

**NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU
TEHNOLOŠKO-METALURŠKOG FAKULTETA
UNIVERZITETA U BEOGRADU**

Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu održanoj 26.12.2013. imenovani smo za članove Komisije za ocenu naučne zasnovanosti teme doktorske disertacije Ivane Jevremović, dipl. inž. tehnologije, pod naslovom:

**PRIMENA ORGANSKIH INHIBITORA ZA SPREČAVANJE POJAVE KOROZIJE
NISKOUGLJENIČNOG ČELIKA U PRISUSTVU CO₂**

O predloženoj temi i njenoj naučnoj zasnovanosti podnosimo sledeći

IZVEŠTAJ

1. PODACI O KANDIDATU

1.1. Biografski podaci

Ivana Jevremović je rođena 01.07.1985. godine, u Smederevu. Završila je gimnaziju u Smederevu, prirodno-matematički smer, sa prosekom ocena 5,00 i Vukovom diplomom. Na Tehnološko-metalurški fakultet upisala se školske 2004/2005. godine, na odsek za Biohemijsko inženjerstvo i biotehnologiju. Diplomirala je septembra 2010. godine na Katedri za fizičku hemiju i elektrohemiju sa radom na temu „*Elektrohemijsko dobijanje Ag/PVP i Ag/alginat nanokompozita*“, sa ocenom 10. Srednja ocena tokom studija je 9,78.

Ivana Jevremović je dobila dve diplome Pante Tutundžića za postignute izvanredne rezultate u toku studiranja (za školsku 2004/2005. i 2005/2006. godinu). Dobitnik je i Specijalnog priznanja Srpskog hemijskog društva za izuzetan uspeh tokom studija (2011. godine).

Školske 2010/11. se upisala na doktorske studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu, studijski program Hemijsko inženjerstvo (Elektrohemijsko i elektrohemijsko inženjerstvo), pod rukovodstvom mentora prof. dr Vesne Mišković-Stanković, redovnog profesora TMF. U okviru doktorskih studija položila je 11/11 ispita predviđenih studijskim programom sa prosečnom ocenom 10 (spisak je u prilogu), i 10. oktobra 2012. godine odbranila Završni ispit pod nazivom „*Primena organskih inhibitora za sprečavanje pojave korozije niskougljeničnog čelika u CO₂ sredini*“ sa ocenom 10, pred komisijom u sastavu prof. dr Vesna Mišković-Stanković, prof. dr Nedeljko Krstajić i prof. dr Jelena Bajat.

Pohađala je i položila sa ocenom 10 međunarodne letnje škole: “Biopolymers as constituents of novel biocomposites”, u periodu od 28. juna do 16. jula 2010. god., Prof. dr Tatjana Stevanović (Département des sciences du bois et de la forêt, Université Laval, Québec, Canada), “Corrosion of Mild Steel in Weak Acids”, u periodu od 21. juna do 10. jula 2010. god. Prof. dr Srđan Nešić (Institute for Corrosion and Multiphase Flow Technology, Ohio University, Athens, OH, USA).

U toku 2011, 2012 i 2013. godine boravila je u periodima od po tri meseca na Institute for Corrosion and Multiphase Technology, Ohio University u cilju izrade eksperimentalnog dela doktorske teze.

Dobitnik je treće nagrade u kategoriji Harvey Herro za primenjenu korozionu tehnologiju u okviru NACE studentske poster sekcije (Harvey Herro Category for the field of the applied corrosion technology, NACE Student Poster Session) za poster pod nazivom “Top-of-the-Line Corrosion (TLC) Mitigation of Mild Steel in CO₂ Environment Using Corrosion Inhibitor Injected within a Foam Carrier” na konferenciji CORROSION/2012, Salt Lake City, Utah, SAD,

2012. godine. Dobitnik je nagrade za najbolju prezentaciju pod nazivom “Use of Quartz Crystal Microbalance (QCM) Measurements to Investigate Novel Top-of-the-Line Corrosion (TLC) Mitigation Method“ na međunarodnoj konferenciji 12th Young Researchers' Conference Materials Science and Engineering, Beograd, 2013. godine.

Ivana Jevremović je član Srpskog hemijskog društva, Međunarodnog društva za elektrohemiju (International Society of Electrochemistry, ISE) i Američkog udruženja inženjera korozije (National Association of Corrosion Engineers, NACE).

Tečno govori engleski jezik. Služi se francuskim jezikom.

