

METODOLOGIJA UTVRĐIVANJA UZROKA POJAVE KOROZIONIH OŠTEĆENJA U PROCESNOJ INDUSTRIJI

METHODOLOGY FOR DETERMINATION OF CORROSION DAMAGES ROOT CAUSES IN PROCESS ENGINEERING

mr Miloš Đukić¹, mr Gordana Bakić¹,
Prof. dr Vera Šijački Žeravčić¹, dr Biljana Anđelić² van. prof.
¹Mašinski fakultet, Beograd, 27. marta 80, ²Tehnički fakultet,
Čačak, Svetog Save 65,



REZIME

Korozija, kao nepovratan oblik razaranja materijala, predstavlja veliki problem kod postrojenja procesne industrije, kako sa aspekta obezbeđivanja njihove pouzdane eksploatacije, tako i sa ekonomskog aspekta. U ovom radu je prikazana metodologija proučavanja korozionih fenomena i date su smernice za primenu analitičke dijagnostike – multidisciplinarnih metode za analizu i utvrđivanje uzroka korozionih oštećenja.

1. UVOD

Poznato je da se neplanirani otkazi i duži zastoji u radu, kod gotovo svih industrijskih postrojenja, javljaju u različitoj meri tokom eksploatacionog veka postrojenja. Tehno – ekonomski efekti otkaza i zastoja zavise od tehničko -tehnoloških specifičnosti samog postrojenja, pri čemu havarijska oštećenja opreme u procesnoj industriji predstavljaju veliki problem sa bezbednosnog aspekta i aspekta zagađenja okoline. Ako se ima u vidu da su radni fluidi koji se koriste u različitim tehnološkim procesima vrlo često koroziono agresivni, odnosno da su komponente postrojenja procesne industrije najčešće izložene dejstvu jednog ili više korozionih agenasa, prevencija pojave razvoja različitih vidova korozionih mehanizama, posebno metalnih materijala, poprima izuzetan značaj.

Saznanje o tome koji je korozioni proces ili bilo koji drugi proces prouzrokovao otkaz vrlo malo znači sa eksploatacionog stanovišta ako ne postoje informacije o uzrocima njegovog razvoja. Metodološki pristup u proučavanju korozionih fenomena nalazi svoju primenu i dolazi do punog izražaja upravo u domenu iznalaženja stvarnih uzroka i neophodnih preventivnih zahvata [1-2]. Takođe, metodološki pristup u proučavanju korozionih fenomena i njegova

ABSTRACT

Corrosion, as a proces of irreversible destruction or deterioration of material, is a serious problem in process industry plants exploitation both from the economical and reliable exploitation points of view. In the present paper methodology to study corrosion phenomena, including analytical diagnostic – multidisciplinary method for root causes determination and analyses, are presented.

implementacija predstavljaju podlogu i sastavni deo jednog globalnog plana održavanja postrojenja procesne industrije.

Analitička dijagnostika ili analiza i utvrđivanje uzroka oštećenja (u stranoj literaturi poznata kao *failure analyses*) je, verovatno, najvažnija u predviđanju pouzdanosti tehničkih sistema, kako u fazi projektovanja, tako i tokom njihove eksploatacije. Iako ovaj specifični tip dijagnostike ima multidisciplinarni karakter, jer uključuje različite ali neodvojive naučne discipline, presudnu ulogu često ima ekspertska ocena bez koje, bez obzira na obim istraživanja, ponekad ne bi usledilo rešenje datog problema.

Stoga je u ovom radu posebna pažnja posvećen definisanju globalnog metodološkog pristupa sa posebnim osvrtom na metode i načine sprovođenja analitičke dijagnostike, kao vrlo moćnog "alata" u obezbeđivanju pouzdane eksploatacije postrojenja.

2. OPŠTA RAZMATRANJA O KOROZIONIM OŠTEĆENJIMA METALNIH MATERIJALA

U svetskoj literaturi i u zvaničnim publikacijama mogu se naći vrlo oskudni statistički podaci o udelu otkaza usled korozionih oštećenja u ukupnom broju otkaza koji se javljaju na opremi postrojenja

procesne industrije. Takođe je evidentno da su podaci o raspodeli otkaza po sistemima postrojenja brojniji nego podaci o raspodeli otkaza sistema po uzrocima. Evropska osiguravajuća kompanija [3] je na primer sve otkaze koji se javljaju kod opreme termoelektrana na fosilna goriva klasifikovala na:

