

UTJECAJ KVALITETE PRAŠKA I NAKNADNOG NAŠTRCAVANJA NA OTPORNOST PREVLAKE NA ABRAZIJSKO TROŠENJE

**Influence of powder quality and additional flame spraying on abrasive wear resistance of
coating**

**Sara HAVRLIŠAN¹, Katica ŠIMUNOVIĆ¹, Tomislav ŠARIĆ¹, Goran ŠIMUNOVIĆ¹, Ilija
SVALINA¹, Roberto LUJIC¹, Štefanija KLARIĆ²**

¹Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Strojarski fakultet u Slavanskom Brodu, Hrvatska

²Charles Darwin University, College of Engineering, IT and Environment, Darwin, Australia

Ključne riječi: naštrcavanje pomoću plinskog plamena s istovremenim utaljivanjem, Eutalloy 10009, Eutalloy 10185, otpornost na abrazijsko trošenje

Keywords: flame spraying with simultaneous fusing, Eutalloy 10009, Eutalloy 10185, abrasion resistance

Sažetak

Cilj ovog rada je istražiti utjecaj kvalitete praška (Eutalloy 10009 i Eutalloy 10185) i postupka naknadnog naštrcavanja pomoću plinskog plamena s istovremenim utaljivanjem, na otpornost prevlake na abrazijsko trošenje. U radu su uspoređeni i analizirani rezultati abrazijske otpornosti prevlaka naštrcanih praškom koji je dulje vremena bio na skladištu (zahtijevana debljina prevlake postignuta naknadnim naštrcavanjem) s rezultatima naštrcavanja novim praškom (zahtijevana debljina prevlake postignuta u jednom koraku). Prema ASTM G65-94 normi za ispitivanje je primijenjen test „suhi pijesak/gumeni kotač“.

Abstract

The aim of this paper is to investigate the influence of powder quality (Eutalloy 10009 and Eutalloy 10185) and additional flame spraying with simultaneous fusing on abrasive wear resistance of coating. The results of abrasive wear resistance of coatings sprayed with powder stored for a longer period of time (required thickness was achieved by additional spraying) and results of flame spraying

with a new powder (required thickness was achieved in one step) are compared and analysed. The “dry sand/rubber wheel” test was used according to ASTM G65-94 norm.

1 UVOD

Trošenje je jedan od najčešćih oblika oštećivanja mehaničkih dijelova. Kako bi se smanjili troškovi održavanja, a time produljio životni vijek komponente ili proizvoda u cjelini, na istrošene dijelove mogu se nanositi legure nikla, bora i silicija. Navedene legure primjenjuju se u uvjetima gdje se zahtijeva dobra otpornost na različite oblike trošenja (abrazijsko, erozijsko, klizno ...), povišenu temperaturu i koroziju te se mogu nanositi gotovo svima postupcima toplinskog naštrcavanja. Zbog svoje ekonomičnosti sve je češća primjena naštrcavanja pomoću plinskog plamena s istovremenim utaljivanjem [1, 2].

Ovisno o postupku naštrcavanja [3], metodi naknadnog utaljivanja nanosene prevlake [4] te utjecaju tvrdih karbida [5] i rijetkih zemljanih oksida [6, 7], autori su provodili različite testove ispitivanja otpornosti na abrazijsko trošenje [8-11]. Iz navedenih radova, općenito se može zaključiti da na abrazijsko trošenje utječu parametri trošenja kao što su veličina, oblik i tvrdoća čestica abraziva, opterećenje te svojstva nanosene prevlake kao što su veličina, oblik i raspodjela tvrdih faza, volumni udio tvrdih faza, tekstura prevlake te tvrdoća matrice i tvrdih faza [8, 12, 13].

