

BOŽIDARKA ARSENOVIĆ<sup>1</sup>, ZORANA ŽIVIĆ<sup>1</sup>,  
BOŠKO IVANOVIĆ<sup>1</sup>, MIRKO SARIĆ<sup>1</sup>, JELENA PJEŠČIĆ<sup>2</sup>

Originalni naučni rad  
UDC: 669.248.6; 620.18=861

## Ispitivanje mehaničkih i strukturno-morfoloških karakteristika prevlaka sulfamatnog nikla

*Uzorci za ispitivanje kvaliteta prevlaka nanešenih iz nikal-sulfamatnog rastvora su ravne epruvete i originalni deo komponente noge stajnog trapa aviona "Boeing". Ispitivanja su vršena u skladu sa Boeing-ovim standardima BAC 5746 i BSS 7235. U radu su prikazani rezultati ispitivanja mikrotvrdoće HV 0,3; adhezije prevlake sa osnovnim materijalom, mikrografije metalografskih snimaka pomoću kojih se dao odgovor na pitanje veze između osnovnog materijala i nanešene prevlake, kao i poroznosti i debljine prevlake snimljenih na tri poprečna preseka ispitivanih uzoraka. Potvrđeno je postizanje zadovoljavajućih mehaničkih i strukturno-morfoloških karakteristika, kako na prevlaci nanešenoj na ispitivane epruvete tako i na originalnom upotrebljenom delu noge stajnog trapa aviona "Boeing".*

**Ključne reči:**

### UVOD

Proces niklovanja sa sulfamatnim tipom rastvora koristi se u procesu opravke noge stajnog trapa aviona "Boeing". Nikal-sulfamatna kupatila služe za dobijanje tehničkih debelih prevlaka ili za elektroformiranje, tj. izradu određenih predmeta koje je lakše oblikovati ovakvim postupkom nego izradom livenjem ili obradom na strugu [1,9]. Ovaj tip rastvora daje mekane, rastegljive prevlake niskog unutrašnjeg napona. [1,2]. Za pripremu nikal-sulfamatnog elektrolita koriste se nikal-sulfamatni koncentracije sa različitim sadržajem nikla. Sulfamatna kupatila dozvoljavaju upotrebu većih gustina struje. Primenom dodatka u ova kupatila može se uticati na tvrdoću prevlaka i na unutrašnja naprezanja. Zbog ovih osobina, moguće je deponovati kvalitetne prevlake sa veoma dobrom adhezijom na podlogama od različitih materijala. Homogenost depozicije na uzorcima kompleksne prostorne geometrije postiže se uspostavljanjem zadovoljavajućih tehničko-tehnoloških parametara procesa.

S tim u vezi, u radu su predstavljeni kompleksni rezultati ispitivanja mehaničkih i strukturno-morfoloških karakteristika nikal-sulfamatnih prevlaka dobijenih iz nikal-sulfamatnog elektrolita industrijskih razmjera.

Adrese autora: <sup>1</sup>„Orao“ a. d., Bijeljina, Republika Srpska, <sup>2</sup>Metalurško-tehnološki fakultet, Podgorica, Crna Gora

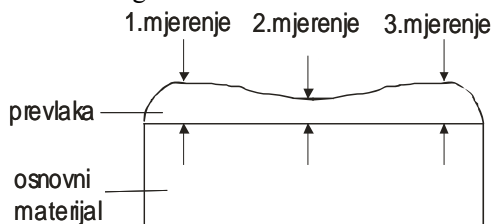
### EKSPERIMENTALNI DEO

Uzorci za ispitivanje su čelične (Č 4230) ravne epruvete dimenzija (102 x 25 x 1) mm i rezervna komponenta noge stajnog trapa (TEE-BOLT FITING) aviona "Boeing", na koje je izvršeno nanošenje prevlaka iz nikal-sulfamatnog rastvora u skladu sa Boeingovim standardom BAC 5746 i BSS 7235 pri gustini struje 8 A/dm<sup>2</sup> i temperaturi 80°C. Rastvor za sulfamatno niklovanje industrijskih razmera imao je sastav: 93,95 g/dm<sup>3</sup> Ni; 33,43 g/dm<sup>3</sup> H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> i 3,38 g/dm<sup>3</sup> Cl<sub>2</sub>. pH-vrednost rastvora iznosila je 3,39 [1,2].

