



KARAKTERIZACIJA TOPOGRAFIJE Ni-Ti ORTODONTSKE ŽICE NAKON
IZLAGANJA RAZLIČITIM KOROZIONIM MEDIJUMIMA

CHARACTERIZATION OF Ni-Ti ARCHWIRE TOPOGRAPHY AFTER EXPOSURE TO
DIFFERENT CORROSIVE MEDIA

Zoran Bobić, Bojan Petrović*, Sanja Kojić, Pal Terek, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad,*
**Medicinski fakultet, Novi Sad*

Oblast –PROIZVODNO MAŠINSTVO

Kratak sadržaj – U ovom radu prikazani su rezultati ispitivanja topografije Ni-Ti (nitinol) ortodontske žice pre i posle korozije u različitim medijumima.

Gljučne reči: ortodontska terapija, Ni-Ti žica, korozija, topografija, hrapavost površine

Abstract – This work presents the results of examination of Ni-Ti (nitinol) archwire topography before and after the exposure to corrosive media.

Keywords: orthodontic therapy, Ni-Ti archwire, corrosion, topography, surface roughness

1. UVOD

U cilju pravilnog postavljanja zuba u zubni niz i stvaranja zdravog prostora u usnoj duplji primenjuje se ortodontska terapija fiksnim aparatima [1]. Ova terapija podrazumeva fiksiranje bravica na svaki zub pojedinačno, a bravice se međusobno povezuju lukom (žicom) [1]. Ortodontski luk vrši dejstvo na bravice i na taj način vrši pomeranje zuba u povoljan položaj u vilici [1]. Lukovi se izrađuju od različitih materijala ali jedan od najzastupljenijih materijala danas je Ni-Ti legura poznatija kao nitinol.

Tokom ortodontske terapije materijali aparata su u kontaktu sa različitim okolinom koja može uticati na pojavu korozije [2]. Prilikom korozije dolazi do degradacije materijala što je paraćeno otpuštanjem jona i stupanjem jona u kontakt sa okolinom [2]. Osim degradacije materijala ovi procesi imaju izuzetno negativno dejstvo na ljudski organizam u kojem se oni odvijaju [3].

Veliki broj istraživanja imao za cilj karakterizaciju korozije nitinola u različitim medijumima [4, 5]. U ispitivanju iz rada [4] primećeno je da povećanje kiselosti okoline dovodi do povećanja korozije i povećanja hrapavosti žice.

U istraživanju [5], primećeno je da povećanje fluora izaziva povećano otpuštanje jona praćeno promenama na površini. U navedenim istraživanjima korozija je karakterisana promenom parametara hrapavosti, pri ćemu je pokućano da se odrede međuzavisnosti između otpuštanja jona, promene topografije i promene parametara hrapavosti za određeni medijum.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada ćiji mentor je bio dr Pal Terek, docent.

Međutim, u tim istraživanjima dolazi do znaćajnog nepodudaranja rezultata, pa ćak i do suprotnih konstatacija vezano za dejstva odrećenog medijuma, npr. da li izaziva povećanje ili smanjenje odrećenog parametara hrapavosti. Stoga, ove međuzavisnosti treba podrobnije ispitati detaljnim praćenjem topografije površine i promene parametara hrapavosti na istim mikro-lokacijama.

Cilj ovog istraživanja je karakterizacija korozionog ponaćanja nitinola u pljuvaćki i različitim sredstvima za ispiranje usta, sa posebnim fokusom na karakterizaciji promene topografije površine.

2. MATERIJALI I EKSPERIMENT

U ovom istraživanju izvrćeno je ispitivanje Ni-Ti žice pravougaonog poprećnog preseka (Dentaurum GmbH & Co) koja je bila izloćena različitim korozionim medijumima. Uzorci su isećeni na dimenzije od oko 5 mm i izvrćeno je njihovo obelećavanje rednim brojevima (od 1 do 3) i izvrćeno je obelećavanje lokacija pored kojih su vrćena topografska merenja (L-levo, D-desno).

