

## ISPITIVANJE VISOKOOTPORNIH PREVLAKA NA MAŠINSKIM DELOVIMA NA ABRAZIVNO HABANJE

**Dr Pavel Kovač, redovni profesor, akademik, email: pkovac@uns.ac.rs Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, 21000 Novi Sad, Trg D. Obradovića 6, Srbija**

**Dr Dušan Jesić, akademik, email: dusanjesic@hotmail.com Tehnološko-menadžerska akademija, Trg D Obradovica 7, Novi Sad, Serbia, 381**

**Dr Borislav Savković, docent, email: dusanjesic@hotmail.com Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, 21000 Novi Sad, Trg D. Obradovića 6, Srbija**

**Dasic Predrag, profesor, akademik, email: dasicp58@gmail.com Visoka tehnička mašinska skola, Department for Production Engineering, Trstenik,**

**Sarjanović Dražen, MSc, email: sarjanovicd@gmail.com Sara-Mont. Doo, Milića Rakić 7, Beograd, 381 646433885,**

*Sažetak: U radu je primenjena plazma tehnologija nanošenja prevlaka na mašinske delove. Tokom nanošenja formirani mlaz udara u površinu materijala i čestice se deponuju na površinu. Na ovaj način mogu se naneti slojevi velike debljine i na taj način revitalizovati istrošeni delovi mašina. U radu je ispitivana otpornost na abrazivno habanje slojeva od Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i slojeva od Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>sa fosfatima, koji su naneti na osnovni materijal pomoću plazma tehnologije. Otpornost na abrazivno habanje nanetih slojeva je ispitivana pomoću metode ASTM G 65-85. Prikazani su rezultai ispitivanja gubitka zapremine materijala zbog abrazionog habanja za dve navedene vrste prevlaka po tri ispitivana uzorka. Takođe su prikazani rezultati gubitka zapremine materijala pri različitom broju obrtaja tačka uređaja za ispitivanje. Sloj impregniran sa fosfatima je pokazao značajno veću otpornost na abrazivno habanje.*

*Ključne reči: nanošenje plazmom, keramičke prevlake, abrazivno habanje*

### HIGH STRENGTH COATING TESTING LAYERS ON MACHINE PARTS ON THE ABRASIVE WEAR

*Abstract: This study was conducted plasma technology application of coatings on machine parts. During the application the formed spray hits the surface of the material and the particles are deposited on the surface. In this way, the layers can be applied with a high thickness, and thus revitalized worn machine parts. Studied was the resistance to abrasive wear two types of layers: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and the Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> with phosphates, applied on the base material using plasma technology. Resistance to abrasive wear of coating was investigated by the method ASTM G 65-85. Shown are the result of material volume loss due to abrasive wear of the two aforementioned types of coatings on three samples. It was also presented the results of the material volume loss at different wheel revolution per minute. The layer impregnated with phosphates showed significantly greater resistance to abrasive wear.*

*Key words: plasma spraying, ceramics layers, abrasionwear*

## 1. UVOD

Istraživanje metalnih materijala je u svetu usmereno u dva pravca: na stvaranje novih materijala i na usavršavanje postojećih. Aluminijum je metal koji je najčešće zastupljen u zemljinoj kori (7,5%), i spada u grupu lakih metala čija je specifična težina 2,7 mg/m što je 1/3 od specifične težine čelika. Otporan je prema koroziji i ima visoku električnu provodljivost, Stoga je potrebno usmeriti istraživanja u primeni i zadovoljavajućeksploataciji ovih materijala. Jedan od osnovnih uslova za dugotrajnu zaštitu metala od korozije jeste kvalitetna priprema površine. Prevlake nanošene metodom toplog nanošenja plazmom na legurama aluminijuma su pokazale visok kvalitet obezbeđujući i poboljšanje adhezije i zaštitu od korozije [1].

Toplo nanošenje je vrlo raširena metoda formiranja prevlaka. Osnova toplog nanošenja je topljenje dodatnog materijala te usmeravanje rastopljenog materijala prema površini osnovnog materijala gde dolazi do brzog otvrdnjavanja i taloženja. Različiti postupci toplog nanošenja razlikuju se prema karakteristikama dodatnog materijala (žica ili prašak) i izvora energije potrebnog za topljenje [2].

