



UNIVERZITET CRNE GORE | POMORSKI FAKULTET KOTOR
UNIVERSITY OF MONTENEGRO | FACULTY OF MARITIME
STUDIES KOTOR

Put I bokeljske brigade 44, 85330 KOTOR
TEL/FAX ++382(0)32 - 303 - 184
CENTRALA ++382(0)32 - 303 - 188
pfkotor@ucg.ac.me, ucg.ac.me/pfkotor
Ž.R. 510-227-38
PIB 02016702
PDV 30/31-03951-6



Kotor, 19.09. 2023.

Broj 01-2612

UNIVERZITET CRNE GORE
Odbor za doktorske studije
Senat Univerziteta
PODGORICA

Poštovani,

U prilogu dostavljam Odluku Vijeća Pomorskog fakulteta Kotor broj 01-2554 od 13.09. 2023. godine, o izvještaju Komisije za ocjenu polaznih istraživanja i ocjene podobnosti doktorske teze i kandidata mr Stanice Nedović.

Zbog predložene izmjene naziva, dostavljam i novu prijavu teme doktorske disertacije. Odluku dostavljam sa svim pratećim materijalima.

S poštovanjem,

DEKAN
Prof.dr Špiro Ivosević



Vijeće Pomorskog fakulteta Kotor na sjednici koja je održana dana 30.09. 2020. godine, u skladu sa čl. 64. stav 2 Statuta Univerziteta i čl. 35. Pravila doktorskih studija, donijelo je sljedeću

O D L U K U

Usvaja se izvještaj Komisije za ocjenu polaznih istraživanja i podobnosti doktorske teze „Istraživanje uticaja korozije na čelike 42CrMo4 (č.4732) i X210CrW12 (č.4150) za primjenu u morskom okruženju“ kandidata mr Stanice Nedović.

Predlaže se Senatu Univerziteta da prihvati kao podobnu doktorsku tezu pod nazivom „Istraživanje uticaja korozije na čelike 42CrMo4 (č.4732) i X210CrW12 (č.4150) za primjenu u morskom okruženju“ i kandidata mr Stanice Nedović.

Ova odluka se dostavlja Odboru za doktorske studije i Senatu Univerziteta.

O b r a z l o ž e n j e

Vijeće Pomorskog fakulteta Kotor je na ovoj sjednici razmatralo Izvještaj komisije o ocjeni podobnosti doktorske teze „Istraživanje uticaja korozije na čelike 42CrMo4 (č.4732) i X210CrW12 (č.4150) za primjenu u morskom okruženju“ i kandidata mr Stanice Nedović, to jest o ocjeni polaznih istraživanja (obrazac D1) i isti prihvatilo, pa je odlučeno kao u dispozitivu.

Vijeće je konstatovalo da je komisija predložila izmjenu naslova, umjesto „Istraživanje uticaja korozije na čelike č.4732, č.4150 i č.3990 za primjenu u morskom okruženju“ naslov se mijenja u „Istraživanje uticaja korozije na čelike 42CrMo4 (č.4732) i X210CrW12 (č.4150) za primjenu u morskom okruženju“ i isto prihvatilo.

Ova odluka se dostavlja Odboru za doktorske studije i Senatu Univerziteta.

Kotor, 13.09. 2023.

Broj 01- 2554



DEKAN

Prof.dr Špiro Ivošević

OCJENA PODOBNOSTI DOKTORSKE TEZE I KANDIDATA

| OPŠTI PODACI O DOKTORANDU | |
|---|--|
| Titula, ime i prezime | Mr Stanica Nedović |
| Fakultet | Pomorski fakultet Kotor |
| Studijski program | Pomorske nauke |
| Broj indeksa | 2/20 |
| Podaci o magistarskom radu | Magistrica inženjerka metalurgije i materijala, Prirodno-tehnički fakultet, Univerzitet u Ljubljani 4.7.2019. Ekološko označavanje na području proizvodnje čelika, ekološko označavanje u metalurškoj industriji, Prirodno-tehnički fakultet u Ljubljani, 2019, 6.67) |
| NASLOV PREDLOŽENE TEME | |
| Na službenom jeziku | Istraživanje uticaja korozije na čelike č. 4732, č. 4150 i č. 3990 za primenu u morskome okruženju |
| Na engleskom jeziku | Investigation of the influence of corrosion on steels č. 4722, č. 4150 and č. 3990 for use in the marine environment |
| Datum prihvatanja teme i kandidata na sjednici Vijeća organizacione jedinice | 16.05.2023. |
| Naučna oblast doktorske disertacije | Metalurgija – Korozija materijala, Pomorske nauke |
| Za navedenu oblast matični su sljedeći fakulteti | |
| Pomorski fakultet u Kotoru, Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu, Republika Srbija, Pomorski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Republika Hrvatska | |
| A. IZVJEŠTAJ SA JAVNE ODBRANE POLAZNIH ISTRAŽIVANJA DOKTORSKE DISERTACIJE | |
| <p>Kandidat mr. Stanica Nedović je pristupila javnoj odbrani polaznih istraživanja doktorske disertacije čiji je naziv „Istraživanje uticaja korozije na čelike č. 4732, č. 4150 i č. 3990 za primenu u morskome okruženju“. Polazna istraživanja predmetne doktorske disertacije, kandidat je branio pred Komisijom u sastavu:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Prof. dr. Goran Vukelić, predsjednik komisije, 2. Prof. dr. Tatjana Volkov-Husović, mentor, 3. Prof. dr. Nikola Mihaljević, član komisije. <p>Kandidat je pripremio kvalitetnu power point prezentaciju i u vremenu predviđenom sa svoje izlaganje iznio sve relevantne podatke koje sadrže polazna istraživanja, a koje se tiču izrade buduće doktorske disertacije.</p> <p>Nakon izlaganja kandidata, članovi Komisije su postavljali pitanja na koja je kandidat uspješno</p> | |

odgovorio.

Komisija je, nakon svega što je kandidat prezentovao, jednoglasno zaključila da je Stanica Nedović uspješno napisala i odbranila polazna istraživanja doktorske disertacije.

B. OCJENA PODOBNOSTI TEME DOKTORSKE DISERTACIJE

B1. Obrazloženje teme

Čelik je najčešće korišćeni konstrukcioni materijal, sa više od milijardu tona koje se godišnje potroše za različite namene. Ova disertacija biće usmerena na primenu dve vrste čelika: 42CrMo4 (č. 4732) i X210CrW12 (č. 4150) u pomorstvu.

Ispitivanja će biti izvedena na uzorcima konstrukcijskog čelika za poboljšanje 42CrMo4 (č. 4732) koji su obrađivani livenjem - *as cast* u pravougaonom obliku ploče-lima te uzorcima alatnog čelika X210CrW12 (č. 4150) koji su obrađeni livenjem - *as cast* u okruglom obliku diska-šipka.

Mali je broj naučnih radova koji istovremenu uključuje ispitivanja korozije i kavitacionih oštećenja povezanih sa dejstvom morske vode iste vrste materijala. U okviru ove teme, upravo će biti fokus na analizi sličnosti i razlika u ponašanju uzoraka čelika izloženih koroziji u morskoj vodi, kao i kavitacionoj eroziji. Posebna pažnja će biti posvećena analizi morfoloških parametara koji opisuju stanje površine uzoraka nakon provedenih ispitivanja. Takođe, pored praćenja površine uzoraka, biće sprovedena i mehanička ispitivanja, kao što je određivanje pritnisne i zatezne čvrstoće i tvdoće.