Cilj rada je istražiti utjecaj kvalitete praška i postupka naknadnog naštrcavanja pomoću plinskog plamena s istovremenim utaljivanjem, na otpornost na abrazijsko trošenje i to u ovisnosti o dva parametra – vrsta prevlake i udaljenost plamenika od radnog predmeta pri postupku naštrcavanja. Također, jedan od ciljeva rada je usporediti i analizirati rezultate abrazijske otpornosti prevlaka naštrcanih praškom koji je dulje vremena bio na skladištu (zahtijevana debljina prevlake postignuta naknadnim naštrcavanjem) s rezultatima naštrcavanja novim praškom (zahtijevana debljina prevlake postignuta u jednom koraku).

2 EKSPERIMENTALNI DIO

Postupkom naštrcavanja pomoću plinskog plamena s istovremenim utaljivanjem sa SuperJet-S-Eutalloy oksi-acetilenskim pištoljem (tlak acetilena 50 kPa i tlak kisika 200 kPa) na materijal podloge alatni čelik X38 CrMoV5-1 (0,36% C; 0,93% Si; 0,35% Mn; 0,018% P; <0,001% S; 4,74% Cr; 0,37% Ni; 1,00% Mo; 0,19% Cu; 0,27% V; Fe ostatak) nanosene se dvije vrste prevlaka – NiCrBSi (Eutalloy 10009) i NiBSi (Eutalloy 10185), čiji je kemijski sastav prikazan u tablici 1.

Tablica 1 Kemijski sastav praška za naštrcavanje

Kemijski element, % mase	C	Cr	Fe	B	Si	Ni
Eutalloy 10009 (NiCrBSi)	0,7	15	3,5	3,2	4,4	ostatak
Eutalloy 10185 (NiBSi)	0,1	0,5	0,5	2,5	3	ostatak

Ovisno o udaljenosti plamenika od radnog predmeta pri postupku naštrcavanja – mala i velika, nanese su naprijed navedene dvije vrste prevlaka, na uzorke dimenzija $75 \times 25 \times 12,5$ mm. Kako bi se postigla zahtijevana debljina prevlake od 1 mm, na uzorcima je prethodno glodanjem izrađen utor te je prevlaka nanescena kroz osam prolaza. Prije postupka naštrcavanja provedena je standardna priprema podloge (odmaščivanje, ohrapljivanje te predgrijavanje). Nakon sporog hlađenja na zraku, uzorci su obrušeni kako bi se dobila adekvatna površina za ispitivanje otpornosti na abrazijsko trošenje.

U pripremnim fazama istraživanja, kod postupka naštrcavanja Eutalloy 10009 praška (NiCrBSi) pojavljuju se poteškoće prilikom nanošenja prevlake. Zbog loših svojstava praška koji je bio raspoloživ (dulje vremena na skladištu), došlo je do začepljenja plamenika te prevlaka nije pravilno nanescena. Na slici 1 prikazana je fotografija loše naštrcanog uzorka.



Slika 1 Fotografija loše naštrcanog uzorka, NiCrBSi prevlaka

Budući u prvom koraku nije bila naštrcana zahtijevana debljina prevlake od 1 mm, uslijedio je postupak naknadnog naštrcavanja. Kod naštrcavanja Eutalloy 10185 praška (NiBSi) nije bilo uočenih problema, jer je korišten novi prašak, ali radi usporedivosti, za ovu prevlaku je također uslijedilo naknadno naštrcavanje.

U nastavku je istražen utjecaj kvalitete praška i naknadnog naštrcavanja na otpornost prevlaka na abrazijsko trošenje, uspoređujući i analizirajući rezultate uzoraka koji su naknadno naštrcavani

(korištena je oznaka S za takve uzorke), s rezultatima naštrcavanja novim praškom kada je postignuta željena debljina prevlake u jednom koraku (korištena je oznaka N) (tablice 3.48 i 3.49, [1]).

3 REZULTATI ISPITIVANJA I RASPRAVA

Za istraživanje otpornosti prevlaka na abrazijsko trošenje korišten je test “suhi pijesak/gumeni kotač” prema ASTM G65-94 normi [14]. Ispitivanje je provedeno prema B (sila na uzorak: 130 N; broj okretaja kotača: 2000; relativni put: 1436 m; trajanje ispitivanja: 10 min) i C (sila na uzorak: 130 N; broj okretaja kotača: 100; relativni put: 71,8 m; trajanje ispitivanja: 0,5 min) varijanti postupka.