Ispitivanje vodonične krtosti izvršeno je pomoću uređaja za ispitivanje materijala na vremensku čvrstoću, puzalici tip ATS 2410 u trajanju od 200 sati pri opterećenju od 5900 lbs. Usled nedostatka originalnog materijala predviđenog za ova ispitivanja (čelik 4340 M) za ispitivanja su poslužile epruvete izrađene od Č 4734 koji je po svojim karakteristikama približnog sastava kao i originalni materijal od koga je izrađena komponenta noge stajnog trapa aviona "Boeing".

Merenje mikrotvrdoće nanešenih prevlaka vršeno je uređajem za određivanje mikrotvrdoće Karl Frank, tip 38536 na dve epruvete i na uzorku isečenom iz originalnog rezervnog dela komponente noge stajnog trapa. Ispitivanje je vršeno metodom Vickers sa opterećenem od 2,942 N (HV 0,3). Izgled uzorka sa naznačenim mestima merenja mikrotvrdoće prikazan je na slici 1. Ispitivanje ad-

hezije prevlake sa osnovnim materijalom urađeno je na epruvetama dimenzija 102 x 25 x 1 mm savijanjem pod uglom od  $90^{\circ}$  (bend test) na stezaču prečnika 12,7 mm i zarezivanjem prevlake sekačem (chisel test) na uzorku rezervnog dela Epruvete za savijanje izrađene su od istog materijala kao i originalni rezervni deo noge stajnog trapa aviona "Boeing".



Slika 1 - Šematski prikaz mesta merenja mikrotvrdoće prevlake

Metalografska ispitivanja vršena su na metalografskom mikroskopu Neophot 21 na pripremljenim metalografskim uzorcima. Nakon poliranja u trajanju od 4 minute (predpoliranje, fino poliranje i završno poliranje) uzorak je podvrgnut ispitivanju strukturno-morfoloških karakteristika. Debljina prevlake merena je na metaliziranim delovima pomoću metalografskog mikroskopa na uzorcima za metalografska ispitivanja, a pri uvećanju od 200 puta. Poroznost nanešene prevlake utvrđena je na uzorcima u nenagriženom stanju pri uvećanju od 200 puta (mesta merenja su prikazana na slici 1).

## REZULTATI I DISKUSIJA

Izgled uređaja i ispitna epruveta sa nanešenom prevlakom pri određivanju vodonične krstosti, prikazani su na slici 2. U toku procesa ispitivanja vodonične krstosti, kao i nakon provedenih 200 sati, na testiranoj epruveti nisu uočene pojave pukotina, naprslina, niti odvajanja prevlake od osnovnog materijala.

Tabela 1 - Rezultati merenja mikrotvrdoće prevlake i isečenog uzorka iz originalnog dela

Epruveta Uzorak	IZMERENE VREDNOSTI MIKROTVRDOĆE PREVLAKE HV 0,3		
	Mesto merenja mikrotvrdoće		
	1.	2.	3.
epruveta 1	218	218	232
epruveta 2	177	184	184
Uzorak isečen iz originalnog dela	145	138	155

U tabeli 1 prikazani su rezultati merenja mikrotvrdoće nanešene prevlake na dve epruvete i uzorku isečenom iz originalnog dela komponente noge stajnog trapa.