B2. Cilj i hipoteze

Planirano istraživanje obuhvataće definisanje karakteristika čelika 42CrMo4 (č. 4732) i X210CrW12 (č. 4150) pre ispitivanja, kao i u nakon provedenog ispitivanja korozije u morskom okruženju. Biće analizirane promene hemijskog sastava, utvrđene procene pouzdanosti materijala, istražena mikrostruktura materijala, istražene mehaničkih osobina primenjenih materijala u toku korozije u morskoj vodi.

Kavitaciona ispitivanja će biti izvršena na uzorcima pre ispitivanja korozije, kao referentni podatak, i posle izlaganja morskoj vodi u trajanju od 60 (180) dana. Biće analiziran uticaj korozije na kavitacionu eroziju uzoraka posle dejstva morske vode.

U okviru disertacije biće ispitano postojanje korelacije između degradacije površine uzoraka usled korozije i kavitacione erozije kao posledice izlaganja morskoj vodi.

Hipoteze:

1. Moguće je uspostaviti model povezivanja degradacije površine materijala izloženog korozivnom okolišu sa mehaničkim svojstvima.
2. Moguće je uspostaviti model koji povezuje ponašanje osnovnog materijala sa materijalom izloženog koroziji.
3. Moguće je uspostaviti model odabira najznačajnijih morfoloških karakteristika za karakterizaciju strukture uzoraka posle dejstva korozije i kavitacije.
4. Moguće je dobivenim rezultatima razviti proceduru i model za određivanje pouzdanosti i veka trajanja uzoraka u navedenim uslovima korozije.

B3. Metode i plan istraživanja

U ostvarivanju ciljeva i testiranja hipoteza ovog istraživanja korišće se sledeći materijali i metode:

I – Materijal

Materijal će biti nabavljen sa strane fabrike oružja Tara u Mojkovcu. Svi uzorci čelika 42CrMo4 (č. 4732) i X210CrW12 (č. 4150) neće se termički obrađivati, već će biti u sirovom stanju tokom svih ispitivanja.

Uzorci će biti upotrebljeni za istraživanje ponašanja materijala u morskoj vodi u vremenskom periodu nakon 0, 30, 60, 90, 120 i 180 dana. Upotrebiće se 24 uzorka (za svaki čelik po 12 uzoraka koji će biti istraživani u periodu od početka eksperimenta do 180 dana). Deo uzoraka će bit iskorišćen za ispitivanje kavitacione erozije (pre ispitivanja korozije, i posle 90120 dana) .

II – Metodologija i metode istraživanja

Mikrostruktura uzoraka analiziraće se metodom skening elektronskog mikroskopa (SEM) korišćenjem JOEL JSM-6390Lv mikroskopa. Uzorci pre i nakon korozionih isitivanja kao i kavitaciono erozionog testa biće snimani na optičkom mikroskopu i na SEM-u.

Uzorci će biti potopljeni u morsku vodu. Nakon 30, 60, 90, 120 i 180 dana izlaganja dejstvu morske vode biće urađene SEM mikrofotografije i EDX analiza. Dobijeni hemijski sastav će poslužiti kao osnova za proračun pouzdanosti uzoraka. Mikrofotografije će biti analizirane radi određivanja optimalnog broja morfoloških parametara koji najbolje definišu promene u strukturi uzoraka.

Kavitaciona erozija uzoraka biće određena primenom ultrazvučne vibracione metode (sa stacionarnim uzorkom) prema standardu ASTM G-32. Izbor karakterističnih parametara za ovu metodu kao što su frekvenca vibracije talasovoda, temperatura tečnosti, udaljenost uzorka od čeone površine talasovoda, karakteristike tečnosti izabraće se u skladu sa standardom.

Da bi se ocenila otpornost površine uzorka na kavitacionu eroziju ispitivaće se površina uzorka pre i za vreme testiranja. Interval izlaganja uzorka dejstvu kavitacije i vreme testiranja biće (min): 10; 20; 30; 40; 50; 60; 70; 80. Uzorci će se snimati pre i za vreme testiranja. Pre i posle svakog intervala testiranja uzorci će se sušiti na 110 °C jedan sat. Da bi se dobila kriva erozije posle svakog intervala izlaganja vršiće se merenje uzoraka. Masa testiranih uzoraka meriće se korišćenjem analitičke vage sa preciznošću od ± 0.1 mg.

Analiza površinske degradacije uzorka biće određena primenom programa za analizu slike Image pro Plus. Ovaj program omogućava analizu slike površine uzorka u bilo kom poznatom formatu za slike (TIFF, JPEG, BMP, TGA). Program automatski identifikuje, meri i klasifikuje podatke o analiziranom objektu. Na osnovu podataka korišćenjem programa Excel vršiće se statistička obrada podataka i biće dat grafički prikaz dobijenih rezultata.

Na osnovu dobijenih dijagrama zavisnosti gubitka mase uzorka u vremenu kavitaciono erozionog testa može da se analizira nivo oštećenja uzoraka. Rezultati ispitivanja biće prikazani na dijagramu zavisnosti površinskog nivoa degradacije uzorka (P/P_0) i vremena kavitaciono erozionog testa. Vrednost P_0 predstavlja referentnu površinu bez pojave degradacije (površina bez nedostataka). Vrednosti za P predstavljaju oštećenja na površini uzorka nastala tokom testiranja na kavitacionu eroziju. Ocena ponašanja ispitivanog materijala na uticaj kavitacione erozije može da se analizira na osnovu korelacije ovih rezultata ispitivanja sa strukturom i svojstvima materijala. Rezultati oštećenja površine uzorka u vremenu dejstva kavitacione erozije biće ilustrovani dijagramima. Pratiće se i meriće se sledeći pokazatelji oštećenja površine uzoraka tokom kavitaciono erozionog testa: gubitak mase uzoraka; promena površine uzoraka pri čemu će se analizirati i oceniće se degradacija površine uzoraka korišćenjem IPP linije profila, odrediće se broj formiranih jamica N_p i srednja površina oštećenja (jamica) P_{av} nastalih tokom kavitaciono erozionog testa.

Slična metodologija kao za praćenje kavitacione erozije biće primenjena za analizu površine uzoraka posle korozije u morskoj vodi.

III – Plan istraživanja

Prva faza istraživanja obuhvataće pregled raspoložive literature i saznanja sa teorijskog aspekta istraživanih legura, korozije i procesa korozivnog oštećenja materijala.

U drugoj fazi analiziraće se mikrostruktura čelika koja će biti istraživana optičkim i elektronskim skenirajućim mikroskopom SEM (scanning electron microscopy). Biće sprovedena ispitivanja korozije u morskoj vodi odabranih uzoraka, kao i ispitivanje kavitacione erozije pre izlaganja i posle izlaganja morskoj vodi (180 dana).

- U trećoj fazi izvest će se mehanička ispitivanja čelika X210CrW12 (č. 4150) prema standardu za ispitivanje zatezanjem metala ISO 2768-1/m (eprovete okruglog preseka) kao i ispitivanje čelika 42CrMo4 (č.4732) prema standardu za ispitivanje zatezanjem JUS C. A4.002 1954 (eprovete vađene iz limova ispod 5 mm debljine). Takođe će se meriti tvrdoća po Brinellu, Vickersu i Rockwellu. Eksperimentalni uređaji za merenje tvrdoće sastoje se iz Briro (Reicherter) aparata za merenje tvrdoće po Rockwellu i Briviskop aparata za merenje tvrdoće po Brinellu i Vickersu. Meriće se udarna žilavost čelika prema standardu za ispitivanje žilavosti po Šarpiju JUS C. A4.004 1954.