U tablici 2 prikazani su rezultati ispitivanja otpornosti na abrazijsko trošenje za C varijantu postupka (100 okretaja kotača) za uzorke koji su naknadno naštrcavani zbog nepostizanja zahtijevane debljine prevlake u jednom koraku.

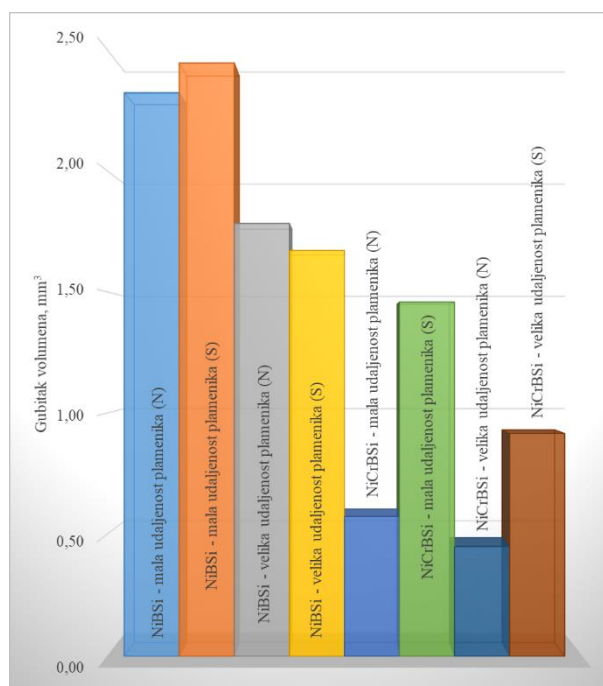
Tablica 2 Rezultati ispitivanja otpornosti na abrazijsko trošenje za C varijantu postupka (100 okretaja kotača) – naknadno naštrcavanje u pripremnim fazama istraživanja

Vrsta materijala	Oznaka uzorka	m_1 , g	m_2 , g	Δm_{100} , g	Prosječni gubitak mase, Δm_{100} , g	Prosječni gubitak volumena, ΔV_{100} , mm ³
NiCrBSi prevlaka mala udaljenost plamenika (S)	11-1	172,5021	172,4908	0,0113	0,0114	1,4578
	11-2	166,4829	166,4698	0,0131		
	11-3	176,3824	176,3726	0,0098		
NiCrBSi prevlaka velika udaljenost plamenika (S)	12-1	154,8746	154,8695	0,0051	0,0072	0,9165
	12-2	172,1338	172,1259	0,0079		
	12-3	155,5252	155,5167	0,0085		
NiBSi prevlaka mala udaljenost plamenika (S)	13-1	170,0555	170,0355	0,0200	0,0192	2,4408
	13-2	170,0097	169,9905	0,0192		
	13-3	170,2113	170,1928	0,0185		

Nastavak – Tablica 2 Rezultati ispitivanja otpornosti na abrazijsko trošenje za C varijantu postupka (100 okretaja kotača) – naknadno naštrcavanje u pripremnim fazama istraživanja

Vrsta materijala	Oznaka uzorka	m_1 , g	m_2 , g	Δm_{100} , g	Prosječni gubitak mase, Δm_{100} , g	Prosječni gubitak volumena, ΔV_{100} , mm ³
NiBSi prevlaka velika udaljenost plamenika (S)	14-1	170,4057	170,3898	0,0159	0,0132	1,6709
	14-2	170,2411	170,2278	0,0133		
	14-3	170,7738	170,7635	0,0103		

Na slici 2 je dan dijagramski prikaz rezultata ispitivanja gubitka volumena uslijed abrazijskog trošenja za C varijantu postupka (100 okretaja kotača), gdje su uspoređeni rezultati otpornosti na abrazijsko trošenje uzoraka koji su naknadno naštrcavani kako bi se postigla zahtijevana debljine prevlake, s rezultatima uzoraka kod kojih je korišten novi Eutalloy 10009 i Eutalloy 10185 prašak te je u jednom koraku postignuta zahtijevana debljina prevlake 1 mm.