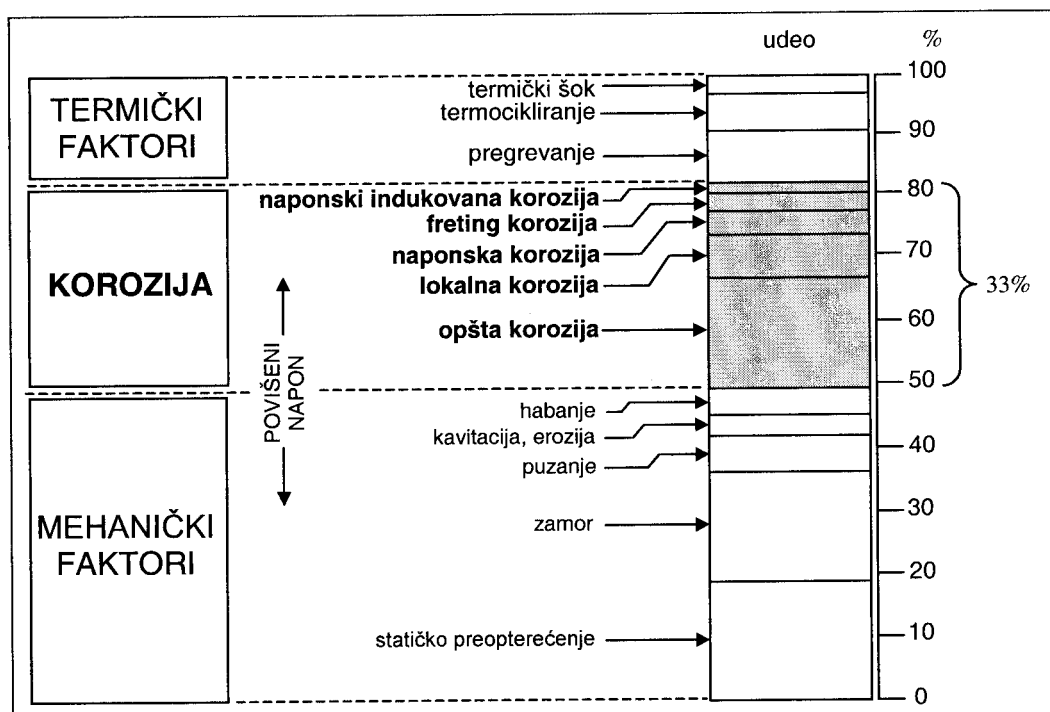
- otkaze koji su posledica mehaničkih faktora,
- otkaze koji su posledica termičkih uticaja, i
- otkaze koji su posledica korozije.

Otkazi postrojenja su najčešće uslovljeni razaranjem pojedinačnih vitalnih komponenti. Međutim, čak i kada se uzroci razaranja i ponašanje materijala u uslovima eksploatacije mogu da znaju, merama

preventivnog održavanja teško je obezbediti da ne dođe do razaranja.

Uobičajeni uzroci razaranja/loma su, pre svega, korelisani sa: neodgovarajućim izborom materijala, neodgovarajućim kvalitetom dobro izabranog materijala, neodgovarajućim projektovanjem neke komponente ili njenom neadekvatnom primenom [4].

Sistematizovani podaci o udelima pojedinih uzroka otkaza opreme termoelektrana prikazan je na Sl.1 U okviru svake kategorije otkaza izvršena je dodatna podela na podkategorije. U ukupnom broju ispitivanih slučajeva otkaza, oštećenja usled korozionog ataka učestvuju sa 33%, pri čemu je preko 15% otkaza posledica odvijanja lokalnih korozionih fenomena i naponske korozije.



Sl. 1: Procentualni udeli pojedinih uzroka otkaza opreme termoelektrana [3]

Klasičan pristup u proučavanju razaranja materijala pod dejstvom agresivne radne sredine, koji se bazira na izučavanju specifičnih korozionih parova metal-jon, pokazao se nepouzdanim za procenu korozionog ponašanja metala.

Stoga je u proučavanju korozionih procesa neophodno primeniti lokalni pristup koji u svojoj osnovi sadrži sagledavanje lokalnih karakteristika i svojstava radne sredine i materijala, kao i termomehanički indukovanih napona u materijalu [3, 5].