IV – Publikovanje rezultata

Priprema i publikovanje naučnog članka u međunarodnom časopisu sa SCI liste. Pripremanje, predaja i odbrana doktorske disertacije

B4. Naučni doprinos

Praćenje ponašanja uzoraka čelika u morskoj vodi i analiza njihovog ponašanje će biti praćena na dva načina: praćenjem degradacije površine uzoraka i promenom hemijskog sastava i praćenjem promene mehaničkih svojstava. Biće predložen model povezivanja degradacije površine sa

mehaničkim svojstvima u cilju predviđanja veka trajanja uzorka u uslovima korozije u morskoj vodi.

Ispitivanje kavitacione erozije uzoraka biće određeno pre dejstva korozije u morskoj vodi, i posle izlaganja morskoj vodi u trajanju od 180 dana. Biće predloženi modeli koji povezuju ponašanje osnovnog materijala sa materijalom izloženog koroziji.

U okviru disertacije biće predstavljeni modeli odabira najznačajnijih morfoloških karakteristika za karakterizaciju strukture uzoraka posle dejstva korozije i kavitacije. Dobijeni rezultati biće korišćeni za razvoj procedure i predlog modela za određivanje pouzdanosti i veka trajanja uzoraka u navedenim uslovima.

B5. Finansijska i organizaciona izvodljivost istraživanja

Samofinansiranje. Saradnja sa profesorima sa Pomorskog fakulteta Univerziteta Crne Gore kao i sa profesorima sa Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu i Pomorskog fakulteta u Rijeci, Republika Hrvatska i fabrike oružja Tara u Mojkovcu.

Mišljenje i prijedlog komisije

Komisija je jednoglasna u oceni da je kandidatkinja Stanica Nedović uspešno napisala i odbranila polazna istraživanja doktorske disertacije. Istraživanje materijala na bazi čelika i danas zauzima posebnu pažnju istraživača u raznim oblastima, jer je aktuelna, disertabilna, značajna za industriju, ekologiju, itd.

U literaturi se nalazi mali broj radova koji istovremeno proučavaju koroziju i kavitaciju u morskom okruženju. U okviru ove disertacije će biti ispitivana korozija i kavitaciona otpornost u morskom okruženju dva uzorka čelika. Takođe, deo istraživanja u okviru ove doktorske disertacije biće posvećen definisanju metodologije ispitivanja i praćenja stepena degradacije uzoraka izazvanih korozijom i kavitacionom erozijom u morskoj vodi.

Cilj je da se dobiju odgovarajući parametri i uspostavi procedura koja će dati najviše podataka o ponašanju odabrane grupe čelika u uslovima korozije i kavitacije u morskom okruženju .

Mišljenja smo da kandidatkinja može nastaviti sa daljim procedurama i izradom dokorskog rada.

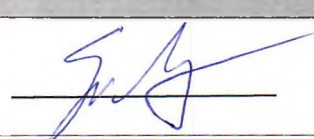
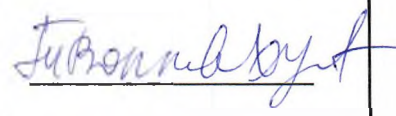
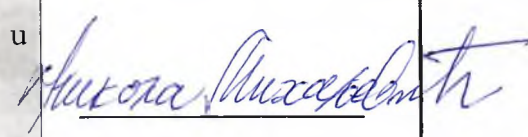

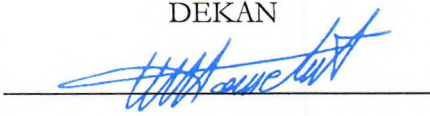
Prijedlog izmjene naslova

Istraživanje uticaja korozije na čelike 42CrMo4 (č.4732) i X210CrW12 (č. 4150) za primenu u morskom okruženju

Investigation of the influence of corrosion on steels 42CrMo4 (č.4732) and X210CrW12 (č. 4150) for use in the marine environment

Prijedlog promjene mentora i/ili imenovanje drugog mentora

-

| | | |
|--|--|---|
| Planirana odbrana doktorske disertacije | | |
| 2024. | | |
| Izdvojeno mišljenje | | |
| - | | |
| Napomena | | |
| | | |
| ZAKLJUČAK | | |
| Predložena tema po svom sadržaju odgovara nivou doktorskih studija. | DA | NE |
| Tema je originalan naučno-istraživački rad koji odgovara međunarodnim kriterijumima kvaliteta disertacije. | DA | NE |
| Kandidat može na osnovu sopstvenog akademskog kvaliteta i stečenog znanja da uz adekvatno mentorsko vođenje realizuje postavljeni cilj i dokaže hipoteze. | DA | NE |
| Komisija za ocjenu podobnosti teme i kandidata | | |
| Prof. Dr. Goran Vukelić, Pomorski fakultet u Rijeci, Republika Hrvatska |  | |
| Prof. Dr. Tatjana Volkov Husović, Tehnološko-metalurški fakultet u Beogradu, Republika Srbija , mentor |  | |
| Prof. Dr. Nikola Mihaljević, Pomorski fakultet u Kotoru, Crna Gora , član komisije |  | |
| U Kotoru, 18.07.2023.. godine |  | DEKAN  |

PRILOG

| PITANJA KOMISIJE ZA OCJENU PODOBNOSTI DOKTORSKE TEZE I KANDIDATA | |
|---|--|
| <p>Prof. dr. Goran Vukelić, Pomorski fakultet u Rijeci, Republika Hrvatska, predsednik komisije</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. Hoće li se istraživanja provoditi u stvarnom morskome okolišu ili u laboratorijskom uvjetima gdje će se morski okoliš simulirati? 2. Kolika je opravdanost ispitivanja čelika č.3990 u morskome okruženju? 3. Kako prilagoditi teoriju pouzdanosti na primjenu kod korozije ispitnih uzoraka, a ne stvarnih konstrukcija u pogonu? 4. Obrazložiti cilj istraživanja, tj. navesti konkretan rezultat predloženog istraživanja. 5. Hipoteze prilagoditi konkretnom istraživanju kako bi opisale stvarne, a ne uopćene, izazove na koje istraživanje želi dati odgovore. 6. Koji broj uzoraka će se koristiti za ispitivanje i u kojem će vremenskom rasponu biti izloženi utjecaju korozije? |
| <p>Prof. dr. Tatjana Volkov Husović, Tehnološko-metalurški fakultet u Beogradu, Republika Srbija, mentor</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. Koristiti SI sustav za označavanje ispitivanih materijala. 2. Kakve odgovore o stanju materijala nakon izlaganja korozivnom okolišu će dati mikroskopska analiza? 3. Razlika ispitivanja u morskoj vodi ili laboratoriju? |
| <p>Prof. Dr. Nikola Mihaljević, Pomorski fakultet u Kotoru, Crna Gora, član komisije</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. Opis postupka ispitivanja EDX metodom i predstavljanje dobivenih rezultata? |
| PITANJA PUBLIKE DATA U PISANOJ FORMI | |
| (Ime i prezime) | <div style="border-bottom: 1px dashed black; height: 15px; width: 100%;"></div> <div style="border-bottom: 1px dashed black; height: 15px; width: 100%;"></div> |
| (Ime i prezime) | <div style="border-bottom: 1px dashed black; height: 15px; width: 100%;"></div> <div style="border-bottom: 1px dashed black; height: 15px; width: 100%;"></div> |
| (Ime i prezime) | <div style="border-bottom: 1px dashed black; height: 15px; width: 100%;"></div> <div style="border-bottom: 1px dashed black; height: 15px; width: 100%;"></div> |
| ZNAČAJNI KOMENTARI | |
| <div style="border-bottom: 1px dashed black; height: 20px; width: 100%;"></div> <div style="border-bottom: 1px dashed black; height: 20px; width: 100%;"></div> | |