1.2. Stečeno naučnoistraživačko iskustvo

Ivana Jevremović je od 1. oktobra 2010. zaposlena u Inovacionom centru TMF, prvo u okviru projekta ON142061, pod nazivom „Elektrohemijske karakteristike oksidnih i polimernih prevlaka na modifikovanim površinama metala“, čiji je rukovodilac bila prof. dr Vesna Mišković-Stanković, a potom u okviru projekta III45019, „Sinteza, razvoj tehnologija dobijanja i primena nanostrukturnih multifunkcionalnih materijala definisanih svojstava“, čiji je rukovodilac prof. dr Đorđe Janačković (podprojekat 2, rukovodilac prof. dr Vesna Mišković-Stanković). U zvanje istraživač-pripravnik izabrana je 27. januara 2011, a u zvanje istraživač saradnik 31. decembra 2012.

Ivana Jevremović je koautor četiri rada u naučnim časopisima, od čega 3 rada u časopisima međunarodnog značaja (oznaka grupe **M20**: vrsta rezultata **M21–2** rada, **M23–1** rad) i 1 rad u časopisu nacionalnog značaja (oznaka grupe **M50**: vrsta rezultata **M51–1** rad), kao i 17 naučnih saopštenja u zbornicima međunarodnih i nacionalnih skupova (oznaka grupe **M30**: vrsta rezultata **M33–2** rada, **M34–13** radova, oznaka grupe **M60**: vrsta rezultata **M64–2** rada). Spisak referenci je u prilogu.

Učestvovala je u izvođenju eksperimentalnih vežbi na Katedri za fizičku hemiju i elektrohemiju TMF-a iz predmeta: Nemetalne prevlake (školske 2011/12, kao i 2013/14), Fizička hemija I (školske 2012/13), Fizička hemija II (školske 2012/13 i 2013/14), Nemetalne prevlake master studije (školske 2012/13 i 2013/14).

Položeni ispiti i ostvareni bodovi u okviru doktorskih studija

	Ocena	ESPB
1. Elektrohemijska kinetika i metode merenja	10	6
2. Viši kurs elektrohemijskog inženjerstva	10	6
3. Odabrana poglavlja matematičke analize	10	5
4. Hemijska termodinamika	10	5
5. Hemijska kinetika	10	5
6. Nemetalne prevlake	10	5
7. Analogije fenomena prenosa	10	5
9. Elektrohemijska zaštita metala od korozije	10	5
10. Korozija	10	5
11. Polimerni biomaterijali	10	4
12. Završni ispit – pristupni rad za izradu doktorske disertacije	10	30
Ukupno	10	81

Objavljeni naučni radovi i saopštenja

1. RADOVI OBJAVLJENI U NAUČNIM ČASOPISIMA MEĐUNARODNOG ZNAČAJA – M20

1.1. Rad u vrhunskom međunarodnom časopisu – M21

1. **Ivana Jevremović**, Vesna Mišković-Stanković, Mohsen Achour, David Blumer, Thomas Baugh, Marc Singer, Srdjan Nešić, “ A novel method to mitigate the Top of the Line Corrosion in wet gas pipelines by corrosion inhibitor within a foam matrix”, *Corrosion* **69** (2) (2013) pp. 186-192. (Metallurgy & Metallurgical Engineering, 9/76, IF (2012) = 1,772), ISSN 0010-9312.

2. **Ivana Jevremović**, Marc Singer, Srdjan Nešić, Vesna Mišković-Stanković “ Inhibition properties of self-assembled corrosion inhibitor talloil diethylenetriamine imidazoline for mild steel corrosion in chloride solution saturated with carbon dioxide”, *Corros. Sci.* **77**(2013) pp. 265-272. (Materials Science, Multidisciplinary, 37/241, IF (2012) = 3,615), ISSN 0010-938X.

1.2. Rad u međunarodnom časopisu – M23

1. **Ivana Jevremović**, Aleksandra Debeljković, Marc Singer, Mohsen Achour, Srdjan Nešić, Vesna Mišković-Stanković, “ The mixture of dicyclohexylamine and oleylamine as corrosion inhibitor for mild steel in NaCl solution saturated with CO₂ under both continual immersion and top of the line corrosion”, *J. Serb. Chem. Soc.* **77**(8) (2012) 1047-1061, (Chemistry, Multidisciplinary, 100/152, IF (2012) = 0,912), ISSN 0352-5139.

2. ZBORNICI MEĐUNARODNIH NAUČNIH SKUPOVA – M30

2.1. Saopštenje sa međunarodnog skupa štampano u celini – M33

1. **Ivana Jevremović**, Vesna Mišković-Stanković, Mohsen Achour, David Blumer, Thomas Baugh, Marc Singer, Srdjan Nešić, “ A novel method to mitigate the Top of the Line Corrosion in wet gas pipelines by corrosion inhibitor within a foam matrix”, NACE International Conference, CORROSION/2012, Salt Lake City, Utah, USA, 2012, paper no. C2012-0001403 (p.1-15).