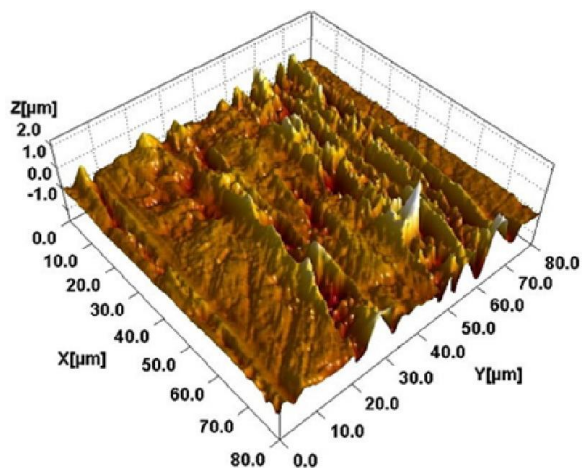
Korozioni testovi su izvrćeni tako ćto su uzorci potopljeni u korozione medijume (tećnosti) u trajanju od 22,5 dana na sobnoj temperaturi. Koriććeni korozioni medijumi su: za Uzorak 1 - većaćka pljuvaćka (Apotekarske ustanove Beograd); za Uzorak 2 - Aquafresh my big teeth mouthwash (GSK Consumer Healthcare) i za Uzorak 3 - EludrilClassic (Pierre Fabre medicament).

Na šest indentićnih mikro-lokacija su pre i posle korozionih testova primenom mikroskopije atomskih sila (AFM) izvrćena merenja topografije uzorka. Za merenja je koriććen urećaj CP-II (Veeco) sa silicijum-nitridnom sondom (konzolom) u kontaktnom modu. Merene su povrćine dimenzija 100x100µm, brzinom skeniranja od 0,5 Hz i krutosti sonde od 225uN.

Kako bi se AFM-om, bez koordinatnog upravljanja, uspećno uporedile i analizirale indentićne lokacije, pre i posle korozionih testova, koordinate mernih taćaka su precizno praćene i belećene u odnosu na referentni koordinatni sistem. Zajednićkim koriććenjem optićkog sistema AFM-a, kamere i MB-ruller softvera je sa viće koordinatnih sistema izvrćeno precizno i skoro jednoznaćno pozicioniranje sonde u merne poloćaje. Obrada i analiza topografskih snimaka i odrećivanje parametara hrapavosti je izvrćeno primenom SPIP (Image metrology) programskog paketa.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Reprezentativna 3D topografska slika površine uzorka pre korozivnih testova je prikazana na Slici 1. Površine ispitivanih uzoraka se odlikuju mikrometerski dubokim risevima koji se protežu uzdužno po uzorcima. Između riseva površina je relativno ujednačene topografije i hrapavosti.



Slika 1. Reprerativna topografija uzorka pre korozivnih testova, na površini od 80x80 μm , uzorak 1-3D

Parametri hrapavosti uzorka pre i posle korozivnih testova u različitim medijumima određenih na 80x80 μm su prikazani u Tabeli 1. Prema većini parametara, hrapavost uzorka pre korozivnih testova je prilično ujednačena i slična na svim uzorcima. Parametar Ssk ukazuje na to da su površine negativno polarisane što zajedno sa S10z nedvosmisleno potvrđuje postojanje dubokih riseva na površinama. Iz tabele 1 se takođe može videti da je, prema analiziranim parametrima hrapavosti, došlo do neznatne promene hrapavosti nakon korozivnih testova, koja praktično spada u domene devijacija merenja. Ova konstatacija je nametnula to da se promene u topografiji pokušaju ispitati na manjim površinama bez riseva, pa su stoga dalje analize izvršene na površinama od 10x10 μm

Topografski snimci uzorka na površinama od 10x10 μm , pre i posle korozivnih testova, su prikazani na Slici 2. U slučaju uzorka 1 nakon korozije je došlo do blagog zaravnjanja (zaglađenja) vrhova. Upoređivanjem topografskih slika uzorka 2, pre i posle korozije, se pored zaglađenja određenih lokalnih vrhova, se uviđaju i produbljanja dolina na površini. Kod uzorka 3 je pored zaravnjanja vrhova primetna i značajnija promena površine. Iz ovih analiza se može zaključiti da korozivni procesi dovode do promene topografije na nano nivou što se tačnije može pratiti na manjim, mikro-lokacijama.