Kao osnovni lokalni mehanizmi razaranja materijala pod dejstvom koroziono agresivne radne sredine mogu da se izdvoje [6-7]:

1. Naponska korozija
2. Vodonični atak
3. Korozioni zamor

Izuzetna složenost korozionih procesa i razaranja materijala pod dejstvom agresivne radne sredine na lokalnom nivou rezultat je interakcije tri osnovna faktora: materijala, radne sredine i termomehaničkih napona. Uticaj svakog od ovih faktora zasebno je definisan čitavim nizom parametara, Tabela 1, čija nepovoljna kombinacija vodi ka pojavi razvoja lokalnih korozionih procesa.

Tabela 1: Najuticajniji parametri tri osnovna faktora odgovorna za razvoj korozije [1]

MATERIJAL	RADNA SREDINA	TERMO-MEHANIČKI NAPONI
➤ Hemijski sastav	➤ Hemijski sastav	➤ Statički naponi
➤ Mikrostruktura	➤ Vrsta i količina rastvorenih čestica (kod vodenih rastvora)	➤ Dinamički naponi
➤ Lokalni hemijski sastav	➤ Temperatura	➤ Karakter napona
➤ Metalurški faktori - nehomogenost	➤ Pritisak	➤ Frekvencija
➤ Mehanička svojstva	➤ Elektrohemijski potencijal	➤ Koncentratori napona
➤ Termička obrada	➤ Sadržaj kiseonika	
➤ Stanje površine metala	➤ pH vrednost	
➤ Zaostali naponi	➤ Provodljivost	
➤ Karakteristike zaštitnog sloja na površini metala	➤ Režim strujanja	

3. ANALITIČKA DIJAGNOSTIKA KOROZIONIH OŠTEĆENJA

Sprovođenje analitičke dijagnostike korozionih oštećenja opreme u procesnoj industriji zahteva tesnu saradnju stručnjaka odgovornih za vođenje procesa na samom postrojenju i eksperata iz oblasti korozije, nauke o materijalima, hemije, fizike, itd. Raščlanjavanjem postupka analitičke dijagnostike oštećenja (ne mora da znači da je oštećenje uslovalo razaranje, odnosno otkaz dela sistema) dolazi se do tri pitanja na koje treba dati odgovore: *kako, zašto i kada?*

Na pitanje *kako* analitička dijagnostika mora da pruži odgovor na osnovu rezultata planiranih ispitivanja i istraživanja, odnosno da utvrdi mehanizme koji su doveli do oštećenja ili otkazivanja komponente i da definiše smernice za otkrivanje potencijalnih uzroka. Odgovor na ovo pitanje je sama suština analitičke dijagnostike, koja na osnovu rezultata sprovedenih ispitivanja prepoznaje odgovarajući mehanizam ili mehanizme koji su doveli do oštećenja, a što zahteva vrlo visok stepen poznavanja mogućih mehanizama oštećenja, njihove pojavne oblike, kao i razlike i sličnosti između njih. Često je minorna razlika između vrlo sličnih pojavnih oblika prepoznatljiva samo ekspertima, pa je njihovo učešće u ovoj fazi od presudnog značaja. U ovoj fazi analitičke dijagnostike od dragocene pomoći su podaci o prethodnim ispitivanjima opreme na kojoj su se pojavila koroziona oštećenja, odnosno nalazi ranije sprovedenih ekspertiza oštećenja. Međutim, rezultate i nalaze ranijih ispitivanja i ekspertiza treba usvajati sa velikom dozom rezerve najpre, iz sledećih razloga:

1. rezultati i zaključci mogu biti netačni ili nepotpuni;

2. ranije utvrđeni korozioni mehanizmi ne moraju odgovarati onima koji su usloveli poslednje razaranje;
3. postoji mogućnost da je promena radnih uslova tokom eksploatacije izazvala i promenu mehanizma oštećenja;
4. sa procesom starenja ugrađenog materijala menja se i uglavnom raste sklonost ka korozionom ataku zbog degradacije mikrostrukture i pada mehaničkih svojstava;
5. spoznaja mehanizama inicijacije i razvoja velikog broja različitih tipova korozionih oštećenja metalnih materijala je još uvek nepotpuna, i pored velikog broja istraživanja sprovedenih u cilju razjašnjenja procesa razaranja metala pod dejstvom agresivne sredine.