2. **Ivana Jevremović**, V. Mišković-Stanković, M. Achour, M. Singer, S. Nešić "Evaluation of a Novel Top-of-the-Line Corrosion (TLC) Mitigation Method in a Large Scale Flow Loop", NACE International Conference, CORROSION/2013, Orlando, Florida, USA, paper no. C2013-0002321(p.1-15).

2.2. Saopštenje sa međunarodnog skupa štampano u izvodu – M34

1. **Ivana Jevremović**, Željka Jovanović, Jasmina Stojkovska, Bojana Obradović, Maja Vukašinović-Sekulić, Aleksandra Perić-Grujić, Mirjana Ristić, Vesna Mišković-Stanković, "Electrochemically synthesized Ag/PVP nanocomposites for Medical Applications", International Workshop on Processing of Nanostructured Ceramics, Polymers, and Composites, Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade - Nanotechnology and Functional Materials Centre, Belgrade, 2010, Serbia, Book of abstracts, P7, p. 51.

2. Jasmina Stojkovska, Željka Jovanović, Jovana Zvicer, **Ivana Jevremović**, Vesna Mišković-Stanković, Bojana Obradović, "Studies of alginate solutions and hydrogels containing silver nanoparticles", International Workshop on Processing of Nanostructured Ceramics, Polymers, and Composites, Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade - Nanotechnology and Functional Materials Centre, Belgrade, 2010, Serbia, Book of abstracts, P24, p. 67.

3. Aleksandra Debeljković, **Ivana Jevremović**, Vesna Mišković-Stanković, Srđan Nešić, "Corrosion Behavior of mild steel in CO₂ atmosphere", 9th Young Researchers' Conference – Materials Science and Engineering, Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade, 2010, Serbia, Book of abstracts, I/6, p. 4.
4. **Ivana Jevremović**, Željka Jovanović, Jasmina Stojkovska, Bojana Obradović, Maja Vukašinović-Sekulić, Aleksandra Perić-Grujić, Mirjana Ristić, Vesna Mišković-Stanković, "Investigation of electrochemically synthesized Ag/PVP nanocomposites: Biomimetic approach", 9th Young Researchers' Conference – Materials Science and Engineering, Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade, 2010, Serbia, Book of abstracts, III/8, p. 14.
5. Jasmina Stojkovska, Željka Jovanović, Danijela Kostić, Jovana Zvicer, **Ivana Jevremović**, Maja Vukašinović-Sekulić, Vesna Mišković-Stanković, Bojana Obradović, "Evaluation of novel alginate nanocomposites for biomedical applications", 9th Young Researchers' Conference – Materials Science and Engineering, Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade, 2010, Serbia, Book of abstracts, III/6, p. 13.
6. **Ivana Jevremović**, "The Investigation of the Effectiveness of Ethanolamine as Corrosion Inhibitor for Mild Steel in CO₂ Atmosphere", NACE International Conference, CORROSION/2011, Houston, Texas, 2011, Book of abstracts, p. 38.
7. **Ivana Jevremović**, "Top-of-the-line Corrosion (TLC) Mitigation of Mild Steel in CO₂ Environment Using Corrosion Inhibitor Injected Within a Foam Carrier", NACE International Conference, CORROSION/2012, Salt Lake City, Utah, USA, 2012, Book of abstracts, p. 50.
8. **Ivana Jevremović**, Vesna Mišković-Stanković, Srđan Nešić, "The electrochemical and surface characteristics of ethanolamine as nanostructured corrosion inhibitor", Second International Workshop on Characterization, properties and applications of Nanostructured Ceramics, Polymers, and Composites, Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade, 2011, Serbia, Book of abstracts, P10, p. 40.
9. **Ivana Jevremović**, Vesna Mišković-Stanković, Mohsen Achour, David Blumer, Thomas Baugh, Marc Singer, Srđan Nešić, "Evaluation of TOFA/DETA imidazoline as corrosion inhibitor for top of the line corrosion (TLC) of mild steel in CO₂ environment", 10th Young Researchers' Conference – Materials Science and Engineering, Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade, 2011, Serbia, Book of abstracts, V/I, p. 19.
10. **Ivana Jevremović**, Vesna Mišković-Stanković, Aleksandra Debeljković, Mohsen Achour, Marc Singer, Srđan Nešić, "The Efficiency of Dicyclohexylamine and Oleylamine as Inhibitor for Carbon Dioxide Corrosion", Research in Progress (RIP), NACE International Conference, CORROSION/2012, Salt Lake City, Utah, USA, 2012, Book of abstracts, p. 58.
11. **Ivana Jevremović**, Marc Singer, Srđan Nešić, Vesna Mišković-Stanković, "Characterization of organic inhibitor for corrosion of mild steel in 3 wt. % NaCl solution saturated with CO₂", 11th Young Researchers' Conference Materials Science and Engineering, Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade, 2012, Serbia, Book of abstracts, TM13, p. 55.
12. **Ivana Jevremović**, Marc Singer, Srđan Nešić, Vesna Mišković-Stanković, "Evaluation of the performance of corrosion inhibitor for mild steel in CO₂ containing NaCl solution", Fourth Regional Symposium on Electrochemistry of South-East Europe (RSE-SEE), Student Symposium RSE-SEE, Ljubljana, Slovenia, 2013, Book of abstracts, p. 125.
13. **Ivana Jevremović**, Fernando Farelás, Marc Singer, Srđan Nešić, Vesna Mišković-Stanković, "Use of Quartz Crystal Microbalance (QCM) Measurements to Investigate Novel Top-of-the-Line Corrosion (TLC) Mitigation Method", 12th Young Researchers' Conference Materials Science and Engineering, Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade, 2013, Serbia, Book of abstracts, VII/6, p. 29.