PRIJAVA TEME DOKTORSKE DISERTACIJE

| OPŠTI PODACI O DOKTORANDU | |
|----------------------------|---|
| Titula, ime i prezime | Stanica Nedović |
| Fakultet | Pomorski fakultet Kotor |
| Studijski program | Pomorske nauke |
| Broj indeksa | 2/20 |
| Ime i prezime roditelja | Radisav Nedović |
| Datum i mjesto rođenja | 12.1.1994, Podgorica |
| Adresa prebivališta | Prijelozi 54, Zaton 84303, Bijelo Polje |
| Telefon | 067 163 960 |
| E-mail | snedovic335@gmail.com |
| BIOGRAFIJA I BIBLIOGRAFIJA | |
| Obrazovanje | Magistrica Inženjerka Metalurgije i materijala, Prirodno-tehnički fakultet, Univerzitet u Ljubljani, 4.7.2019, prosečna ocena 6,67 Univerzitetno diplomirana Inženjerka materijala, Prirodno-tehnički fakultet, Univerzitet u Ljubljani, 27.9.2017, prosečna ocena 7,25 |
| Radno iskustvo | Radno angažovanje pod nazivom Glavni tehnolog za materijale i termičku obradu, Fabrika oružja Tara Aerospace Mojkovac, 2023 napred Radno angažovanje pod nazivom Procesni inženjer, Aluminijski Kombinat Podgorica, 2022 Pripravnički rad, Pomorski fakultet Kotor, 2021 Praksa za magistarski rad, Institut za metalne materijale u Ljubljani, 2019 |
| Popis radova | [1] Nedović, S., Ivošević, Š., Influence of corrosion on the reliability of SMA materials in the marine environment (2021). 1st Kotor Internationale maritime conference, 2021, Kotor, Montenegro, 26-27 November, 2021. [2] Nedović, S., Ivošević, Š., Corrosion of SMA materials (2021). 9th International conference of social and technological development, 2021, Trebinje, Bosnia and Hercegovina, 3-6 June, 2021. |
| NASLOV PREDLOŽENE TEME | |
| Na službenom jeziku | Istraživanje uticaja koroziije na čelike 42CrMo4 (č.4732) i X210CrW12 (č. 4150) za primenuu morskome okruženju |
| Na engleskom jeziku | Investigation of the influence of corrosion on steels 42CrMo4 (č.4732) and X210CrW12 (č. 4150) for use in the marine environment |
| Obrazloženje teme | |

(do 1000 karaktera)

Čelik je najčešće korišćeni konstrukcioni materijal, sa više od milijardu tona koje se godišnje potroše za različite namene. Ova disertacija biće usmerena na primenu dve vrste čelika: 42CrMo4 (č. 4732) i X210CrW12 (č. 4150) u pomorstvu.

Ispitivanja će biti izvedena na uzorcima konstrukcijskog čelika za poboljšanje 42CrMo4 (č. 4732) koji su obrađivani livenjem - as cast u pravougaonom obliku ploče-lima te uzorcima alatnog čelika X210CrW12 (č. 4150) koji su obrađeni livenjem - as cast u okruglom obliku diska-šipka.

Mali je broj naučnih radova koji istovremenu uključuje ispitivanja korozije i kavitacionih oštećenja povezanih sa dejstvom morske vode iste vrste materijala. U okviru ove teme, upravo će biti fokus na analizi sličnosti i razlika u ponašanju uzoraka čelika izloženih koroziji u morskoj vodi, kao i kavitacionoj eroziji. Posebna pažnja će biti posvećena analizi morfoloških parametara koji opisuju stanje površine uzoraka nakon provedenih ispitivanja. Takođe, pored praćenja površine uzoraka, biće sprovedena i mehanička ispitivanja, kao što je određivanje pritisne i zatezne čvrstoće i tvrdoće.

Pregled istraživanja

(do 7000 karaktera)

Čelici su najkompleksniji i najšire upotrebljeni inženjerski materijali zbog mnoštva gvožđa u zemljinoj kori, visoke temperature topljenja gvožđa (1534°C), niskih mehaničkih osobina, kao što su umerena (200–300 MPa) granica tečenja sa odličnom duktilnošću do napona tečenja iznad 1400 MPa sa žilavošću loma do 100 MPam⁻² i povezane mikrostrukture proizvedene faznim transformacijama u čvrstom stanju, variranjem brzine hlađenja pod austenitnim uslovima [2].

Morska voda je složena mješavina anorganskih soli, rastvorenih gasova, suspendovanih čvrstih supstanci, organskih materija i organizama. Hlorid u morskoj vodi može uništiti oksidni film na površini metala i formirati kompleks s metalnim jonima, koji formiraju vodonične jone tokom hidrolize, tako da se povećuje kiselost morske vode i lokalna korozija metala napreduje [3, 4]. Uz natrijeve i hloridne jone znatnije su zastupljeni magnezijevi, kalcijevi i kalijevi joni, koji čine jake alkalije, takođe sulfati i bikarbonati koji čine slabe kiseline, zato je pH bazičan, oko 8. Katijoni u morskoj vodi većinom su nekompleksnog oblika, dok su anijoni pored izuzetka hlorida prisutni u raznim kompleksnim oblicima. Oko 13% magnezijuma i 9% kalcijuma u okeanima je u obliku magnezijum-sulfata i kalcijum-sulfata, dok su više od 90% karbonata, 50% sulfata i 30% bikarbonata u kompleksnom obliku [5, 6, 7, 8].

Korozija se definiše kao postepena degradacija osobina metala uzrokovana hemijskom reakcijom ili elektrohemijskom reakcijom sa okolnom atmosferom. Fizičko raspadanje metala klasifikuje se kao oštećenje, habanje i erozija. Metali se razgrađuju u dodiru sa vlagom/vodom (H₂O), bazama (NaOH, CaCO₃, NaHCO₃ itd.), kiselinama (HCl, H₂SO₄, HNO₃, itd.), solima (NaCl), tečnim hemikalijama, agresivni metalnim lakovima i gasovima (formaldehid, gasovi koji sadrže sumpor i amonijak. Hemijska korozija metala je (neelektrolitni) mehanizam djelovanja korozije koja se razumije kao posledica hemijskih reakcija među atomima kristalne rešetke metala i molekula nekog elementa ili jedinjenja iz okoline, gdje se formiraju molekule jedinjenja koje predstavljaju korozijski produkt. Elektrohemijska korozija je (elektrolitni) mehanizam djelovanja korozije u vodenim rastvorima, njihove površine istovremeno imaju najmanje dvije različite reakcije elektroda, od kojih je jedna reakcija oksidacije metala (anodni postupak), a druga reakcija redukcija oksidansa u rastvoru (katodni postupak) [9, 10, 11].