Slika 2 Dijagramski prikaz gubitka volumena uslijed abrazijskog trošenja za C varijantu postupka (100 okretaja kotača) – naknadno naštrcavanje u pripremnim fazama istraživanja

Iz dijagramskog prikaza vidljivo je da na abrazijsko trošenje NiBSi prevlaka pri 100 okretaja kotača, ne utječe postupak naknadnog naštrcavanja, jer su rezultati ujednačeni s rezultatima gdje je zahtijevana debljina prevlake postignuta u jednom koraku. Za razliku od NiBSi prevlaka, na otpornost na abrazijsko trošenje NiCrBSi prevlaka značajno utječe kvaliteta praška kao i postupak naknadnog naštrcavanja. Postoji značajno odstupanje u gubitku volumena između uzoraka. Zbog loše kvalitete praška i naknadnog naštrcavanja došlo je do povećanog gubitka volumena NiCrBSi prevlaka uslijed abrazijskog trošenja pri 100 okretaja kotača.

U tablici 3 prikazani su rezultati ispitivanja otpornosti na abrazijsko trošenje za B varijantu postupka (2000 okretaja kotača) za uzorke koji su naknadno naštrcavani zbog nepostizanja zahtijevane debljine prevlake u jednom koraku.

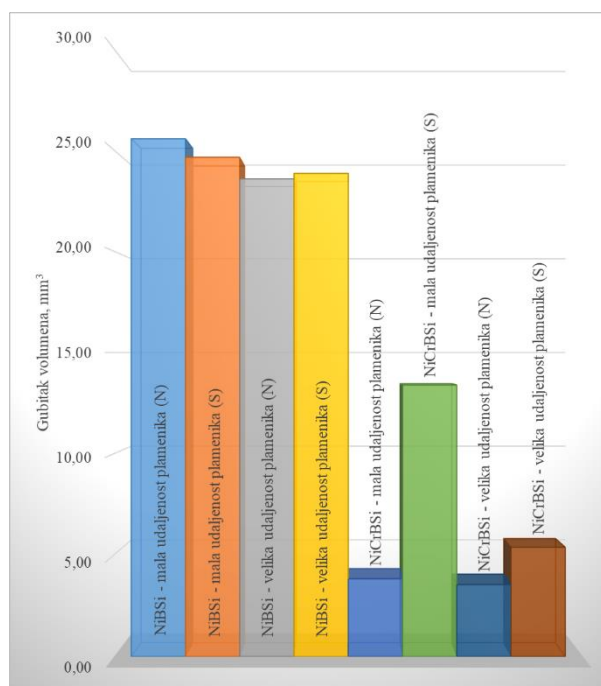
Tablica 3 Rezultati ispitivanja otpornosti na abrazijsko trošenje za B varijantu postupka (2000 okretaja kotača) – naknadno naštrcavanje u pripremnim fazama istraživanja

Vrsta materijala	Oznaka uzorka	m_1 , g	m_2 , g	Δm_{2000} , g	Prosječni gubitak mase, Δm_{2000} , g	Prosječni gubitak volumena, ΔV_{2000} , mm ³
NiCrBSi prevlaka mala udaljenost plamenika (S)	11-1	172,4908	172,4325	0,0583	0,1047	13,3930
	11-2	166,4698	166,2717	0,1981		
	11-3	176,3726	176,3148	0,0578		
NiCrBSi prevlaka velika udaljenost plamenika (S)	12-1	154,8695	154,8295	0,0400	0,0421	5,3879
	12-2	172,1259	172,0746	0,0513		
	12-3	155,5167	155,4816	0,0351		
NiBSi prevlaka mala udaljenost plamenika (S)	13-1	170,3898	170,1723	0,2175	0,1941	24,6277
	13-2	170,2278	170,0485	0,1793		
	13-3	170,7635	170,5781	0,1854		