3. NAUČNI RADOVI OBJAVLJENI U ČASOPISIMA NACIONALNOG ZNAČAJA – M50

3.1. Rad u vodećem časopisu nacionalnog značaja – M51

1. **Ivana Jevremović**, Vesna Misković-Stanković, “The Inhibitive effect of ethanolamine on corrosion behavior of aluminium in NaCl solution saturated with CO₂“, *Metall. Mater. Eng.* **18** (4) (2012) p. 241-257, ISSN 0354-6306.

4. ZBORNICI SKUPOVA NACIONALNOG ZNAČAJA – M60

4.1. Saopštenje sa skupa nacionalnog značaja štampano u izvodu – M64

1. **Ivana Jevremović**, Željka Jovanović, Aleksandra Krklješ, Jasmina Stojkowska, Bojana Obradović, Maja Vukašinović-Sekulić, Zorica Kačarević-Popović, Vesna Mišković-Stanković, „Srebro/poli(N-vinil-2-pirolidon) nanokompozitni biomaterijal: poređenje elektrohemijaskog i radijaciono-hemijaskog postupka sinteze“, *Biotehnologija za održivi razvoj*, TMF, Beograd, 2010, Knjiga izvoda radova, str. 94-95.
2. **Ivana Jevremović**, Marc Singer, Mohsen Achour, David Blumer, Thomas Baugh, Vesna Mišković-Stanković, Srđan Nešić, „Nova metoda nanošenja inhibitora za sprečavanje pojave korozije niskougljeničnog čelika u uslovima kondenzacije u CO₂ sredini“, *L Savetovanje Srpskog hemijskog društva*, Beograd, 2012, Knjiga apstrakta, str. 29.

1.3. Ocena podobnosti kandidata za rad na predloženoj temi

Na osnovu dosadašnjeg rada i pokazanih rezultata tokom doktorskih studija i u okviru naučno-istraživačkog rada na projektima Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj, odnosno Ministarstva za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije, O142061 (2006-2010) i III45019 (2011-2014), Ivana Jevremović, dipl. inž. tehnologije, je pokazala izrazitu sklonost i sposobnost za bavljenje naučno-istraživačkim radom. Takođe, iz oblasti doktorske disertacije je objavila 4 rada u štampanim naučnim časopisima, od čega 3 rada u časopisima međunarodnog značaja i 1 rad u časopisu nacionalnog značaja, kao i 17 saopštenja na međunarodnim i domaćim skupovima, što ukazuje na njen veoma kvalitetan rad, pa tako ispunjava sve potrebne uslove za rad na predloženoj temi doktorske disertacije.

2. PREDMET I CILJ ISTRAŽIVANJA

Korozija niskougljeničnog čelika pod dejstvom CO₂, predstavlja značajan problem u naftnoj i gasnoj industriji zbog velike brzine korozije i prisustva lokalizovane korozije. CO₂ je prisutan kao rastvoren gas u sistemu voda/morska voda koji prati naftne i gasne produkte u sredinama gde se radi pod visokim pritiskom [1-2]. Metal se može zaštititi od procesa korozije različitim metodama. Delovanje agenasa korozije smanjuje se primenom inhibitora korozije, pri čemu se formira zaštitni sloj, koji sprečava razgradnju metala u rastvoru. Efikasnost inhibitora u sprečavanju korozije zavisi od mnogih faktora. Na makroskopskom nivou, ona zavisi od toka, hemijskog sastava rastvora, temperature, pritiska u sistemu i koncentracije inhibitora. Na molekulskom nivou, ona zavisi od broja adsorpcionih mesta, gustine naelektrisanja inhibitora, veličine molekula, načina interakcije sa površinom metala i elektronske strukture molekula [3-7].