Konstruktivski čelik č. 4732 podložan je jamičastoj koroziji (pitting corrosion) i koroziji pukotina (corrosion cavity), koje su posledica velike korozivnosti u morskoj vodi i pojava elektrohemijskih reakcija. Homogenizovana mikrostruktura nakon kaljenja i popuštanja je uzrok bolje otpornosti na koroziju čelika č. 4732 [12]. Površinski sloj osnovnog materijala substrata povećuje otpornost na koroziju zbog ujednačenih karbida i kompaktne mikrostrukture [13]. Prema ispitivanjima alatni čelik č. 4150 neobrađen i obrađen korodira u morskoj vodi. Prema ispitivanjima dokazano je da na površini prethodno obrađenog čelika č. 4150 dolazi do formiranja jamica (pits) [14]. Različite studije pružaju jasne dokaze o povećanju otpornosti na koroziju (55–65%) čelika č. 4150 primenom duboke kriogene obrade u morskoj vodi [15]. Međutim u drugim ispitivanjima u kojima je takođe primenjena duboka kriogena termička obrada smanjena je otpornost na koroziju alatnog čelika 1.2080 za 54% [16]. Različita ispitivanja ukazuju na bolju otpornost na koroziju osnovnih materijala supstrata koja je poboljšana pasivizacijom različitih prevlaka kao što su prevlake od vanadijumovih karbida, titanijum volframovih nitrida i hafnijumovih karbonitrida za razliku od čelične podloge alatnog čelika č. 4150 bez prevlaka [17, 18, 19].

Metode ispitivanja korozije koriste se za proučavanje ispuštanja komponenata u rastvor tokom razgradnje oblika otpada. Metode ispitivanja korozije mogu biti imerzijsko testiranje korozije, polarizacijsko testiranje korozije i sulfidno testiranje korozije. Sve tri pomenute vrste metoda ispitivanja korozije primeniće se u ovom istraživanju. Standardna praksa ASTM (ASTM International, American society for testing and materials – ASTM, Međunarodna organizacija za standardizaciju) postupka za laboratorijsko ispitivanje korozije uronjenom korozijom pruža standardiziranu metodu za direktno mjerenje gubitka mase u laboratorijskim testovima potapanja radi određivanja opšte stope korozije metala [20]. Novija istraživanja osjetljivosti na pitting koroziju procijenjeni metodom ciklične potenciodinamičke polarizacije pokazali su da PSII (PSII, Plasma source ion implantation technique – tehnika implantacije/ugrađivanja izvora jona u plazmi) može poboljšati otpornost na pitting koroziju. Ova tehnika ima nekoliko prednosti u odnosu na druge metode premazivanja i implantacije [21, 22], u vidu zaštite od pitting korozije.

Neke od metoda zaštite od korozije u desaliniziranoj morskoj vodi su izbor odgovarajućih materijala, obrada površine i premazivanje, katodna zaštita i inhibitori korozije. Tehnologije površinske obrade i premazivanja fokusiraju se na interfejs metalnih materijala i korozivnog medija. Katodna zaštita je elektrohemijska metoda za smanjenje korozije. Ova metoda štiti metal pružanjem određene količine struje za katodnu polarizaciju, čini potencijal metala negativnim i termodinamički stabilnim područjem. Inhibicija korozije je metoda dodavanja hemikalija u korozivne podloge i fizičkim, hemijskim ili fizičko-hemijskim reakcijama usporavanje brzine korozije metala, zadržavajući izvorne fizičke, hemijske i mehaničke osobine metalnih materijala [4].

Upotrebom različitih metoda poput EDX analize i teorije pouzdanosti utvrdiće se uticaj korozije i oceniti pouzdanost čelika č. 4732 i č.4150 u morskom okruženju. Određena istraživanja kao što su istraživanja autora Po Zhang-a i saradnika navode da na slikama SEM (Scanning electron microscopy - Skeniranje elektronskom mikroskopijom) morfologije, mogu se uočiti korozivne jamice i pukotine, koje su posledica jake korozivnosti morske vode i pojave elektrohemijskih reakcija [23]. Pored pomenutih metoda upotrebiće se različite mehaničke metode poput zateznog ispitivanja, mjerenje tvrdoće, mjerenje žilavosti sa ciljem da se istraži kakve su mehaničke osobine čelika č. 4732 i č. 4150. Takođe će biti sprovedena ispitivanja kavitacije. Svrha većine laboratorijskih testova kavitacione erozije je da se predvidi svojstva materijala na delovanje kavitacije hidraulične mašine [24, 25]. Kao na primer polazna istraživanja koja su u sklopu doktorske disertacije Jahnabi Basumatary, koji je sproveo analizu ispitivanja kavitacione erozije-korozije na materijalima brodskih propelera [26].

Studija Karlsena i Lemuja podržava primenu sistema klinova za proširenje koji se apliciraju za dizanje i bušenje opreme u građevinarstvu, priobalnim i pomorskim sektorima. Skoro svaka vrsta teške opreme u skoro svim vrstama industrije ima klinove za smicanje u spojevima da bi se omogućilo kretanje između različitih delova. Materijal klina je iz tog razloga obično iz čelika, kao što je kvalitetni čelik č. 4732 (42CrMo4 + termička obrada) koji ima višu čvrstoću od nosača. Sistem klinova je relativno dobro poznat kod norveških proizvođača originalne opreme (original equipment manufacturer) pomorskih i priobalnih dizalica kao i kod opreme za bušenje [27]. Istraživanja Adine Sarca i sar. dali su uvid u primenu optimizacije strukture glavne osovine (vratila) brodskog vitla i tehnologije njegove izrade. Materijal od kojeg je izrađena osovina je legirani čelik č. 4732 (42CrMo4) [28]. Rezultati istraživanja Manuela de Fonte i sar. daju uvid u procenu radnog veka na zamor radilice brodskih dizel motora. Materijal iz kojeg je izrađena poluga je konstrukcijski čelik č. 4732 (42CrMo4) [29]. Lutz Krüger i saradnici zauzimali su se za razvoj inovativnog lakog klipa kombinacijom procesa "livenja-kovanja". Razvoj inovativnog hibridnog lakog na težini klipa za brodske motore namenjen je smanjenju emisija i operativnih troškova. Gornji deo klipa je izrađen iz kompozitnog materijala 42CrMo4-René 41 koji je sastavljen iz livenog konstrukcijskog čelika č. 4732 i dodatnog sloja prevlake koji je iz materijala René 41 (legura na bazi nikla). Pored ove vrste prevlake čelika č. 4732, sa primarnim ciljem poboljšanja otpornosti na koroziju pri visokim temperaturama i značajnog povećanja čvrstoće, razvijena je legura MCG3 od strane Gesenkschmiede Schneider GmbH Aalen (proizvođač oruđa).

