPON THE RELIABILITY OF A THERMAL POWER PLANT

*The results of an investigation of the corrosion and corrosion products on the pipes of an thermal power plant are presented. X-ray diffraction analysis was done. Samples of the pipes were observed on a light microscope and photographed with a digital camera. The thickness of the corrosion layer was measured on the digital photographs. Based on these results it was shown how corrosion effects the reliability of the power plant and how to use these results to manage the reliability of the power plant.*

**Key words:** korrosion, reliability