Napredak u istraživanju korozije u uslovima kondenzacije doveo je do identifikacije nekoliko ključnih faktora koji utiču na ovaj fenomen: temperatura gasa, spoljašnja temperatura, ukupni pritisak, parcijalni pritisak CO₂, brzina gasa, brzina kondenzacije i hemijski sastav kondenzata. Konvencionalne metode inhibicije, poput ubrizgavanja inhibitora korozije nisu efikasne jer uslovi toka fluida onemogućavaju inhibitor da formira zaštitni sloj u delovima cevi gde dolazi do kondenzacije. U cilju sprečavanja korozije neophodno je razviti nove metode nanošenja inhibitora na unutrašnju površinu cevi.

U ovoj disertaciji biće ispitivana nova metoda inhibicije korozije, koja se zasniva na ubrizgavanju inhibitora korozije u penu kao nosač sa ciljem da se obezbedi ravnomerno nanošenje inhibitora u uslovima kondenzacije. Verifikacija metode inhibicije biće vršena u staklenoj ćeliji, kao i u sistemu sa višefaznim tokom fluida, posebno namenjenom za proučavanje korozije čelika u uslovima kondenzacije.

Očekuje se da će neko hemijsko jedinjenje imati dobra inhibiciona svojstva ako u svojoj molekularnoj strukturi sadrži polarnu grupu, odnosno hetero atome (npr. azot, kiseonik ili sumpor) sa jednim ili više slobodnih elektronskih parova, tj. inhibicione centre za interakciju sa metalnom površinom, kao i dugi ugljovodonični lanac (C14 - C18), koji ima ulogu da spreči transport agenasa korozije do površine metala.

Najčešće korišćeni inhibitori su oni na osnovi alifatskih imidazolina, amina i kvaternernih amonijum soli [8-10]. Kako anjonska sredstva za razvijanje pene (soli sulfonata) imaju najbolja svojstva i najveću otpornost na tendenciju inhibitora korozije da destabilizuju i dezintegrišu penu, u našim istraživanjima biće korišćena površinski aktivna supstanca natrijum C14-16 olefin – sulfonat kao model za optimizaciju i verifikaciju nove metode. Optimizovaće se faktori koji utiču na stabilnost pene i njenu jačinu (koncentracija površinski aktivne supstance i način formiranja pene) u cilju postizanja maksimalne efikasnosti inhibitora, kao i formiranja pene odgovarajuće stabilnosti.

Cilj ovog istraživanja je zaštita niskougljeničnog čelika API X65 od korozije pod dejstvom CO₂ primenom organskog inhibitora korozije, imidazolinskog derivata smeše viših masnih kiselina i dietilentriamina TOFA/DETA imidazolina u tečnoj, kao i u gasovitoj fazi u uslovima kondenzacije uz primenu pene (natrijum C14-16 olefin - sulfonat) kao nosača inhibitora. Predloženi sistem za zaštitu niskougljeničnog čelika od CO₂ korozije biće analiziran različitim tehnikama karakterizacije.

Literatura

1. C. de Waard, D.E. Milliams, Carbonic-acid corrosion of steel, *Corrosion* **31** (1975) 177-181.
2. S. Nešić, J. Postlethwaite, S. Olsen, An Electrochemical Model for Prediction of Corrosion of Mild Steel in Aqueous Carbon Dioxide Solutions, *Corrosion* **52** (2003) 280-286.
3. H. H. Uhlig, R. W. Revie, Corrosion and Corrosion Control, John Wiley & Sons, New York, 1985.
4. P. Morales-Gil, G. Negron-Silva, M. Romero-Romo, C. Angeles-Chavez, M. Palomar-Pardave, Corrosion inhibition of pipeline steel grade API 5L X52 immersed in a 1 M H₂SO₄ aqueous solution using heterocyclic organic molecules, *Electrochim. Acta* **49** (2004) 4733-4741.
5. I. L. Rozenfeld, Corrosion Inhibitors, McGraw-Hill Inc. USA, 1981.
6. R. De Marco, W. Durnie, A. Jefferson, B. Kinsella, A. Crawford, Persistence of carbon dioxide corrosion inhibitors, *Corrosion* **58** (2002) 354-363.
7. Y. J. Tan, S. Bailey, B. Kinsella, An investigation of the formation and destruction of corrosion inhibitor films using electrochemical impedance spectroscopy (EIS), *Corr. Sci.* **38** (1996) 1545-1561.
8. J. Zhang, X.L. Gong, H.H. Yu, M. Du, The inhibition mechanism of imidazoline phosphate inhibitor for Q235 steel in hydrochloric acid medium, *Corros. Sci.* **53** (2011) 3324-3330.
9. Lj. M. Vracar, D.M. Drazic, Adsorption and corrosion inhibitive properties of some organic molecules on iron electrode in sulphuric acid, *Corros. Sci.* **44** (2002) 1669-1680.
10. V. Jovancicevic, S. Ramachandran, P. Prince, Inhibition of carbon dioxide corrosion of mild steel by imidazolines and their precursors, *Corrosion* **55** (5) (1999) 449-455.