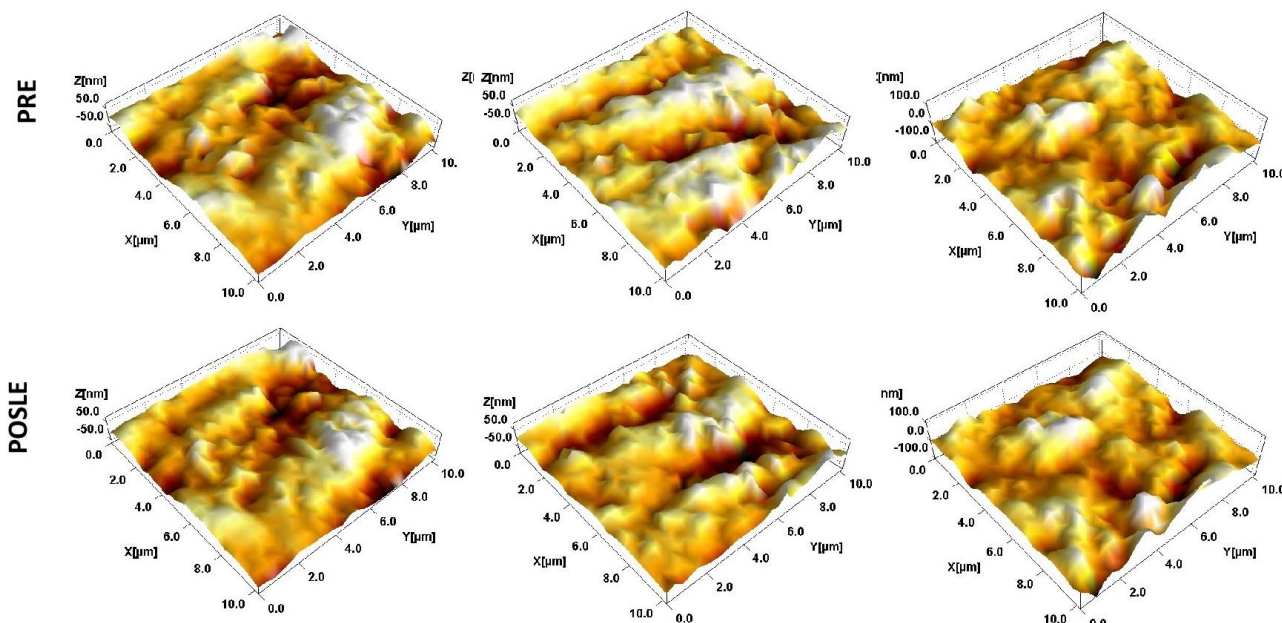
Tabela 1 Parametri hrapavosti uzorka pre i posle korozivnih testova, određenih na površinama od 80x80 μm

,	Uzorak 1		Uzorak 2		Uzorak 3	
	Pre	Posle	Pre	Posle	Pre	Posle
Sa [nm]	136,05	129,76	133,53	125,73	125,59	120,86
Sa dev.[nm]	36,68	20,88	46,58	36,11	38,67	29,06
Ssk[nm]	-1,01	-0,79	-0,69	-0,71	-0,18	-0,32
Ssk dev.[nm]	0,27	0,17	0,55	0,34	0,26	0,17
S10z[nm]	1957,0	1781,13	2065,7	1943,0	1954,3	2001,2
S10z dev.[nm]	740,9	347,9	634,8	494,06	857,72	783,55