Ova legura je osnovana na čeliku 42CrMo4, ali ima veći sadržaj silicijuma. Istovremeno je razvijena i

legura MCG35 koja ima veći sadržaj hroma i silicijuma [30]. Istraživanja Lehnert-a i saradnika pružila su još jednu mogućnost za razvoj inovativnih komponenti komore za sagorevanje za primenu kod velikih brodskih motora. Procena istraživanja livenja za određivanje ponašanja punjenja kalupa uključila je merenje livenih greda uzoraka i određivanje ugla kvašenja (wetting angle) za čelik č. 4732, leguru MCG3 i leguru MCG35 [31]. Zuo i saradnici razvili su višeciklusni proces kaljenja-odvajanja (partitioning)-popuštanja i njegove primene u inženjerstvu. Čelici za kaljenje-odvajanje-popuštanje koji se nazivaju Q-P-T (quenching-partitioning-tempering) postali su novi član porodice naprednih čelika visoke čvrstoće. Prethodna istraživanja pokazuju da čelici obrađeni postupkom Q-P-T pokazuju bolje kombinacije čvrstoće i izduženja od čelika obrađenih tradicionalnim kaljenjem i popuštanjem (Q&T). Imajući u vidu ograničenje vremena tehnologije kaljenja za radne komade velikih dimenzija, razvili su novu tehnologiju naizmeničnog vremensko tampiranog kaljenja ATQ (alternately timed quenching) u vodi ili na vazduhu, koja je zapravo Q&P ili Q-P-T proces. Odabrani uzorci materijala obrađenih ATQ tehnologijom, kao što je plastična matrica od čelika 718, brodska radilica iz konstrukcijskog čelika č. 4732 (42CrMo4) i vretena sa vetroelektričnim pogonom, dokazali su da je primena ATQ tehnologije u inženjerstvu, umesto kaljenja u ulju ili kaljenja u vodenim rastvorima polimerom, proizvela značajnije upotrebe u ekonomiji i zaštiti životne sredine više od 10 godina u Kini [32]. Paula Suzanne van Lieshout u istraživanjima koja su sprovedena na tehničkom univerzitetu u Delftu u okviru svoje disertacije predlaže upotrebu heksapoda za multiaksialno ispitivanje na zamor brodskih konstrukcija pod neproporcionalnim konstantnim i promenljivim amplitudnim opterećenjem. Kućište palube je izrađeno iz kovanog čelika 42CrMoS4. 42CrMoS4 je čelik za direktno kaljenje poput konstrukcijskog čelika č. 4731 (42CrMo4), ali sa kontrolisanim sadržajem sumpora za poboljšanu obradivost [33].

Preduzeće Kanak Metal&Alloys iz Indije je glavni dobavljač i izvoznik cevni spojnice na globalnom tržištu. Jedne od njihovih proizvoda su okrugle šipke iz alatnog čelika D3(1.2080/X210Cr12) koje se primenjuju u brodograđevinskoj industriji, u postrojenjima za naftu i gas, u elektroprivredi i tako napred [34]. Obrada elektroerozijom (electrical discharge machining) ili potapanje (die sinking) jedna je od najčešće primenjenih metoda mašinske obrade. Istraživanja Sadra i saradnika pružaju uvid u uticaje glavnih parametara kao što su napon, struja, trajanje impulsa i vreme isključivanja impulsa i njihova interakcija na određivanje optimalnog stanja alatnog čelika D3 (1.2080) [35].

Prema određenim pravilima za klasifikaciju brodova DNV (Det Norske Veritas) i IACS (International association of classification societies) pravilima za klasifikaciju brodova za rasuti teret i tankera za naftu primenjuju se legure za livenje skladne standardu EN 1706 (European standards) i sve unutrašnje i spoljašnje površine obloga i poklopaca otvora kao i sve unutrašnje površine skladišta tereta (bočne i poprečne pregrade) moraju imati efikasan zaštitni premaz epoksidnog tipa. Primenjuju se i DNV GL-CG-0288 pravila za korozijsku zaštitu brodova koja ukazuju na upotrebu katodne zaštite i premaza poput vrućeg cinkovanja i termički raspršenih premaza [36, 37, 38].

Predmet polaznih istraživanja predstavljaće ispitivanje uticaja korozije različitih vrsta čelika koji će biti izloženi do tri meseca i do šest meseci u morskom okruženju. Istraživaće se uticaj korozije čelika č. 4732 i č. 4150 upotrebom metode ubrzanog ispitivanja korozije, EDX analize i teorije pouzdanosti u morskom okruženju. Izvedena biće mikrostrukturna karakterizacija upotrebljivanih materijala. Takođe će biti sprovedena kavitaciona ispitivanja. Nastavak istraživanja će se usmeriti na mehanička ispitivanja primenjenih materijala prema različitim metodama kao što su ispitivanja zatezanjem, mjerenje tvrdoće, merenje žilavosti.

Cilj i hipoteze

(do 700 karaktera)

Planirano istraživanje obuhvataće definisanje karakteristika čelika 42CrMo4 (č. 4732) i X210CrW12 (č. 4150) pre ispitivanja, kao i u nakon provedenog ispitivanja korozije u morskom okruženju. Biće analizirane promene hemijskog sastava, utvrđene procene pouzdanosti materijala, istražena mikrostruktura materijala, istražene mehaničkih osobina primenjenih materijala u toku korozije u morskoj vodi.

Kavitaciona ispitivanja će biti izvršena na uzorcima pre ispitivanja korozije, kao referentni podatak, i posle izlaganja morskoj vodi u trajanju od 60 (180) dana. Biće analiziran uticaj korozije na kavitacionu eroziju uzoraka posle dejstva morske vode.

U okviru disertacije biće ispitano postojanje korelacije između degradacije površine uzoraka usled korozije i kavitacione erozije kao posledice izlaganja morskoj vodi.

Hipoteze:

1. Moguće je uspostaviti model povezivanja degradacije površine materijala izloženog korozivnom okolišu sa mehaničkim svojstvima.
2. Moguće je uspostaviti model koji povezuje ponašanje osnovnog materijala sa materijalom izloženog koroziji.
3. Moguće je uspostaviti model odabira najznačajnijih morfoloških karakteristika za karakterizaciju strukture uzoraka posle dejstva korozije i kavitacije.
4. Moguće je dobivenim rezultatima razviti proceduru i model za određivanje pouzdanosti i veka trajanja uzoraka u navedenim uslovima korozije.

Materijali, metode i plan istraživanja

(do 7000 karaktera)

Plan istraživanja baziran je na osnovnim principima metodologije naučnog rada. Metodologija obuhvata nekoliko faza:

I – Materijal

Materijal će biti nabavljen sa strane fabrike oružja Tara u Mojkovcu. Svi uzorci čelika 42CrMo4 (č. 4732) i X210CrW12 (č. 4150) neće se termički obrađivati, već će biti u sirovom stanju tokom svih ispitivanja.

Uzorci će biti upotrebljeni za istraživanje ponašanja materijala u morskoj vodi u vremenskom periodu nakon 0, 30, 60, 90, 120 i 180 dana. Upotrebiće se 24 uzorka (za svaki čelik po 12 uzoraka koji će biti istraživani u periodu od početka eksperimenta do 180 dana). Deo uzoraka će bit iskorišćen za ispitivanje kavitacione erozije (pre ispitivanja korozije, i posle 90120 dana).

II – Metodologija i metode istraživanja

Mikrostruktura uzoraka analiziraće se metodom skening elektronskog mikroskopa (SEM) korišćenjem JOEL JSM-6390Lv mikroskopa. Uzorci pre i nakon korozionih isitivanja kao i kavitaciono erozionog testa biće snimani na optičkom mikroskopu i na SEM-u.

Uzorci će biti potopljeni u morsku vodu. Nakon 30, 60, 90, 120 i 180 dana izlaganja dejstvu morske vode biće urađene SEM mikrofotografije i EDX analiza. Dobijeni hemijski sastav će poslužiti kao osnova za proračun pouzdanosti uzoraka. Mikrofotografije će biti analizirane radi određivanja optimalnog broja morfoloških parametara koji najbolje definišu promene u strukturi uzoraka.