3. POLAZNE HIPOTEZE

Ispitivanje inhibitora korozije obuhvata širok spektar istraživačke aktivnosti i podrazumeva proučavanje mehanizma delovanja inhibitora, neprekidnu potragu za novim jedinjenjima, kao i procenu efikasnosti ispitivanih inhibitora u realnim industrijskim sistemima.

Primena inhibitora za zaštitu metala nameće potrebu pronalaženja novih inhibitora korozije visoke efikasnosti kao i zamenu toksičnih inhibitora ekološki prihvatljivim. Imidazolinski derivati pripadaju grupi katjonskih površinski aktivnih supstanci, relativno niske toksičnosti, koji se dobro adsorbuju na negativno naelektrisanim površinama metala, što ih čini pogodnim inhibitorima korozije. Kako efikasnost inhibitora zavisi od molekulske strukture i načina interakcije sa površinom metala, ključni faktori su prisutnost polarne grupe i dugog ugljovodoničnog lanca, koji predstavlja barijeru za prodiranje molekula vode i hloridnih jona iz rastvora elektrolita.

U ovoj doktorskoj disertaciji biće ispitana inhibitorska svojstva imidazolinskog derivata smeše viših masnih kiselina i dietilentriamina, TOFA/DETA imidazolina, za zaštitu niskougljeničnog čelika u prisustvu CO₂. Biće detaljno ispitano proces korozije, kao i debljina i trajnost formiranog zaštitnog filma TOFA/DETA imidazolina, što će omogućiti određivanje mehanizma inhibicije, kao i tipa adsorpcije.

U cilju sprečavanja korozije u uslovim kondenzacije neophodno je razviti nove metode nanošenja inhibitora na unutrašnju površinu cevi. Nova metoda inhibicije korozije se zasniva na ubrizgavanju inhibitora korozije u penu kao nosač sa ciljem da se obezbedi ravnomerno nanošenje inhibitora u uslovima kondenzacije. Detaljan pregled literature potvrđuje činjenicu da se ubrizgavanje inhibitora korozije u penu kao nosač može smatrati novom metodom, pri čemu se mora izvršiti optimizacija ove metode i njena verifikacija u cilju njene primene u realnim uslovima.

4. NAUČNE METODE ISTRAŽIVANJA

Predloženi sistem za zaštitu niskougljeničnog čelika od CO₂ korozije biće analiziran različitim tehnikama karakterizacije.

Spektroskopija elektrohemijske impedancije koristiće se za ispitivanje procesa korozije, pri čemu će biti određena otpornost i kapacitivnost filma inhibitora, kapacitivnosti dvojnog sloja, otpornost prenosu naelektrisanja na graničnoj površini metal-elektrolit, kao i stepen pokrivenosti elektrode. Metoda potencijal-vreme biće primenjena za dobijanje kvalitativnih informacija o trajnosti zaštitnog filma inhibitora. Metoda polarizacije krive, kao i metoda linearne polarizacije otpornosti omogućiće određivanje korozionog potencijala, gustine struje korozije i brzine korozije. Ciklična voltametrija biće korišćena za određivanje mehanizma reakcije, kao i tipa adsorpcije.

Gravimetrijska metoda određivanja gubitka mase kao i određivanje brzine korozije na osnovu električne otpornosti biće primenjeni za praćenje brzine korozije i ukupnog gubitka mase metala u tečnoj i gasovitoj fazi. Kvarcna mikro vaga će biti korišćena za praćenje procesa adsorpcije inhibitora i pene, kao i određivanje brzine kondenzacije i brzine korozije u tečnoj i gasovitoj fazi. Ispitivanje morfologije i sastava površine metala sa i bez inhibitora vršiće se primenom skenirajuće elektronske mikroskopije, energetske disperzione spektroskopije, optičke mikroskopije i metodom mikroskopije atomskih sila.

Termodinamički parametri (entalpija adsorpcije, slobodna Gibsova energija adsorpcije, entropija adsorpcije, kao i konstanta ravnoteže adsorpcije) biće određeni u cilju utvrđivanja modela adsorpcione izoterme i definisanja tipa adsorpcije. Mehanizam adsorpcije biće ispitano na inertnom zlatnom supstratu, kao i na realnom metalnom supstratu podložnom koroziji.