Teškoće vezane za definisanje i predviđanje stepena korozionog ataka metalnih materijala tokom eksploatacije, pre svega, su uslovljene činjenicom da koroziona otpornost ne predstavlja svojstvo materijala koje može da se za duži vremenski period egzaktno definiše kvantitativnim pokazateljima, kao što je to slučaj sa mehaničkim svojstvima materijala [1]. Inicijacija i razvoj oštećenja/prslina, kao elementarni procesi korozionog razaranja materijala odvijaju se u uslovima lokalno povišene hemijske i elektrohemijske agresivnosti radne sredine. Ova konstatacija ukazuje na činjenicu da do korozionog razaranja materijala može da dođe i u slučaju kada je metal u kontaktu sa radnim fluidom koji na makronivou odgovara zahtevima kvaliteta koji je standardom propisan/zahtevan [6-8].

Odgovor na pitanje *zašto* nije jednoznačan (izuzev u vrlo prostim sistemima sa jednostavnim logičkim sledom) pa je u ovoj fazi analitičke dijagnostike neophodno pažljivo i potpuno sagledavanje i uslova rada i svih pore-

mećaja koji su nastupili a koje je moguće ustanoviti, odnosno neophodna je analiza podataka o:

- projektnim karakteristikama sistema,
- istorijatu rada postrojenja - beleške o odstupanjima i poremećajima nastalim u sistemu, i
- tekućem održavanju, odnosno merama koje su sprovedene u cilju što dužeg očuvanja integriteta sistema.

Rezultat ove analize je izdvajanje najuticajnijih faktora koji su povoljno delovali na razvoj utvrđenog mehanizma oštećenja.

Nakon prepoznavanja faktora koji imaju uticaja na kinetiku oštećenja moguće je definisanje pre-

ventivno-korektivnih mera u cilju njihovog kontroli-sanja ili potpunog eliminisanja. Utvrđivanje glavnog/glavnih uzročnika oštećenja predstavlja najvažniji zadatak ove faze analitičke dijagnostike.

Kod opreme u procesnoj industriji često se javlja kombinovano dejstvo različitih mehanizama oštećenja, što dodatno otežava utvrđivanje glavnog odnosno glavnih uzročnika oštećenja [1-8]. Neki od najčešćih uzročnika inicijacije različitih korozivnih mehanizama oštećivanja opreme u procesnoj industriji navedeni su Tabeli 2.

Tabela 2: Najčešći uzročnici korozivnih mehanizama oštećivanja opreme u procesnoj industriji

Uzročnici Mehanizmi oštećivanja	Neodgovarajuća vrednost pH/kvalitet radnog fluida	Povećano statičko opterećenje	Dinamičko opterećenje	Povećane vibracije	Neodgovarajući kvalitet materijala	Pregrevanje	Odstupanje parametara tehnološkog postupka	Poremećaji u hidrodinamici	Konstruktivno-tehnološke greške	Mehanička oštećenja	Naslage/depozit	Ostalo
Korozivni zamor			✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	
Naponska korozija	✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓	✓		✓
Kiselinska korozija	✓				✓		✓	✓	✓		✓	
Kiseonična korozija	✓				✓		✓		✓	✓		✓
Bazna korozija	✓				✓		✓	✓	✓		✓	✓
Vodonična korozija	✓				✓		✓	✓	✓		✓	✓
Eroziona korozija							✓	✓				✓
Gasna korozija	✓					✓	✓					✓
Freting korozija			✓	✓		✓			✓			
Amonijakna korozija	✓						✓					
Čelant korozija	✓						✓				✓	
Galvanska korozija	✓				✓		✓		✓			✓
Korozija pod naslagama	✓					✓	✓	✓	✓		✓	
Korozija lutajućim strujama							✓		✓			✓
Korozija u slanoj vodi	✓						✓		✓			
Kavitaciona korozija								✓				
Impidžment korozija	✓							✓				✓
Korozija organskim materijama	✓						✓		✓			✓
Korozija u zazorima			✓	✓					✓			✓

Imajući u vidu veliku raznolikost i složenost tehničko-tehnoloških postupaka i rešenja, kao i ugrađene opreme u različite proizvodne i prerađivačke sisteme procesne industrije, jasno je da je broj uzročnika koji mogu da dovedu do razvoja korozivnih oštećenja izuzetno veliki i često specifičan za konkretno postrojenje.

Mnogobrojna ispitivanja koja su izvršena na oštećenoj opremi različitih postrojenja kod nas su potvrdila da najčešće deluje više od jednog mehanizma oštećivanja

i da je često vrlo teško otkriti koji je mehanizam oštećivanja bio **primaran**, a koji su se pojavili kao **prateći**, "**provocirani**" ili **sekundarni** [9].