Jedan od korištenih postupaka toplog nanošenja je nanošenje plazmom kojim se mogu nanositi različiti materijali (keramika, metali ili legure). Kod ovog postupka mešavina gasa se jonizira pomoću električnog luka. Energija dobijena na taj način koristi se za nanošenje dodatnog materijala, dovedenog u obliku praška, velikom brzinom preko osnovnog materijala. Postignute visoke temperature (1600°C) omogućuju topljenje keramičkih materijala [3]. Nanošenje plazmom keramičkih prevlaka našlo je primenu u mnogim slučajevima gde je potrebna otpornost pri radu na visokim temperaturama, kao i otpornost na habanje i koroziju [4].

Kako se ovim postupcima mogu naneti prevlake velike debljine (do nekoliko mm) one se mogu koristiti za poboljšanje

eksploatacionih karakteristika novih ili reparaciju oštećenih mašinskih delova. Oko 50% svih slučajeva trošenja otpada na proces abrazije. Karakteristika ove vrste trošenja je prisutnost tvrdih abrazivnih čestica uglavnom mineralnog porekla pa se često naziva mineralno trošenje. Tipični primeri abrazivnog trošenja su radni delovi poljoprivredne, građevinske i rudarske mehanizacije, potopljene muljne pumpe, alati za obradu odvajanjem čestica itd. Najveća otpornost kod ovih tribo sistema prethodi od prekomernog abrazivnog trošenja, mala otpornost od zamora površine a najmanje opasno tj prihvatljivo je tribokorozivno trošenje.

Navedene prevlake se uspešno mogu koristiti za obnavljanje pohabanih delova poljoprivredne tehnike. Kvalitetno regeneriran deo može pouzdano vršiti svoju funkciju u tehničkom isitemu.

## 2. MATERIJAL I METOD RADA

### 2.1 Metod rada

Postupak nanošenja plazmom sproveden je u Institutu za materijale "Tehnološkog fakulteta u Tampereu, Finska. Slojevi Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, su nanešeni korištenjem plazma postupka A 3000 S, pri čemu je korišćen prašak Amperit 740.1. Debljine slojeva su bile između 350 i 400 μm. Osnovni materijal je bio čelik ( S235JO ).

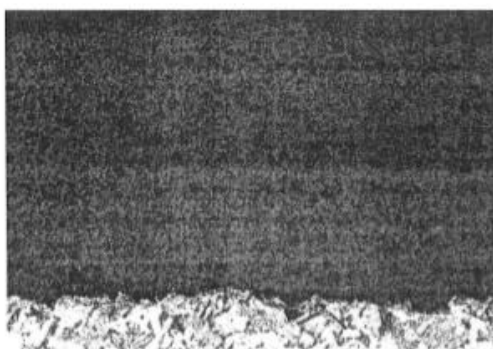
Kod uzoraka s aluminijumskim fosfatima poroznost slojeva Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> smanjena je dodavanjem fosfata pri čemu je korišćen rastvor Al(OH)<sub>3</sub> – H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> težinskog odnosa 1 : 4,2 ; uz dodatak 20% destilzirane vode. Rastvor je impregniran u sloj pri sobnoj temperaturi i atmosferskom pritisku. Vreme trajanja impregnacije iznosilo je 12 sati nakon čega su uzorci termički obrađeni. Termička obrada izvedena je u tri koraka: 2 sata na temperaturi od 100°C, 2 sata na temperaturi od 200°C i 2 sata na temperaturi od 400°C [5].

### 2.2. Metalografska analiza uzoraka

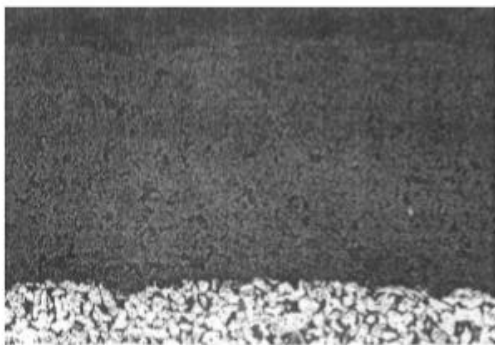
Eksperimentalna istraživanja u ovom radu obuhvataju ispitivanja strukturnih karakteristika metalografskim ispitivanjima

metodom optičke mikroskopije. Uzorci su pripremljeni za metalografsku analizu tako što su poprečno prerežani, a zatim nagriženi u nitalu. Pri sečenju uzorka (mehanički i termički metod) potrebno je posebno obratiti pažnju da ne dođe do strukturnih promena. Uvećanje na svetlosnom mikroskopu je bilo optimalno na 200 puta [6].

Na slici 1 prikazana je mikrostruktura uzorka na koji je nanešen sloj  $Al_2O_3$ , a na slici 2 mikrostruktura uzorka na koju je nanešen sloj  $Al_2O_3$  impregnirani aluminijским fosfatima.



Slika 1. Mikrostruktura uzorka na koji je nanešen sloj  $Al_2O_3$ , uvećanje 200:1



Slika 2. Mikrostruktura uzorka na koji je nanešen sloj  $Al_2O_3$  impregniran aluminijским fosfatima, uvećanje 200:1

### 2.3. Ispitivanje tvrdoće

Ispitivanje tvrdoće sprovedeno je metodom Vikers HV 0,3 a rezultati su dati u tabeli 1. Ispitivanje je izvedeno pomoću utiskivača koji se utiskuje u ispitivani materijal i meri se veličina utisnutog traga. Utiskivač je izrađen od dijamanta u obliku pravilne četvorostrane piramide sa uglom pri vrhu  $136^\circ \pm 0.5^\circ$ . Prema standardnoj proceduri optimalna silu utiskivanja je bila 10 N.

Vreme nanošenja sile utiskivanja u površinu uzorka materijala iznosilo je 10-15 s, uz ravnomeran prirast sile.

Tabela 1. Rezultati ispitivanja tvrdoće

Vrsta sloja	Tvrdoća HV 0,3
$Al_2O_3$	920
$Al_2O_3$ impregniran Al fosfatima	1120

### 2.4. Ispitivanje otpornosti na abrazivno habanje

Ispitivanje otpornosti na abrazivno habanje sprovedeno je metodom "suvi pesak/gumeni točak" prema standardu ASTM G 68-85 i to varijantama postupka B i C, tabela 2 [7].

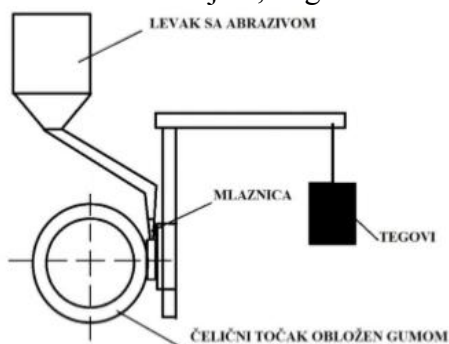
Standardni uređaj ASTM G 65-85 test uređaja koji radi po metodi suvi pesak i gumeni točak, a sastoji se od abrazivne epruvete  $12 \times 12 \times 75$  mm, sa standardnim zaobljenjem pomoću kvarcnog peska Ottava AFS 50 70. Epruveta se naslanja na točak obložen gumom tvrdoće oko 64 Shore, a opterećena je tegovima preko kolenaste poluge. Sila F iznosi 130 N ili 45 N u zavisnosti od varijante postupka a još je promenljiv i broj obrtaja točka koji se reguliše brzinomerom. Šema uređaja za ispitivanje otpornosti na abraziju prikazana je na slici 3. Prečnik gumenog točka na uređaju za ispitivanje iznosi 228,6 mm, širina i debljina gumenog prstena 12,7 mm, mlaznica za pesak je izrađena od čelika (DIN EN S235JRG2) i postiže protok od 250-350 g/min, broj obrtaja pogonskog elektro motora iznosi 196 o/min.

Rezultati praćenja ponašanja regenerisanih mašinskih elemenata u eksploataciji pokazuju da vek tavanja nije isti. Već često viši. Pritome cene regeneracije čini od 10 do 20 % novog mašinskog dela.

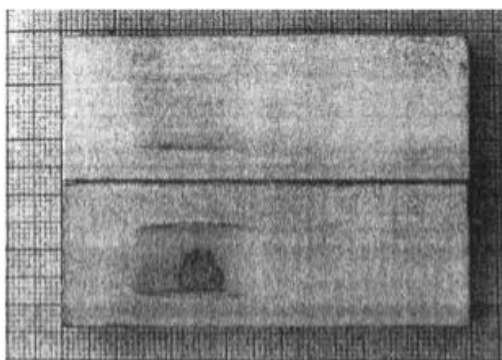
Tabela 2. Varijante postupka

Varijante postupka	Veličina sile na epruveti	Broj obrtaja točka [o/min]	Relativan pređeni put [m]
A	130	6000	4309
B	130	2000	1436
C	130	100	71.8
D	45	6000	4309

Kod varijante B sila na ispitivanom uzorku iznosila je 130 N, a broj obrtaja točka 2000 o/min. Kod varijante C sila na ispitivanom uzorku iznosila je takođe 130 N, ali je broj obrtaja točka 100. Za obe vrste slojeva sprovedeno je ispitivanje na tri uzorka. Uzorci nakon habanja prikazani su na slici 4. Rezultati gubitka zapremine  $\Delta V_{ASTM}$  u  $mm^3$  prikazani su u tabeli 3 i na slikama 5 i 6. Korišćena gustina slojeva pri računanju  $\Delta V_{ASTM}$  iznosila je  $3,98 \text{ g/cm}^3$ .



Slika 3. Šema uređaja za ispitivanje otpornosti na abraziju

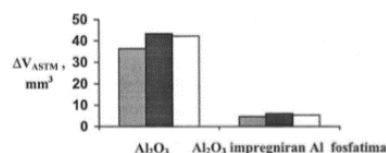


Slika 4. Uzorci nakon habanja

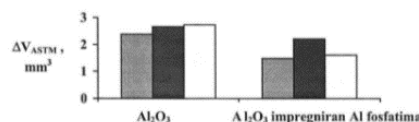
Varijanta postupka	Otpornost na abrazivno habanje $\Delta V, mm^3$					
	$Al_2O_3$			$Al_2O_3$ impregniran Al fosfatima		
	1	2	3	1	2	3
B	36,407*	43,367*	42,236*	4,673	6,106	5,327
C	2,387	2,663	2,733	1,482	2,211	1,608

Tabela 3. Rezultati ispitivanja otpornosti na abrazivno habanje po metodi ASTM G 65-85

\* - Došlo je do proboja površinskog sloja

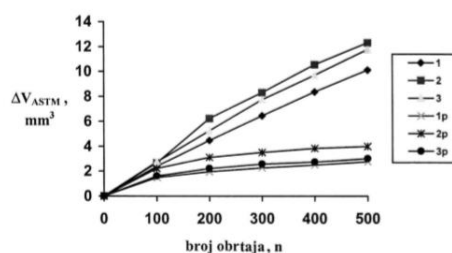


Slika 5. Gubitak zapremine nakon abrazivnog habanja po metodi ASTM G 65-85, varijanta postupka B



Slika 6. Gubitak zapremine nakon abrazivnog habanja po metodi ASTM G 65-85, varijanta postupka C

Osim ispitivanja po metodi ASTM G 65-85 praćen je i tok habanja uzoraka, kod sile na ispitivani uzorak od 130 N, nakon 100, 200, 300, 400 i 500 obrtaja točka. Rezultati gubitka zapremine  $\Delta V_{ASTM}$  u  $mm^3$  prikazani su u tabeli 4 i na slici 7.



1, 2, 3 - uzorci sa slojem  $Al_2O_3$   
1p, 2p, 3p - uzorci sa slojem  $Al_2O_3$  impregnirani Al fosfatima

Slika 7. Tok abrazivnog habanja Tabela 4. Rezultati praćenja toka abrazivnog habanja

Broj obrtaja ns	$\Delta V, mm^3$					
	$Al_2O_3$			$Al_2O_3$ impregniran Al fosfatima		
	1	2	3	1	2	3
100	2,387	2,663	2,733	1,482	2,211	1,608
200	4,472	6,231	5,251	1,960	3,116	2,211
300	6,457	8,317	7,739	2,261	3,518	2,563
400	8,367	10,553	9,698	2,487	3,844	2,739
500	10,126	12,337	11,784	2,764	3,995	3,015

### 3.ZAKLJUČAK

Rezultati ispitivanja pokazuju da je sloj  $Al_2O_3$  impregniran Al fosfatima otporniji abrazivnom habanju u odnosu na sloj  $Al_2O_3$  prema ASTM G 65-85. Za varijantu postupka C je ta povećana otpornost slabije izražena, dok je kod varijante postupka B sloj  $Al_2O_3$  impregniran Al fosfatima otporniji prema abraziji od sloja  $Al_2O_3$  šest do devet puta. Pri tome je doslo do potpunog skidanja sloja  $Al_2O_3$  kod varijante postupka B

Praćenje toka abrazivnog habanja ukazuje na to da se otpornost na abrazivno habanje sloja Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> impregniranog Al fosfatima i sloja Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> počinje značajno razlikovati nakon 200 obrtaja. S daljim povećanjem broja obrtaja ta se razlika u otpornosti sve više povećava u korist slojeva Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> impregniranih Al fosfatima.

Pored stalne kontrole uređaja tribometra posebno je potrebno voditi kontrolu kvaliteta peska AFS(50/70), potreban je granulacijski sastav okrugli i kvadratni. Vлага ne sme prelaziti 0,5 % . Pesak koji je izložen vlazi može negativno uticati na rezultate ispitivanja. Višestruka upotreba peska se ne preporučuje.

Izabrane prevlake naročito su otporne na abraziono trošenje mogu se primeniti na zahtevne delove savremene poljoprivredne tehnike.

#### 4. LITERATURA

- [1] Kovač P, Šidjanin L, Savković B, Wannasin J, Rainović D. 2008. Usporedno istraživanje procesa nastajanja strugotine pri obradi legure na bazi aluminijuma, 32. Savetovanje proizvodnog mašinstva Srbije sa međunarodnim učešćem, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, ISBN 978-86-7892-131-5, 18.-20. Septembar, Zbornik radova, 65- 68.
- [2] Škorić B, Favaro G, Kakaš D, Miletić A, Ješić D. 2011. Nano Characterization of Hard Coatings with Additional Ion Implantation, 12th International Conference on Tribology SERBIATRIB, Kragujevac, Serbia
- [3] Vijande-Diaz R. Beizunce J, Fernandez E, Rincon A, Perez M.C. 1991. Wear and Microstructure in Fine Ceramic Coatings, Wear. Vol.148, No.2, 221-233.
- [4] Wang Y, Jin Y, Wen S. 1989. The Inspection of the Sliding Surface and Subsurface of Plasma- Sprayed Ceramic Coatings Using Scanning acoustic Microscopy, Wear. Vol.134, No.2, 399-411.
- [5] Mantyla T, Leivo E, Knuuttila J, Vuoristo P. 1997. Abrasive and Erosive Wear of Plasma Sprayed Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Coatings Sealed by Aluminum Phosphates,

COST 516 Tribology, 22-23. May, Seminar in Prague

[6] Kovač P, Sidjanin L, Rajnović D, Savković B, Wannasin J. 2012. The microstructure influence on the chip formation process of Al-Cu alloy cast conventionally and in semi solid state, Journal: METALURGIJA, No.1, Vol 51, Zagreb, ISBN 0543-5846, 34-38.

[7] Ješić D. 2006. Messung von Uberzugen mit dem «Scratch Tester»- dem Messgerat fur die Zukunft, Tribologie+Schmierungstechnik, 53. Jahrgang 4/2006