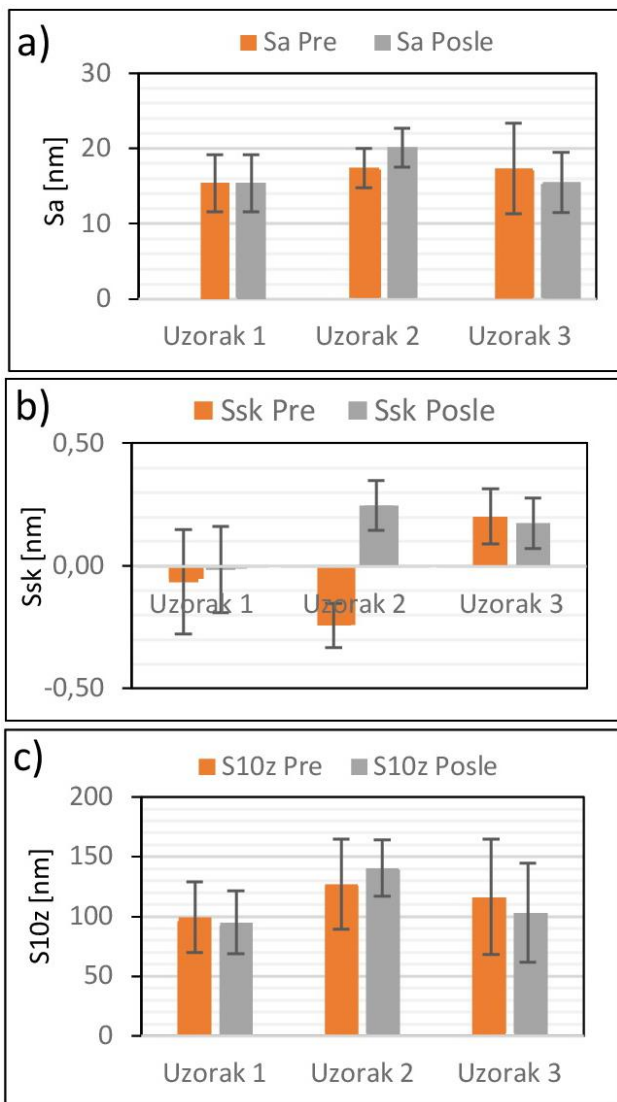
Uzorak 1-I-D

Uzorak 2-I-L

Uzorak 3-1-D



Slika 2. Topografije površina uzorka, pre i posle korozivnih testova, merenja na 10x10 μm



Slika 3. Uporedni prikaz parametara hrapavosti svih uzoraka, određenih na površinama od $10 \times 10 \mu\text{m}$, pre i posle korozionih testova u različitim medijumima: a) parametar Sa, 3b) parametar Ssk, 3c) parametar S10z.

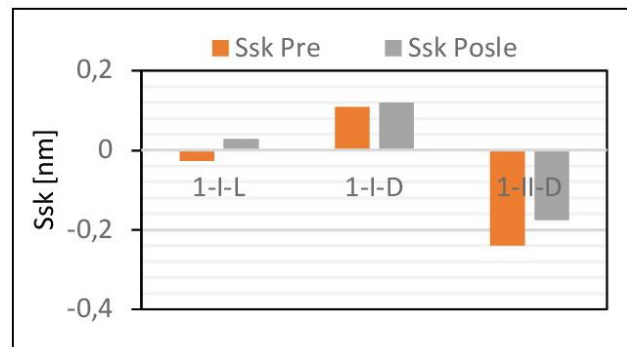
Promene parametara hrapavosti su za različite uzorke prikazane preko histograma na Slici 3. Odatle se može videti da uzorak 1 nakon izlaganja korozionom medijumu ima nešto nižu vrednost parametra Sa i manju devijaciju, što je su suprotnosti sa rezultatima istraživanja [6]. Za isti uzorak vidljivo je i smanjenje parametara Ssk i S10z što se zapravo pripisuje lokalnoj koroziji i smanjenja određenih vrhova.