Tek nakon dobijanja odgovora na prva dva pitanja moguće je odgovoriti i na pitanje **kada**. Odgovori treba da pruže mogućnost: predviđanja događaja sličnog karaktera; planiranja preventivnih koraka u održavanju; planiranja zamene dela ili cele komponente u slučaju kada nije moguće preventivno delovanje. Složenost u postupku dobijanja ovog odgovora je, takođe, vrlo velika i često zahteva modeliranje procesa. Sam odgovor najčešće nije precizan već je na nivou procene, odnosno kao rezultat moraju se uzimati vrednosti (kako numeričke tako i logičke) sa relativno širokim intervalom poverenja, pa je i ovo korak gde je ekspertska ocena ta koja će korigovati i umanjiti neizvesnost u dobijenim rezultatima.

Kada je analitička dijagnostika sprovedena u punom obimu, dobijeni rezultati se mogu razmatrati i po nivoima sistema, od najužeg – lokalnog, preko komponentnog i na kraju najšireg sistemskog. Naravno, podelu sistema je moguće izvršiti na mnogo više nivoa, u zavisnosti od složenosti sistema, ali u osnovi interakcije između podsistema mogu se opisati na pojednostavljenom primeru jer omogućuju logičko povezivanje informacija istovetno kao u slučaju podele sistema na veći broj nivoa od tri. Cilj ovakvog razmatranja je optimizacija postupaka/delovanja u cilju prevencije oštećenja.

4. ZAKLJUČAK

Analitička dijagnostika predstavlja moćno sredstvo pri analizi i utvrđivanju uzročnika korozivnih oštećenja opreme u procesnoj industriji i kao rezultat pruža odgovor na tri pitanja: **kako**, **zašto** i **kada**? U svojoj osnovi se bazira na metodološkom pristupu u proučavanju korozivnih fenomena [1-3], koji omogućava validno iznalaženje stvarnih uzroka pojave i

razvoja pojedinih mehanizama oštećenja opreme složenih tehničkih sistema kao i definisanje preventivnih zahvata. Imajući u vidu izuzetnu složenost pojedinih postrojenja procesne industrije, kao i veliki broj različitih metalnih materijala od kojih je izrađena oprema, postaje jasno da je u cilju analize pojedinih korozivnih procesa potrebno odrediti uslove za njihov razvoj sa sistemskog, komponentnog i lokalnog aspekta. S obzirom na kompleksnost ovog zadatka primena analitičke dijagnostike, kao multidisciplinarnih metode zasnovane na ekspertskim procedurama stručnjaka iz oblasti nauke o materijalima i korozije, predstavlja neophodan preduslov za definisanje tehnno-ekonomski optimalnih programa održavanja. Efekti ovakvog pristupa se ogledaju pre svega kroz obezbeđivanje visoke pouzdanosti u eksploataciji ne samo postrojenja procesne industrije već i drugih složenih tehničkih sistema.

LITERATURA:

- [1] Đukić M.: Dejstvo vodonika na metal isparivačkih cevi kotlova, Magistarska teza, Mašinski fakultet, Beograd, 2002
- [2] Šijački-Žeravčić V., Đukić M., Bakić G., i dr.: Značaj vizuelne dijagnostike oštećenja komponenti TE postrojenja u planiranju održavanja, Zbornik radova sa 4. DQM konferencije - Upravljanje održavanjem, Vrnjačka Banja, str. 61-68, 2001
- [3] Hagn L.: Lifetime Prediction for Parts in Corrosive Environment, Proc. of 8th Int. Brown Bow. Symp. on Corr. in Power Equ., Baden, 1983
- [4] Šijački-Žeravčić V., Anđelić B., Bakić G., Đukić M.: Tehnička dijagnostika, Vol.II, N^o2, str. 61-66, 2003
- [5] Šijački-Žeravčić V., Stefanović P, Radovanović P.: Energija/Ekonomija/Ekologija, Vol.V, br.1-2, str.370-373, 2000
- [6] Fontana M. G.: "Corrosion engineering", McGraw-Hill Int. Editions, London, 1987
- [7] ASM Handbook, Vol 13 - Corrosion, ASM International, 1998
- [8] Evans.U.R.: The Corrosion and Oxidation of Metals: Scientific Principles and Practical Applications, Edvard Arnold LTD.,London, 1977
- [9] Šijački-Žeravčić V., Bakić G., Đukić M., Anđelić B., Milanović D.: Preventivni inženjering, Vol.XI, N^o2, 2003, u štampi