Nastavak – Tablica 3 Rezultati ispitivanja otpornosti na abrazijsko trošenje za B varijantu postupka (2000 okretaja kotača) – naknadno naštrcavanje u pripremnim fazama istraživanja

Vrsta materijala	Oznaka uzorka	m_1 , g	m_2 , g	Δm_{2000} , g	Prosječni gubitak mase, Δm_{2000} , g	Prosječni gubitak volumena, ΔV_{2000} , mm ³
NiBSi prevlaka velika udaljenost plamenika (S)	14-1	170,0355	169,8375	0,1980	0,1878	23,8325
	14-2	169,9835	169,7831	0,2004		
	14-3	170,1928	170,0278	0,1650		

Na slici 3 je dan dijagramski prikaz rezultata ispitivanja gubitka volumena uslijed abrazijskog trošenja za B varijantu postupka (2000 okretaja kotača), gdje su uspoređeni rezultati abrazijskog trošenja naknadno naštrcvanih uzoraka s rezultatima uzoraka kod kojih je korišten novi Eutalloy 10009 i Eutalloy 10185 prašak te je u jednom koraku postignuta zahtijevana debljina prevlake 1 mm.



Slika 3 Dijagramski prikaz gubitka volumena uslijed abrazijskog trošenja za B varijantu postupka (2000 okretaja kotača) – naknadno naštrcavanje u pripremnim fazama istraživanja

Kao i za kraću varijantu trošenja, iz dijagramskog prikaza vidljivo je da na abrazijsko trošenje NiBSi prevlaka pri 2000 okretaja kotača, ne utječe postupak naknadnog naštrcavanja, jer su rezultati ujednačeni s rezultatima gdje je zahtijevana debljina prevlake postignuta u jednom koraku. Međutim, na otpornost na abrazijsko trošenje NiCrBSi prevlaka utječe kvaliteta praška kao i postupak naknadnog naštrcavanja. Vidljivo je da postoje odstupanja između uzoraka, značajno veća kod NiCrBSi prevlaka naštrcanih uz malu udaljenost plamenika. Zbog loše kvalitete praška i naknadnog naštrcavanja došlo je do povećanog gubitka volumena NiCrBSi prevlaka i uslijed abrazijskog trošenja pri 2000 okretaja kotača.

4 ZAKLJUČAK

Usporedbom i analizom rezultata abrazijske otpornosti prevlaka naštrcanih praškom koji je dulje vrijeme bio na skladištu (zahtijevana debljina prevlake postignuta naknadnim naštrcavanjem) s rezultatima naštrcavanja novim praškom (zahtijevana debljina prevlake postignuta u jednom koraku) može se zaključiti slijedeće:

Kod NiBSi prevlake postupak naknadnog naštrcavanja ne utječe na otpornost prevlake na abrazijsko trošenje, jer su rezultati ujednačeni s rezultatima gdje je zahtijevana debljina prevlake postignuta u jednom koraku.

Zbog velike razlike prosječnih vrijednosti gubitka volumena za NiCrBSi prevlaku primjenjivu u uvjetima abrazijskog trošenja, naštrcanu u jednom koraku i naknadno naštrcanu, zaključuje se da je isplativo nabaviti novi prašak, jer primjena starog praška i naknadno naštrcavanje, uzrokuje dodatne troškove zbog potrošenog vremena i sporijeg naštrcavanja te kasnije nemogućnost primjene u uvjetima abrazijskog trošenja.

5 LITERATURA

- [1] Havrlišan, S., 2017. Stohastički pristup modeliranju i optimiranju procesa naštrcavanja pomoću plinskog plamena, doktorska disertacija, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Slavonski Brod, 226.
- [2] Šimunović, K., Slokar, Lj., Havrlišan, S., 2017. SEM/EDS Investigation of One-Step Flame Sprayed and Fused Ni-Based Self-Fluxing Alloy Coatings on Steel Substrates, Philosophical Magazine, Volume 97, Issue 4, 248-268.