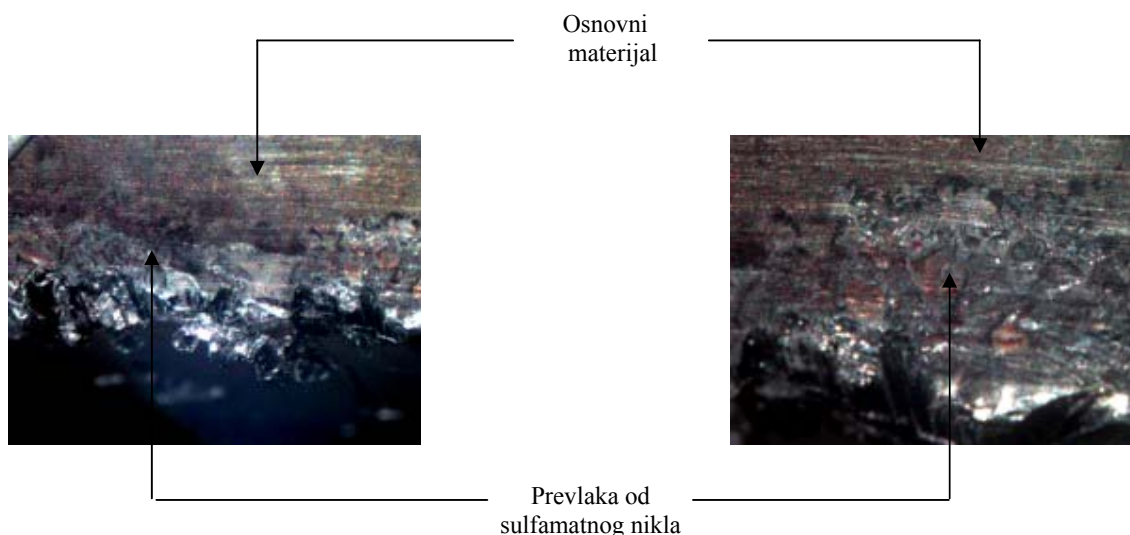
Slika 2 - Izgled uređaja i epruvete kod ispitivanja vodonične krstosti

Tvrdoća osnovnog materijala merena na originalnom delu komponente noge stajnog trapa iznosi 618 HV 0,3.

Kvantitativna provera adhezije prevlake sa osnovnim materijalom izvršena je ispitivanjem na savijanje pod uglom od  $90^{\circ}$  (bend test) na stezaču prečnika 12,7 mm konstruisanom u "Orao" a.d. i zarezivanjem prevlake sekačem (chisel test) na uzorku originalnog rezervnog dela (TEE BOLT FITTING). Izgled epruvete nakon provedenog testa na savijanje pod uglom od  $90^{\circ}$  prikazan je na slici 3, dok je izgled mesta provere adhezije prevlake sa osnovnim materijalom zarezivanjem sekačem, prikazan na slici 4.



Slika 3 - Izgled epruvete nakon provedenog testa na savijanje pod uglom  $90^{\circ}$  (bend test)



Slika 4 - Izgled uzorka nakon provedenog ispitivanja adhezije zarezivanjem sekačem  
Uvećanje 10 x (levo) i 20 x (desno)

U toku procesa savijanja pod uglom od  $90^{\circ}$  nanešena prevlaka je pratila deformaciju baznog metala bez ljuštenja ali uz pojavu poprečnih pukotina. Nastale poprečne pukotine su dozvoljene prema zahtevu specifikacije "SNECMA"DMP 14.01. Nakon završenog ispitivanja na ispitivanoj epruveti nije došlo do ljuštenja i odvajanja prevlake od osnovnog materijala, slika 3. Takođe, ispitivanjem adhezije zarezivanjem sekačem na originalnom delu nije došlo do odvajanja nanešene prevlake od osnovnog materijala, slika 4. Prema standardu BSS 7235, proveru adhezije metodom zarezivanja prethodilo je ispitivanje adhezije mašinskom obradom (brušenjem) gde je na originalnom delu skinuto cca 100  $\mu\text{m}$  prevlake a zatim izvršeno zarezivanje sekačem.