Kod uzorka 2 nakon izlaganja medijumu dolazi do povećanja vrednosti parametara Sa, Ssk, S10z, što je u saglasnosti sa rezultatima istraživanja [6].

Blago povećanje parametra S10z i prelaz Ssk iz negativnog u pozitivan ukazuje na to da prilikom korozije dolazi izražene promene polariteta površine. Povećanje vrednosti parametra Ssk je značajno i ono ukazuje na to da prilikom korozije, gubitak materijala nije ujednačen na celoj površini. Ono je manje izraženo u dubokim mikro-risevima a na površini dolazi do nastanka novih ispupčenja koja uvećavaju vrednosti parametra Ssk (u pozitivnom smeru). Kod uzorka 3, nakon izlaganja medijumu dolazi do blagog smanjenja parametara Sa,

S10z i Ssk. Slično kao i kod prethodnog uzorka, smanjenje vrednosti Ssk parametra ukazuje na to da se gubitak materijala intenzivnije dešava na površini bez riseva i da dolazi do nastanka većeg broja uzvišenja. Ova činjenica nameće zaključak da određene faze u materijalu na površini, van riseva, manje korodiraju i manje se rastvaraju u ispitivanom medijumu. Odnosno one su otpornije na koroziju.

Kada se poredi promene parametara hrapavosti (Sa, Ssk, S10z) usled korozije može se uočiti velika razlika između različitih medijuma. Tako veštačka pljuvačka (Uzorak 1) izaziva najmanja promenu ovih parametara a nešto agresivniji medijumpredstavlja EludrilClassic (Uzorak 3). Najveće razlika parametrima pre i nakon korozije su uočene za slučaj izlaganja medijumu Aquafresh my big teeth (Uzorak 2).



Slika 4. Ssk parametar hrapavosti, određen na površinama od $10 \times 10 \mu\text{m}$, indentičnih lokacijama pre i posle korozionih testova, Uzorak 1

Na slici 3. ustanovljeno je da se sve devijacije srednjih vrednosti parametara hrapavosti, izuzev devijacije parametra hrapavosti Ssk kod uzorka 2, značajno preklapaju. Stoga se postavlja pitanje značajnosti (signifikantnost) uočenih razlika pa samim time i dobijenih rezultata.

Međutim, iz razloga što su se promene pratile na identičnoj mikro-lokaciji, pre i nakon izlaganja korozionom medijumu, moguće je izvršiti adekvatno poređenje rezultata. Kao primer toga na slici 4 prikazana je promena Ssk parametra na uzorku 1 pre i nakon izlaganja medijumu na identičnim lokacijama od $10 \times 10 \mu\text{m}$. U zavisnosti od lokacije primetna je velika oscilacija u ovom parametru po uzorku, međutim za sve lokacije je uočen trend porasta vrednosti ovog parametra.

To nedvosmisleno ukazuje na generalni trend kod ovog uzorka, koji se kod prikaza srednjih vrednosti Ssk ne može statistički potvrditi zbog velike razlika u nano-hrapavosti (parametru Ssk) na različitim lokacijama po uzorku. Identično ponašanje je utvrđeno i za većinu ostalih uzoraka i merenja.

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu sprovedenog istraživanja korozije Ni-Ti ortodontske žice u različitim medijumima mogu se izvesti sledeći zaključci:

- Topografija površine ispitivanih žica od Ni-Ti legure je prilično ujednačenog karaktera. Zbog postojanja mikro-riseva površine su negativnog polariteta a parametri hrapavosti ispitivanih

ortodontskih žica su prilično ujednačeni na kod svih uzoraka.