- [3] Navas, C., Colaco, R., de Damborenea, J., Vilar, R., 2006. Abrasive Wear Behaviour of Laser Clad and Flame Sprayed-Melted NiCrBSi Coatings, *Surface and Coatings Technology*, Volume 200, Issue 24, 6854-6862.
- [4] Sharma, S. P., Dwivedi, D. K., Jain, P. K., 2008. Abrasive Wear Behaviour of Continuously Compacted Thermal-Sprayed Ni Base Alloy Powder Coatings in Different Conditions, *International Journal of Surface Science and Engineering*, Volume 2, Issue 3-4, 240-251.
- [5] Wu, P., Zhou, C. Z., Tang, X. N., 2003. Microstructural Characterization and Wear Behavior of Laser Cladded Nickel-Based and Tungsten Carbide Composite Coatings, *Surface and Coatings Technology*, Volume 166, Issue 1, 84-88.
- [6] Sharma, S. P., Dwivedi, D. K. Jain, P. K., 2008., Effect of CeO₂ Addition on the Microstructure, Hardness, and Abrasive Wear Behaviour of Flame-Sprayed Ni-Based Coatings, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part J*, Volume 222, Issue 7, 925-933.
- [7] Sharma, S. P., Dwivedi, D. K., Jain, P. K., 2009. Effect of La₂O₃ Addition on the Microstructure, Hardness and Abrasive Wear Behavior of Flame Sprayed Ni Based Coatings, *Wear*, Volume 267, Issue 5-8, 853-859.
- [8] Hejwowski, T., Szewczyk, S., Weronki, A., 2000. *An Investigation of the Abrasive and Erosive Wear of Flame-Sprayed Coatings*, *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 106, Issue 1-3, 54-57.
- [9] Miranda, J. C., Ramalho, A., 2001. Abrasion Resistance of Thermal Sprayed Composite Coatings with a Nickel Alloy Matrix and a WC Hard Phase. Effect of Deposition Technique and Re-Melting, *Tribology Letters*, Volume 11, Issue 1, 37-48.
- [10] Šimunović, K., Grilec, K., Šimunović, G., 2002. Abrazijska otpornost NiCr i NiCrWC prevlaka (Abrasion Resistance of NiCr and NiCrWC coatings), *Proceedings of the 1st DAAAM International Conference “Advanced Technologies for Developing Countries”*, Slavonski Brod, DAAAM International Vienna, 239-244.
- [11] Havrlišan, S., Šimunović, K., Šarić, T., Šimunović, G., Svalina, I., Lujčić, R., 2017. Investigation of abrasive wear resistance of flame sprayed coatings, 9. International scientific-professional conference SBW 2017 “Engineering technologies in manufacturing of welded

constructions and products, SBW 2017”, Slavonski Brod, Mechanical Engineering Faculty in Slavonski Brod, Slavonski Brod, 25. – 27.10.2017., 309-322

- [12] Šimunović, K., Šarić, T., Šimunović, G., 2014. Different Approaches to the Investigation and Testing of the Ni-Based Self-Fluxing Alloy Coatings - A Review. Part 1: General Facts, Wear and Corrosion Investigations, Tribology Transactions, Volume 57, Issue 6, 955-979.
- [13] Šimunović, K., Šarić, T., Šimunović, G., 2014. Different Approaches to the Investigation and Testing of the Ni-Based Self-Fluxing Alloy Coatings - A Review. Part 2: Microstructure, Adhesive Strength, Cracking Behavior, and Residual Stresses Investigations, Tribology Transactions, Volume 57, Issue 6, 980-1000.
- [14] ASTM G65-94, Standard test method for measuring abrasion using the dry sand/rubber wheel apparatus, in Annual Book of ASTM Standards, 3.02, 1995., 232.