Slika 5 - Izgled originalnog dela komponente noge stajnog trapa (tee bolt fitting)

Izgled originalnog dela komponente noge stajnog trapa (TEE BOLT FITTING) nakon provere

adhezije prikazan je na slici 5, dok je izgled uzorka nakon brušenja i provere adhezije zarezivanjem sekačem prikazan na slici 6.

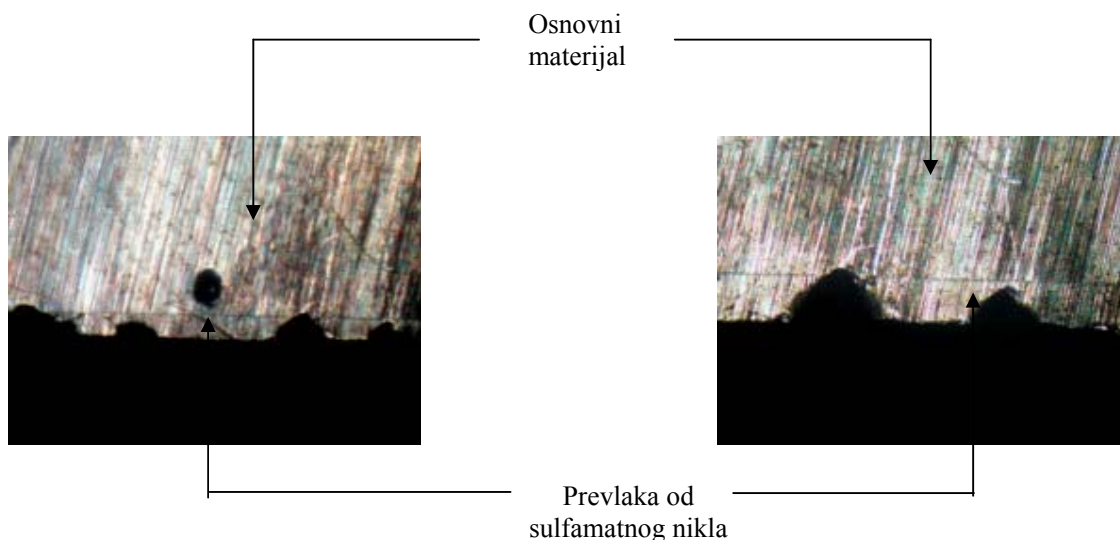
Nakon provedenog ispitivanja na ispitivanom delu nije došlo do odvajanja prevlake od osnovnog materijala.

Provera debljine prevlake, pokrivenosti i stanja površine prevlake, njene poroznosti i prisustva nevezanih čestica, oksida i izgleda međufazne površine, utvrđeno je na standardnim ravnim epruvetama izrađenim od istog materijala kao i originalni deo komponente noge stajnog trapa.

Rezultati merenja debljine prevlake dobijeni merenjem na tri standardne epruvete prikazani su u tabeli 2, (mesta merenja prikazana su na slici 1).

Tabela 2 - Rezultati merenja debljine prevlake,  $\mu\text{m}$

Epruveta Uzorak	IZMERENE VREDNOSTI DEBLJINE PREVLAKE ( $\mu\text{m}$ )		
	Mesto merenja debljine prevlake		
	1.	2.	3.
epruveta 1	350	250	350
epruveta 2	350	250	350
epruveta 3	375	338	375
Uzorak isečen iz originalnog dela	463	500	550