5. OČEKIVANI NAUČNI DOPRINOS

Očekuje se da će rezultati istraživanja u okviru ove doktorske disertacije omogućiti:

- efikasniju zaštitu niskougljeničnog čelika API X65 od korozije u prisustvu CO₂ primenom organskog inhibitora korozije, imidazolinskog derivata smeše viših masnih kiselina i dietilentriamina TOFA/DETA imidazolina u tečnoj fazi.
- razvijanje i verifikaciju nove metode nanošenja inhibitora na unutrašnju površinu cevi u uslovima kondenzacije uz primenu pene (natrijum C14-16 olefin - sulfonat) kao nosača inhibitora.
- optimizaciju faktora koji utiču na stabilnost pene i njenu jačinu u cilju postizanja maksimalne efikasnosti inhibitora u sistemu posebno konstruisanom za proučavanje efekata operativnih parametara na koroziju, kao i eventualnu primenu nove metode inhibicije u industriji.

6. PLAN ISTRAŽIVANJA I STRUKTURA RADA

Cilj ovog istraživanja je zaštita niskougljeničnog čelika API X65 od korozije u prisustvu CO₂ primenom organskog inhibitora korozije u tečnoj fazi, kao i ispitivanje nove metode inhibicije korozije niskougljeničnog čelika u prisustvu CO₂ u uslovima kondenzacije primenom pene kao nosača inhibitora. Verifikacija nove metode će biti vršena u staklenoj čeliji i u sistemu sa višefaznim tokom fluida, posebno namenjenom za proučavanje korozije čelika u uslovima kondenzacije.

U prvom delu doktorske disertacije ispitiće se uticaj hemijske strukture inhibitora na brzinu korozije, mehanizam interakcije inhibitora sa površinom čelika, kao i vrste veza koje se uspostavljaju između supstrata i inhibitora. Biće određena efikasnost inhibitora za usporavanje procesa korozije pod dejstvom CO₂. Ispitiće se kompatibilnost inhibitora korozije i sredstva za razvijanje pene, kao i dejstvo različitih faktora na stabilnost pene.

U drugom delu doktorske disertacije verifikacija nove metode će biti vršena u sistemu sa višefaznim tokom fluida, posebno namenjenom za proučavanje korozije čelika u uslovima kondenzacije. Simulacija uslova koji se sreću u praksi od velikog je značaja za procenu validnosti nove metode inhibicije korozije čelika u uslovima kondenzacije. Sistem sa višefaznim tokom fluida pruža realne uslove poput temperature gasa, brzine toka, parcijalnog pritiska CO₂, brzine kondenzacije. Optimizovaće se faktori koji utiču na stabilnost pene i njenu jačinu (koncentracija površinski aktivne supstance i način formiranja pene) u cilju postizanja maksimalne efikasnosti inhibitora, kao i formiranja pene odgovarajuće stabilnosti.

Predviđa se da će u doktorskoj disertaciji biti obrađena sledeća poglavlja: *Uvod, Teorijski deo, Eksperimentalni deo, Rezultati i diskusija, Zaključak, Literatura.*

U poglavlju *Uvod* biće reči o procesu korozije, kao i o različitim metodama zaštite metala od korozije sa akcentom na sprečavanju pojave korozije primenom organskih inhibitora.

Teorijski deo doktorske disertacije obuhvatiće analizu prethodnih istraživanja koja se odnose na:

- mehanizme korozije niskougljeničnog čelika u prisustvu CO₂.
- koroziju u prisustvu CO₂ u uslovima kondenzacije, kao i identifikaciju nekoliko ključnih faktora koji utiču na ovaj fenomen (temperatura gasa, spoljašnja temperatura, ukupni pritisak, parcijalni pritisak CO₂, brzina gasa, brzina kondenzacije i hemijski sastav kondenzata).
- metode kontrole i sprečavanja korozije u uslovima kondenzacije, kao i detaljan opis nove metode inhibicije zasnovane na ubrizgavanju inhibitora korozije u penu kao nosač.

- primenu organskih inhibitora korozije za sprečavanje delovanja agenasa korozije, teorije i pretpostavke o mehanizmu delovanja inhibitora, podele inhibitora korozije, sa akcentom na primeni supstituisanih imidazolinskih derivata kao inhibitora korozije. Određivanje efikasnosti inhibitora, definisanje mehanizma procesa adsorpcije, adsorpcionih izoterma i termodinamičkih parametara.
- primenu pene kao nosača inhibitora korozije, hidrodinamiku pene, strukture i faktore koji utiču na stabilnost pene i njenu jačinu, kao i kompatibilnost inhibitora i sredstva za formiranje pene.

Teorijski deo će takođe sadržati i kratak opis metoda karakterizacije za proučavanja procesa korozije.