- Uočeno je da se mikro topografija površine uzoraka značajno menja u svim korozionim testovima.
- Mogućnost merenje topografije iste oblasti na uzorku nudi višestruke prednosti u oceni korozije: eliminiše se uticaj različite hrapavosti površine uzorka na rezultate eksperimenta, dobija se mogućnost praćenja dejstva korozije na tačno određenoj lokaciji i mogu se izolovano posmatrati efekti na različite parametre hrapavosti koji su uzrokovani korozijom.
- Korozija u Ni-Ti žice se u veštačkoj pljuvački pretežno odvija na površinama izloženijim korozionom medijumu, dok je u dolinama (risevima) ona manje izražena.
- Korozija u sredstvu za ispiranje usta Aquafresh BiGTeeth je veoma intenzivn. Uzrokuje koroziju koja se pretežno odvija na ravnim i izloženijim površinama, stvarajući nova uzvišenja i menjajući polaritet površine u pozitivan.
- Korozija u sredstvu za ispiranje usta Eludril classic uzrokuje manje izraženu promenu hrapavosti ali i promenu polariteta površine.
- Kod svih uzoraka je uočeno da promene u parametrima hrapavosti, nakon uzrokovanih korozijom, nisu ujednačene na svim lokacijama po uzorli. To dovodi do zaključka da se utvrđivanje uticaja korozije na određene parametre hrapavosti može adekvatno vršiti samo na indentičnim mikro-lokacijama na uzorcima ili ispitivanjem veoma glatkih i nerealnih uzoraka.

5. LITERATURA

- [1] R.S. Nanda, Y. Tosun, Biomechanics in orthodontics: Principles and practice, 2010.
- [2] K. House, F. Sernetz, D. Dymock, J.R. Sandy, A.J. Ireland, Corrosion of orthodontic appliances-should we care?, Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop. Vol.133, pp.584–592, 2008.
- [3] C.M. Ogawa, K. Faltin, F.A. Maeda, C.L.F. Ortolani, R.O. Guaré, C.A.B. Cardoso, A.L.F. Costa, In vivo assessment of the corrosion of nickel–titanium orthodontic archwires by using scanning electron microscopy and atomic force microscopy, Microsc. Res. Tech, Vol. 83, pp. 928–936, 2020.

[4] K. House, F. Sernetz, D. Dymock, J.R. Sandy, A.J. Ireland, Corrosion of orthodontic appliances-should we care?, Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop. Vol 133, pp.584–592, 2008 .

[5] M. Cioffi, D. Gilliland, G. Ceccone, R. Chiesa, A. Cigada, Electrochemical release testing of nickel-titanium orthodontic wires in artificial saliva using thin layer activation, Acta Biomater. Vol. 1 pp.717–724, 2005 .

[6] S.M. Castro, M.J. Ponces, J.D. Lopes, M. Vasconcelos, M.C.F. Pollmann, Orthodontic wires and its corrosion - The specific case of stainless steel and beta-titanium, J. Dent. Sci. Vol.10, pp. 1–7, 2015.

6. ZAHVALNOST

Istraživanje u ovom radu je finansirano od strane Evropske komisije, Horizont 2020, grant MSCA RISE Marija Sklodovska Kiri br. 872370.

Research in this paper has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under the Marie Skłodowska-Curie grant agreement No. 872370.

Kratka biografija:



Zoran Bobić rođen je u Vršcu 1996. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Proizvodnog mašinstva odbranio je 2020.god. kontakt: zoran.bobic57@gmail.com



Bojan Petrović rođen je 1975. god. rođen u Beogradu, Doktorirao je na Stomatološkom Fakultetu, Beograd 2010. god., a od 2017. je u zvanju vanredni profesor, Oblast interesovanja: dečja i preventivna stomatologija.



Sanja Kojić rođena je 1985. god. u Zrenjaninu, Master rad iz oblasti Elektronike je odbranila je na Fakultetu tehničkih nauka 2010. god., a od 2019. god. je u zvanju asistent. Oblast interesovanja: mikrofluidika, fleksibilna, tekstilna i nanoelektronika.



Pal Terek rođen je u Novom Sadu 1983. god. Doktorirao je na Fakultetu tehničkih nauka 2016. god., a od 2017. je u zvanju docenta, Oblast interesovanja su mu tehnologije livenja, inženjerstvo površina, nanotehnologije, biomedicinsko inženjerstvo.