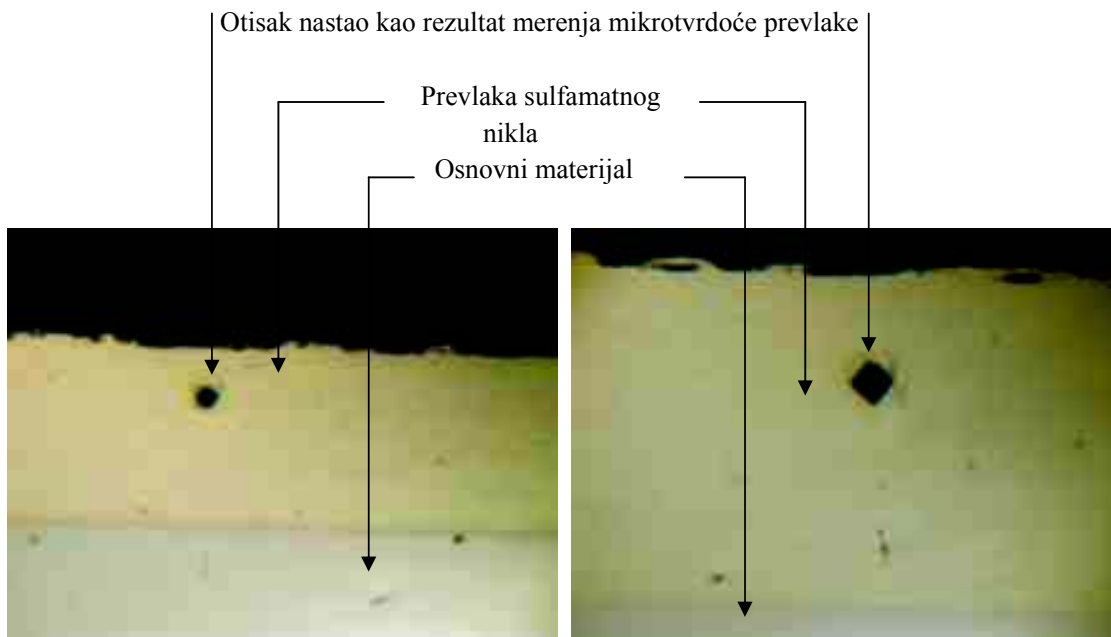


Slika 6 - Izgled uzorka nakon provedenog ispitivanja adhezije zarezivanjem sekačem nakon brušenja Uvećanje 10 x (levo) i 20 x (desno)

Debljina prevlake na uzorku isečenom iz originalnog dela merena je nakon brušenja. Zahtevana debljina sloja sulfamatnog nikla prema " Uputu za opštu opravku noge stajnog trapa aviona "Boeing"[4,5] iznosi od 380  $\mu\text{m}$  do 760  $\mu\text{m}$  u zavisnosti od komponente. Dobijene su nešto niže vrednosti debljina prevlaka na ispitnim epruvetama, dok je debljina prevlake na uzorku isečenom iz originalnog dela u zahtevanim

propisanim granicama. Posmatranjem uzoraka pod lupom pri uvećanju od šest puta uočena je zadovoljavajuća pokrivenost površine. Nanešena prevlaka je ravnomerna, bez prisutnih pukotina, mehurića, izbočina i bez tragova ljuštenja i guljenja.

Na slici 7 prikazan je metalografski snimak nikal-sulfamatne prevlake pri uvećanju 50 puta (levo) i 100 puta (desno).



Slika 7 - Izgled prevlake sulfamatnog nikla. Uvećanje 50 x (levo) i 100 x (desno)

Provera poroznosti prevlake izvršena je posmatranjem testiranih uzoraka na metalografskom mikroskopu pri uvećanju od 200 puta. Na osnovu prikazanog metalografskog snimka u strukturi prevlake nije uočena poroznost, mikrostruktura prevlake je ravnomerna bez poprečnih pukotina, raslojavanja i odvajanja od osnovnog materijala što je i očigledno sa slike 7.

Veza između prevlake i osnovnog materijala je dobra, prisustvo oksida i nevezanih čestica je neznačajno i nalazi se u okvirima dozvoljenih granica.

## ZAKLJUČAK

Prema rezultatima ispitivanja mehaničkih i strukturno-morfoloških karakteristika dobijenim na posmatranim standardnim epruvetama kao i originalnom rezervnom delu komponente noge stajnog trapa aviona "Boeing", zadovoljeni su kriterijumi prihvatljivosti.

1. Pripremljeni sastav rastvora za sulfamatno niklovanje je u skladu sa zahtevima u radu citiranim standardima.

2. Proverom vodonične krtosti u prevlaci nisu uočene pukotine i naprsline.

3. Nakon savijanja epruvete pod uglom od 90° (bend test) nije došlo do pojave ljuštenja, odvajanja prevlake i pojave pukotina.

4. Ispitivanjem adhezije zarezivanjem prevlake sjekačem (chisel test) postignuti su zadovoljavajući rezultati.

5. Nakon brušenja i provere adhezije zarezivanjem sekačem nije došlo do odvajanja prevlake od osnovnog materijala.

6. Dobijena izmerena debljina prevlake na uzorku isečenom iz originalnog rezervnog dela komponente noge stajnog trapa je u skladu sa zahtevom

navedenom u " Uputu za opštu opravku noge stajnog trapa aviona "Boeing".

7. Prevlaka je ravnomerna, bez prisutnih pukotina, mehurića, izbočina i bez tragova ljuštenja i guljenja.

8. U strukturi prevlake nije uočena poroznost, veza između prevlake i osnovnog materijala je dobra, prisustvo oksida i nevezanih čestica je neznačajno i nalazi se u okviru dozvoljenih granica.

## LITERATURA

- [1] Overhaul Practices Manual, Electrodeposited Nickel Plating, SOPM 20-42-09, 2005, BOEING.
- [2] Specification Support Standard, Nickel Plating, BAC 5746, BOEING
- [3] Specification Support Standard, Adhesion Test Method, Plating, BSS 7235, BOEING.
- [4] Overhaul Manual, Boeing, 65-73761, (11;17;32).
- [5] Component Maintenance Manual, Boeing, 65-73762,(21;32;48)
- [6] Rolls-Rouce, Specifikacija Procesna Niklovanja, RPS 237,N<sup>o</sup> 5,1991.
- [7] Standard ASTM F 519, ASTM E8.
- [8] SNECMA Standardi: DMP 14.009, DMP 14.010.
- [9] S. Đorđević, M. Maksimović, M.G. Pavlović, K.I. Popov, *Galvanotehnika*, Tehnička knjiga, Beograd, (urednici: M. Maksimović, D. Mrđenović), (1998), str. 1-529.
- [10] H. Šuman: Metalografija, TMF Univerzitet u Beogradu, 24-52, 1981.
- [11] VZ "ORAO", Program verifikacionih ispitivanja termozaštitnih prevlaka na lopaticama 1. i 2. stepena rotora turbine motora VIPER 632/633, 023/11-13, SIRA, 2004.
- [12] VZ "Orao", Uputstvo za ispitivanje karakteristika termozaštitnih prevlaka na lopaticama 1. i 2. stepena rotora turbine motora RD 33, OP-12-00-008, SLAB, 2003.

## ABSTRACT

### INVESTIGATION OF MECHANICAL AND STRUCTURALLY-MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE SULPHAMATE NICKEL COATINGS

*The samples for investigating the quality of coatings from sulphamate-nickel solution are flat test tubes and original part of the leg component of the landing gear of the "Boeing" airplane. The researches are done according to Boeing standards BAC 5746 and BSS 7235. The paper shows the results of the examination of microhardness HV 0.3; adhesion of the coating with base material, microphotographs of the metalographic photographs which give the answer to the question of bonding between base material and the coating, as well as porosity and thickness of the coating on three cross-cuts of the examined samples. The achievement of satisfying mechanical and structural morphological characteristics has been confirmed, both on coating deposited on test tubes and on the original used part of the leg of the landing gear of the airplane.*