Kavitaciona erozija uzoraka biće određena primenom ultrazvučne vibracione metode (sa stacionarnim uzorkom) prema standardu ASTM G-32. Izbor karakterističnih parametara za ovu metodu kao što su frekvencija vibracije talasovoda, temperatura tečnosti, udaljenost uzorka od čeone površine talasovoda, karakteristike tečnosti izabraće se u skladu sa standardom.

Da bi se ocenila otpornost površine uzorka na kavitacionu eroziju ispitivaće se površina uzorka pre i za vreme testiranja. Interval izlaganja uzorka dejstvu kavitacije i vreme testiranja biće (min): 10; 20; 30; 40; 50; 60; 70; 80. Uzorci će se snimati pre i za vreme testiranja. Pre i posle svakog intervala testiranja uzorci će se sušiti na 110 °C jedan sat. Da bi se dobila kriva erozije posle svakog intervala izlaganja vršiće se merenje uzoraka. Masa testiranih uzoraka meriće se korišćenjem analitičke vage sa preciznošću od ± 0.1 mg.

Analiza površinske degradacije uzorka biće određena primenom programa za analizu slike Image pro Plus. Ovaj program omogućava analizu slike površine uzorka u bilo kom poznatom formatu za slike (TIFF, JPEG, BMP, TGA). Program automatski identifikuje, meri i klasifikuje podatke o analiziranom objektu. Na osnovu podataka korišćenjem programa Excel vršiće se statistička obrada podataka i biće dat grafički prikaz dobijenih rezultata.

Na osnovu dobijenih dijagrama zavisnosti gubitka mase uzorka u vremenu kavitaciono erozionog testa može da se analizira nivo oštećenja uzoraka. Rezultati ispitivanja biće prikazani na dijagramu zavisnosti površinskog nivoa degradacije uzorka (P/P_0) i vremena kavitaciono erozionog testa. Vrednost P_0 predstavlja referentnu površinu bez pojave degradacije (površina bez nedostataka). Vrednosti za P predstavljaju oštećenja na površini uzorka nastala tokom testiranja na kavitacionu eroziju. Ocena ponašanja ispitivanog materijala na uticaj kavitacione erozije može da se analizira na osnovu korelacije ovih rezultata ispitivanja sa strukturom i svojstvima materijala. Rezultati oštećenja površine uzorka u vremenu dejstva kavitacione erozije biće ilustrovani dijagramima. Pratiće se i meriće se sledeći pokazatelji oštećenja površine uzoraka tokom kavitaciono erozionog testa: gubitak mase uzoraka; promena površine uzorka pri čemu će se analizirati i oćeniće se degradacija površine uzoraka korišćenjem IPP linije profila, odrediće se broj formiranih jamica N_p i srednja površina oštećenja (jamica) P_{av} nastalih tokom kavitaciono erozionog testa.

Slična metodologija kao za praćenje kavitacione erozije biće primenjena za analizu površine uzoraka posle korozije u morskoj vodi.

III – Plan istraživanja

Prva faza istraživanja obuhvataće pregled raspoložive literature i saznanja sa teorijskog aspekta istraživanih legura, korozije i procesa korozivnog oštećenja materijala.

U drugoj fazi analiziraće se mikrostruktura čelika koja će biti istraživana optičkim i elektronskim skenirajućim mikroskopom SEM (scanning electron microscopy). Biće sprovedena ispitivanja korozije u morskoj vodi odabranih uzoraka, kao i ispitivanje kavitacione erozije pre izlaganja i posle izlaganja morskoj vodi (180 dana).

U trećoj fazi izvest će se mehanička ispitivanja čelika X210CrW12 (č. 4150) prema standardu za ispitivanje zatezanjem metala ISO 2768-1/m (epruvete okruglog preseka) kao i ispitivanje čelika 42CrMo4 (č.4732) prema standardu za ispitivanje zatezanjem JUS C. A4.002 1954 (epruvete vađene iz limova ispod 5 mm debljine). Takođe će se meriti tvrdoća po Brinellu, Vickersu i Rockwellu. Eksperimentalni uređaji za merenje tvrdoće sastoje se iz Briro (Reicherter) aparata za merenje tvrdoće po Rockwellu i Briviskop aparata za merenje tvrdoće po Brinellu i Vickersu. Meriće se udarna žilavost čelika prema standardu za ispitivanje žilavosti po Šarpiju JUS C. A4.004 1954.

IV – Publikovanje rezultata

Priprema i publikovanje naučnog članka u međunarodnom časopisu sa SCI liste. Pripremanje, predaja i odbrana doktorske disertacije.

Očekivani naučni doprinos

(do 500 karaktera)

Praćenje ponašanja uzoraka čelika u morskoj vodi i analiza njihovog ponašanje će biti praćena na dva načina: praćenjem degradacije površine uzoraka i promenom hemijskog sastava i praćenjem promene mehaničkih svojstava. Biće predložen model povezivanja degradacije površine samehaničkim svojstvima u cilju predviđanja veka trajanja uzorka u uslovima korozije u morskoj vodi.

Ispitivanje kavitacione erozije uzoraka biće određeno pre dejstva korozije u morskoj vodi, i posle izlaganja morskoj vodi u trajanju od 180 dana. Biće predloženi modeli koji povezuju ponašanje osnovnog materijala sa materijalom izloženog koroziji.

U okviru disertacije biće predstavljeni modeli odabira najznačajnijih morfoloških karakteristika za karakterizaciju strukture uzoraka posle dejstva korozije i kavitacije. Dobijeni rezultati biće korišćeni za razvoj procedure i predlog modela za određivanje pouzdanosti i veka trajanja uzoraka u navedenim uslovima.

Spisak objavljenih radova kandidata

1] Nedović, S., Ivošević, Š., Influence of corrosion on the reliability of SMA materials in the marine environment (2021).

1st Kotor Internationale maritime conference, 2021, Kotor, Montenegro, 26-27 November, 2021.

[2] Nedović, S., Ivošević, Š., Corrosion of SMA materials (2021).

9th International conference of social and techonological development, 2021, Trebinje, Bosnia and Hercegovina, 3-6 June, 2021.

Popis literature

(do 30 referenci)

- [1] H. Bhadeshia / R. Honeycombe, „Steels: microstructure and properties,“ University of Cambridge, first edition, pp. 1-4, 1980.
- [2] G. E. Totten, „Steel heat treatment handbook,“ Portland state university, second edition, pp. 2-8. 2007.
- [3] B. Todd, „Nickel-containing materials in marine and related environments,“ 25 th annual conference of metallurgist, pp. 6-7, 1986.
- [4] X. Hou, L. Gao, Z. Cui / J. Yin, „Corrosion and protection of metal in the seawater desalination,“ IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, vol. 108, pp. 2-3, 2018.
- [5] M. Gojić, L. Vrsalović, S. Kožuh, A. Kneissl, A. Ivan, S. Gudić, B. Kosec / M. Kliškić, „Electrochemical and microstructural study of Cu-Al-Ni shape memory alloys,“ Journal of alloys and compounds, vol. 509, pp. 9782-9790, 2011.
- [6] R. Akid, „Corrosion of engineering materials,“ pp. 503-508, 2004.
- [7] E. D. Goldberg, „Composition of sea-water,“ Wiley, pp. 3-5, 2005.
- [8] P. R. Roberge, „Handbook of corrosion engineering,“ McGraw-Hill Inc, pp. 136- 201, 2000.
- [9] P. B. Raja, M. Ismail, S. Ghoreishiamiri, J. Mirza, M. C. Ismail, S. Kakooei / A. A. Rahim, „Reviews on corrosion inhibitors – a short view,“ Chemical engineering communications, pp. 1-4, 2016.
- [10] E. Kristana / K. Huljev, „Utjecaj mikroorganizama i njihovih metabolita na stabilnost konstrukcijskih materijala u morskoj vodi,“ Sveučilište u Zagrebu, pp. 3-4, 2013.
- [11] Y. Huang / J. Zhang, „Materials corrosion and protection,“ Shanghai Jiao Tong University press, pp. 59-81, 2018.
- [12] S. S. Hanza, L. Štic, L. Liverić / V. Špada, „Corrosion behaviour of tempered 42CrMo4 steel,“ Materials and technology, vol. 55, no. 3, 427-430, 2021.
- [13] Q. Xu, Y. Liu, H. Lu, J. Liu / G. Cai, „Surface integrity and corrosion resistance of 42CrMo4 high-strength steel strengthened by hard turning,“ Materials, vol 14, no. 22, pp. 1-3, 2021.
- [14] I. Uygur, H. Gerengi, Y. Arslan / M. Kurtay, „The effects of cryogenic treatment on the corrosion of AISI D3 steel,“ Materials research, vol. 18, no. 3, pp. 569-572, 2015.
- [15] P. Jovičević-Klug, T. Kranjec, M. Jovičević-Klug, T. Kosec / B. Podgornik, „Influence of the deep cryogenic treatment on AISI 52100 and AISI D3 steel’s corrosion resistance,“ Materials, no. 14, pp. 1-4, 2021.
- [16] K. Amini, A. Akhbarizadeh / S. Javadpour, „Investigating the effect of the deep cryogenic heat treatment on the mechanical properties and corrosion behavior of 1.2080 tool steel,“ International journal of iron & steel society of Iran, vol. 12, no. 2, pp. 24-29, 2015.
- [17] M. A. Elhelaly, M. A. El-Zomor, A. O. Youssef / M. S. Attia, „Characterization of VC coatings on cold work tool steel produced by TRD,“ Manufacturing technology, vol. 21, no. 5, pp. 600-604, 2021.
- [18] J. C. Caicedo, L. Yate / J. Montes, „Improving the physicochemical surface properties on AISI D3 steel coated with Ti-W-N,“ Surface & coatings technology, vol. 205, pp. 2947-2950, 2010.

- [19] W. Piedrahita, J. C. Caicedo / W. Aperador, „Tribological and electrochemical properties of AISI D3 steel coated with hafnium carbon nitride,“ *Tribology in industry*, vol. 40, no. 3, pp. 488-491, 2018.
- [20] W. L. Ebert / V. K. Gattu, „5.20 - Metallic Waste Forms (Material performance and corrosion/waste materials),“ *Comprehensive nuclear materials*, pp. 467-482, 2012.
- [21] G. Rondelli, „Corrosion resistance tests on NiTi shape memory alloy,“ *Biomaterials* 17, pp. 2003-2008, 1996.
- [22] L. Tan, R. A. Dodd / C. C. Wendy, „Corrosion and wear-corrosion behavior of NiTi modified by plasma source ion implantation,“ *Biomaterials* 24, pp. 3931-3939, 2003.
- [23] P. Zhang, L. Zeng, X. Mi, Y. Lu, S. Luo / W. Zhai, „Comparative study on the fretting wear property of 7075 aluminum alloys under lubricated and dry conditions,“ *Wear*, pp. 1-6, 2021.
- [24] M. Dojčinović, „Uticaj strukture na mehanizam razaranja čelika pod dejstvom kavitacije,“ *Univerzitet u Beogradu, Tehničko metalurški fakultet*, 2007.
- [25] M. Dojčinović / T. Volkov Husović, „Cavitation damage of the medium carbon steel: Implementation of image analysis,“ *Material letters*, no. 62, pp. 953-956, 2008.
- [26] J. Basumatary, „Cavitation erosion-corrosion in marine propeller materials,“ *University of Southampton*, pp. 1-5, 2017.
- [27] Ø. Karlsen / H. G. Lemu, „Safety related study of expanding pin systems application in lifting and drilling equipment within construction, offshore, and marine sectors,“ *IOP conference series: Materials science and engineering*, vol. 1201, pp. 1-4, 2021.
- [28] A. Sarca, D. Leordean / C. Vilău, „Studies regarding redesign and optimization of the main shaft of a naval winch,“ *Mechanics and Materials*, vol. 808, pp. 271-273, 2015.
- [29] M. Fonte, P. Duarte, V. Anes, M. Freitas / L. Reis, „On the assessment of fatigue life of marine diesel engine crankshafts, sixth International Conference on Engineering failure analysis,“ pp. 1-4, 2015.
- [30] L. Krüger, E. Jentsch, L. Brunke, A. Keßler, G. Wolf, T. Lehnert, N. Schubert, A. Wagner / D. Landgrebe, „Development of an innovative lightweight piston through process combination "casting - forging",“ *Procedia Manufacturing*, vol. 27, pp. 172-176, 2019.
- [31] T. Lehnert, A. Sterzing, R. Mauermann, N. Schubert, L. Krüger, A. Keßler, G. Wolf H. Wagler, „Development of innovative combustion chamber components for large marine engines,“ *AIP conference proceedings*, vol. 2113, pp. 1-5, 2019.
- [32] X. W. Zuo, N. L. Chen, F. Gao / Y. H. Rong, „Development of multi-cycle quenching-partitioning-tempering process and its applications in engineering,“ *International heat treatment and surface engineering*, vol. 8, no. 1, pp. 15-20, 2014.
- [33] P. S. Lieshout, „On the assessment of multiaxial fatigue resistance of welded steel joints in marine structures when exposed to nonproportional constant amplitude loading,“ *Delft university of technology*, pp. 73-77, 2020.
- [34] Alloy steel round bar supplier and stockist in India - Kanak Metal & Alloys
- [35] P. Sadr, A. Kolahdooz / S. A. Eftekhari, „The effect of electrical discharge machining parameters on alloy din 1.2080 using the taguchi method and determinant of optimal design of experiments,“ *Journal of naval architecture and marine engineering*, no. 14, pp. 47-50, 2017.
- [36] DNV, „Rules for classification, ships, part 2 materials and welding, chapter 2 metallic materials,“ pp. 195-207, 2021.
- [37] International association of classification societies – IACS, „Common structural rules for bulk carriers and oil tankers,“ pp. 739-745, 2021.

[38] DNV GL-CG-0288, „Corrosion protection of ships,“ pp. 17-39, 2017.

SAGLASNOST PREDLOŽENOG/IH MENTORA I DOKTORANDA SA PRIJAVOM

Odgovorno potvrđujem da sam saglasan sa temom koja se prijavljuje.



UNIVERZITET CRNE GORE
Obrazac D3: Ocjena doktorske disertacije

| | | |
|--|---------------------------|--|
| Prvi mentor | Prof. Dr. Tatjana Volkov | Saglasna <i>Tatjana Volkov</i> |
| Drugi mentor | (Ime i prezime) | |
| Doktorand | Mag. Inž. Stanica Nedović | Saglasna <i>Stanica Nedović</i> |
| IZJAVA | | |
| Odgovorno izjavljujem da doktorsku disertaciju sa istom temom nisam prijavio/la ni na jednom drugom fakultetu. | | |
| U Kotoru, 15.09.2023. godine | | |
| | | Ime i prezime doktoranda <i>Stanica Nedović</i> |