U Eksperimentalnom delu će biti navedeni:

- materijali korišćeni za izučavanje zaštite niskougljeničnog čelika od korozije u prisustvu CO₂ primenom organskih inhibitora.
- uslovi merenja vršenih u elektrohemijskoj ćeliji za ispitivanje inhibitorskih svojstava TOFA/DETA imidazolina, kao i metode ispitivanja inhibitora u tečnoj i gasovitoj fazi
- testovi u hidrodinamičkim uslovima, u sistemu posebno konstruisanom za proučavanje efekata operativnih parametara na koroziju ugljeničnog čelika u uslovima kondenzacije; uslovi ispitivanja stabilnosti pene (natrijum C14-16 olefin sulfonat) kao funkcije različitih brzina toka gasa i različitih koncentracija sredstva za razvijanje pene; merenje brzina korozije u uslovima kondenzacije primenom sonde.

U poglavlju *Rezultati i diskusija* biće prikazani i diskutovani eksperimentalni rezultati dobijeni različitim metodama u cilju ispitivanja efikasnosti inhibitora u tečnoj i gasovitoj fazi.

- spektroskopija elektrohemijske impedancije (SEI), za proučavanja procesa korozije
- metoda polarizacione krive, za određivanje korozionog potencijala, brzine korozije i gustine struje korozije
- ciklična voltametrij, za određivanje mehanizma reakcije, redosleda hemijskih stupnjeva, kao i tipa adsorpcije
- gravimetrijska metoda određivanja gubitka mase
- određivanje brzine korozije na osnovu električne otpornosti, za praćenje brzine korozije i ukupnog gubitka mase metala u tečnoj i gasovitoj fazi
- kvarena mikro vaga (QCM), za praćenje procesa adsorpcije inhibitora i pene, kao i određivanje brzine kondenzacije i brzine korozije u tečnoj i gasovitoj fazi.
- skenirajuća elektronska mikroskopija (SEM) i energetska disperziona spektroskopija (EDS), za ispitivanje morfologije i sastava površine metala pre i nakon tretiranja sa inhibitorom
- optička mikroskopija (IFM), za optička merenja
- metoda mikroskopije atomskih sila (AFM), za detaljniju analizu morfologije površine čelika, 3D merenja i merenja hrapavosti površine čelika pre i nakon tretiranja sa inhibitorom
- termodinamički parametri (entalpija adsorpcije, slobodna Gibsova energija adsorpcije, entropija adsorpcije, kao i konstanta ravnoteže adsorpcije) biće određeni u cilju utvrđivanja modela adsorpcione izoterme i definisanja tipa adsorpcije

- merenja u gasovitoj fazi sa ciljem dokazivanja da inhibitor korozije nošen penom, može obezbediti zaštitu niskougljeničnog čelika od korozije u uslovima kondenzacije.

Drugi deo rezultata će se odnositi na ispitivanje i verifikaciju nove metode inhibicije u hidrodinamičkim uslovima, u sistemu posebno konstruisanom za proučavanje efekata operativnih parametara na koroziju niskougljeničnog čelika u uslovima kondenzacije.

- optimizacija tehnike i uslova za formiranje stabilne pene
- ispitivanja stabilnosti pene kao funkcije različitih brzina toka gasa i različitih koncentracija sredstva za razvijanje pene.
- verifikacija nove metode u uslovima višefaznog toka fluida određivanjem brzine korozije na osnovu električne otpornosti.

U *Zaključku* sumiraće se dobijeni rezultati, uz osvrt na njihovu inovativnost, važnost, potencijalnu primenu, kao i plan daljeg rada.

Literatura će sadržati navode citirane u disertaciji, kao i radove proistekle istraživanjem u okviru ove doktorske disertacije.

7. ZAKLJUČAK I PREDLOG

Na osnovu iznetih podataka Komisija smatra da je tema predložene doktorske disertacije Ivane Jevremović, dipl. inž. tehnologije, **Primena organskih inhibitora za sprečavanje pojave korozije niskougleničnog čelika u prisustvu CO₂** naučno zasnovana i predlaže Nastavno-naučnom veću da je prihvati. Za mentora se predlaže Dr Vesna Mišković-Stanković, redovni profesor Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu. Istraživanja u okviru ove doktorske disertacije pripadaju naučnoj oblasti Tehnološko inženjerstvo za koju je Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu matična ustanova.

U Beogradu, 21. januara 2014.

ČLANOVI KOMISIJE

Dr Vesna Mišković-Stanković, red. prof.
Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

Dr Srđan Nešić, red. prof.
Univerziteta u Ohaju, Atina, Ohajo, SAD

Dr Nedeljko Krstajić, red. prof.
Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

Dr Jelena Bajat, van. prof.
Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet