



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 Savković¹, docent, email: dusanjesic@hotmail.com
Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, 21000 Novi Sad, Trg D. Obradovića 6,
Srbija

Dasic Predrag³, profesor, akademik, email: dasicp58@gmail.com
Visoka tehnička mašinska škola, 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_2O_3 i slojeva od Al_2O_3 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 rezultati 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 točka uređaja za ispitivanje. Sloj impregniran sa fosfatima je pokazao značajno veću otpornost na abrazivno habanje.
Glavne 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_2O_3 and the Al_2O_3 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 zadovoljavajućoj



eksploataciji 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 tribokorozivsko 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 Instltutu za materijale "Tehnološkog fakulteta u Tampereu, Finska. Slojevi Al_2O_3 , 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_2O_3 smanjena je dodavanjem fosfata pri čemu je korišćen rastvor $Al(OH)_3 - H_3PO_4$ težinskog odnosa 1 : 4,2 ; uz dodatak 20% destilizirane vode. Rastvor je impregniran u sloj pri sobnoj temperaturi i atmosferskom pritisku.

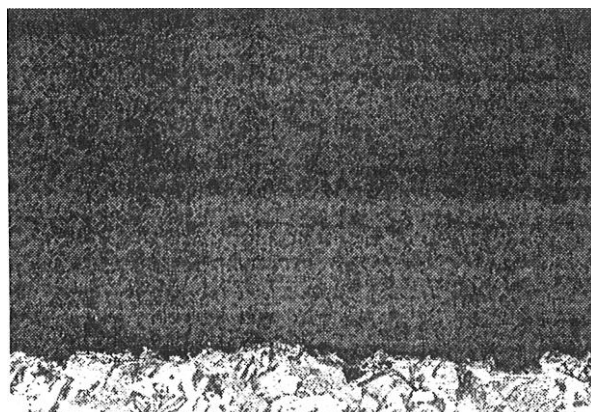


Vreme trajanja impregnacije iznosilo je 12 sati nakon čega su uzorci termički obrađeni. Termička obrada izvedena je u tri koraka: 2 sata na temperaturi od 100°C, 2 sata na temperaturi od 200°C i 2 sata na temperaturi od 400°C [5].

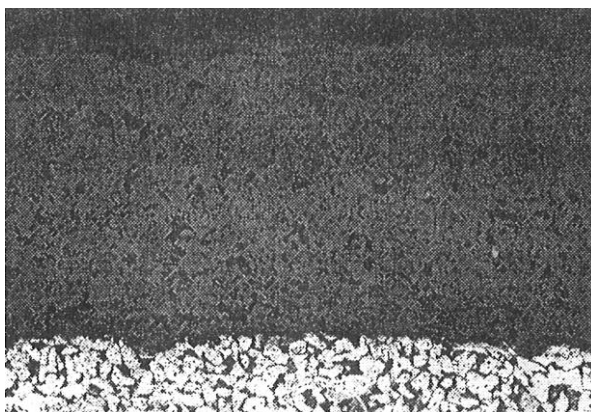
2.2. Metalografska analiza uzoraka

Eksperimentalna istraživanja u ovom radu obuhvataju ispitivanje strukturnih karakteristika metalografskim ispitivanjima metodom optičke mikroskopije. Uzorci su pripremljeni za metalografsku analizu tako što su poprečno prerezani, 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 aluminijskim 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 aluminijskim fosfatima, uvećanje 200:1

2.3. Ispitivanje tvrdoće



Ispitivanje tvrdoće sprovedeno je metodom Vickers 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 četvorostране 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 abrazione 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 Shorea, 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.

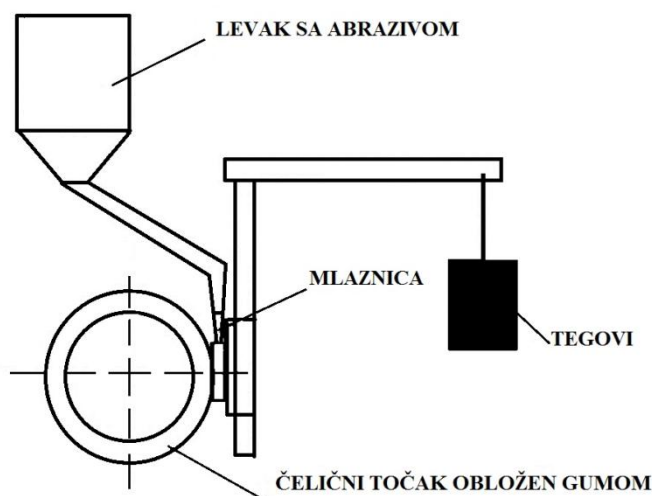
Rezultati praćenja ponašanja regenerisanih mašinskih elemenata u eksploataciji pokazuju da vek tavanja nije isti. Već često viši. Pritome cene regeneracije čini od 10 do 20 % novog mašinskog dela.

Tabela 2. Varijante postupka

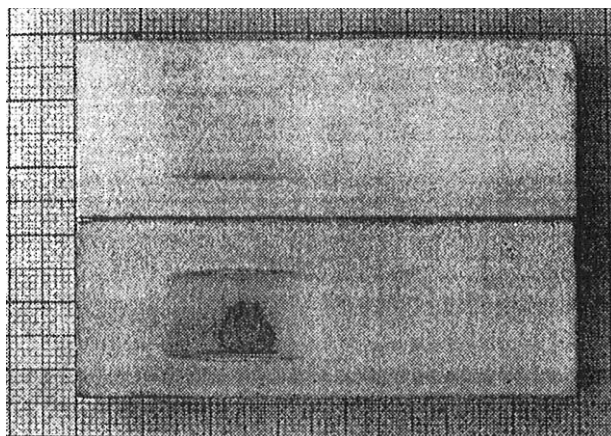
Varijante postupka	Veličina sile na epruveti	Broj obrtaja točka [o/min]	Relativan pređeni put [m]
A	130	6000	4309
B	130	2000	1436
C	130	100	71.8
D	45	6000	4309

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

prkazani su na slici 4. Rezultati gubitka zapremine ΔV_{ASTM} u mm^3 prikazani su u tabeli 3 i na slikama 5 i 6. Korišćena gustina slojeva pri računanju ΔV_{ASTM} iznosila je $3,98 \text{ g/cm}^3$.



Slika 3. Šema uređaja za ispitivanje otpornosti na abraziju

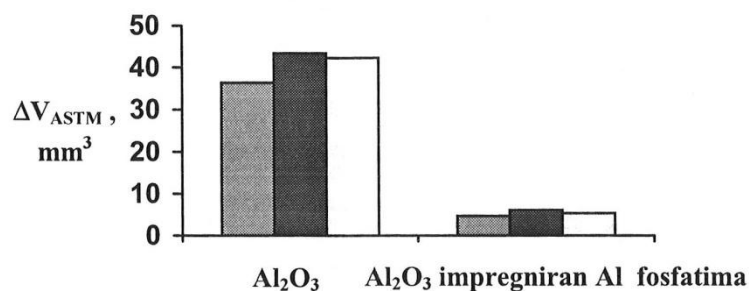


Slika 4. Uzorci nakon habanja

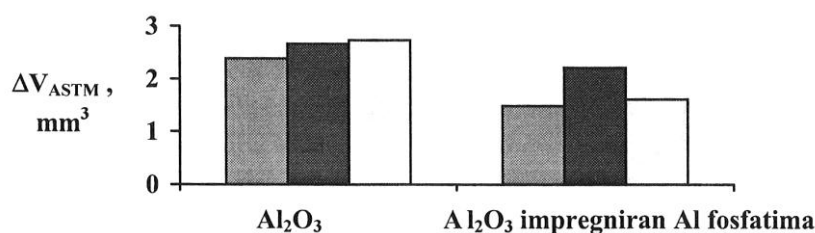
Tabela 3. Rezultati ispitivanja otpornosti na abrazivno habanje po metodi ASTM G 65-85

Varijanta postupka	Otpornost na abrazivno habanje ΔV , 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

* - Došlo je do proboja površinskog sloja

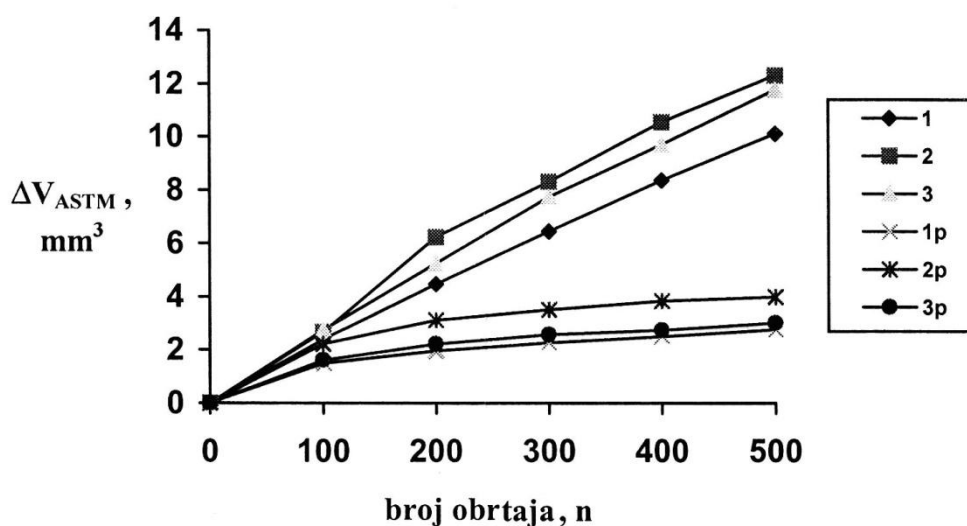


Slika 5. Gubitak zapremine nakon abrazivnog habanja po metodi ASTM G 65-85, varijanta postupka B



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 ispitvani uzorak od 130 N, nakon 100, 200, 300, 400 i 500 obrtaja točka. Rezultati gubitka zapremine ΔV_{ASTM} u mm³ prikazani su u tabeli 4 i na slici 7.



1, 2, 3 - uzorci sa slojem Al₂O₃
1p, 2p, 3p - uzorci sa slojem Al₂O₃ impregnirani Al fosfatima



Slika 7. Tok abrazivnog habanja

Tabela 4. Rezultati praćenja toka abrazivnog habanja

Broj obrta ns	$\Delta V, \text{mm}^3$					
	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_2O_3 impregniranog Al fosfatima i sloja Al_2O_3 počinje značajno razlikovati nakon 200 obrtaja. S daljim povećanjem broja obrtaja ta se razlika u otpornosti sve više povećava u korist slojeva Al_2O_3 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. Uporedno 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_2O_3 and Cr_2O_3 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 Überzügen mit dem «Scratch Tester»- dem Messgerät für die Zukunft, *Tribologie+Schmierungstechnik*, 53. Jahrgang 4/2006