

<https://doi.org/10.24867/JPE-1993-10-083>

ORIGINALNI NAUČNI RAD

D. Kakaš, Lj. Mažibrada, B. Škorić

UTICAJ KOMBINOVANIH PLAZMA PREVLAKA NA INTENZITET HABANJA  
KOD TVRĐIH I MEKŠIH METALNIH OSNOVA

THE INFLUENCE OF COMPOSITE PLASMA SURFACE LAYERS WEAR  
RESISTANCE OF HARD AND RELATIVELY SOFT BASE MATERIALS

*Summary*

*In this investigation the different types of hard surface layers was produced by plasma technology, including the composite plasma layers. The composite layers was produced like combination of plasma nitride layer and subsequent plasma deposition of TiN or TiAlN. At this way the gradient of stress concentration was improved. This is very important at the case of wear with high specific load at the wear zone. At our investigation the two different types of steel, like base materials, was applied. The first one was high speed steel AISI M2 (65 HRC) like representativ of hard base material. The second was structural steel AISI 4140 with relatively low hardness (26-40 HRC). The criteria for wear resistance the dimension of wear zone was chosen. The results show that combined layer had not such great advantage compared to single TiN layer if base material is hard. Wear resistance was significantly improved at the AISI 4140 steel coated by composite layers, compared to single TiN layer. Our results shows little advantage of composite layer with deposition of TiN, compared to pN+TiAlN, but with some reserve because the TiN was depositet by arc-evaporation technology, the other was deposited by sputtering plasma PVD technology.*

Kakaš dr Damir, vanr. prof.; Mažibrada Ljiljana, dipl. ing.; Škorić Branko, dipl. ing. - Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, Novi Sad.

*Rezime*

*U okviru istraživanja uticaja različitih tipova plazma prevlaka na intenzitet habanja kod tvrdih i mekših metalnih osnova izvršeno je nanošenje kombinovanih plazma slojeva primenom plazma nitriranja (pN), uz naknadnu depoziciju tvrdih prevlaka titan-nitrida (TiN), odnosno, titan-aluminijum-nitrida (TiAlN). Kod čelika sa tvrdom metalnom osnovom, kao što je brzorezni čelik (Č.7680), prednosti kombinovanih slojeva su relativno malo izražene naročito kod kraćih vremena habanja. Povećanje otpornosti na habanje je daleko jače izraženo kod kombinovanih prevlaka primenjenih na materijal sa relativno mekom metalnom osnovom, kao što je čelik za poboljšavanje (Č.4732). Kod ovog materijala značajno povećanje otpornosti na habanje uočava se kako kod kraćih, tako i kod dužih perioda trajanja habanja. Istraživanja su pokazala da su se nešto povoljnije pokazale prevlake tipa pN+TiN u odnosu na prevlake tipa pN+TiAlN.*

## 1. UVOD

Poslednjih nekoliko godina na Institutu za proizvodno mašinstvo urađen je veći broj eksperimenata vezan za istraživanje plazma difuzionih (pN) i plazma deponovanih prevlaka (TiN, TiAlN) /1,2/. Analizom dostupne literature konstatovano je da ima relativno malo podataka o ponašanju različitih tvrdih prevlaka, deponovanih na različito tvrdoj metalnoj osnovi, u pogledu otpornosti na habanje /3,4/. Posebno interesantan problem, sa gledišta habanja, predstavlja slučaj trenja sa visokim kontaktnim opterećenjem kada je prisutna i velika lokalna koncentracija napona u metalnoj osnovi ispod same površine kontakta tribološkog para. Da bi se ostvarili ovakvi uslovi habanja korišćena je jedna originalna metoda ispitivanja primenom univerzalne habalice tipa AMSLER, ali sa novom vrstom epruveta i adaptacijom uslova rada na mašini /2/.

U toku početnih istraživanja konstatovano je da se i pored velikog povećanja tvrdoće površinskog sloja, dobijenog samo plazma depozicijom TiN ili TiAlN, ne može bitno povećati otpornost na habanje kod materijala sa mekom metalnom osnovom /5/. Naime, utvrđeno je da u ovom slučaju dolazi do veoma brzog razbijanja tvrdog površinskog sloja tako da se praktično nastavak habanja vrši kroz samu metalnu osnovu. Predpostavljeno je da se i kod konstruktivnih čelika može postići dobra otpornost na habanje i pri visokom kontaktnom opterećenju, ako se izvrši predhodna priprema metalne osnove putem difuzionog plazma postupka u cilju smanjenja gradijenta tvrdoće između osnovnog materijala i deponovane plazma prelake /6/. Prema već postojećim iskustvima, u ovom eksperimentu se za pripremu metalne osnove koristila tehnologija plazma nitriranja, a za deponovani plazma sloj izabrane su prevlake TiN odnosno TiAlN.

Cilj ovog rada je da pokaže veličinu uticaja kombinovanih prevlaka na intenzitet habanja kod čelika sa tvrdom metalnom osnovom (brzorezni) i čelika koji po tehničkim zahtevima u primeni najčešće imaju relativno meku metalnu osnovu (konstruktivni).

## 2. POSTAVKA EKSPERIMENTA

Za reprezentativne materijale sa tvrdom i mekšom metalnom osnovom izrađene su epruvete nestandardnog oblika od brzoreznog čelika Č.7680 (oznaka B) sa dimenzijama  $\varnothing$  38x10 mm i konstruktivnog čelika Č.4732 (oznaka E) sa dimenzijama  $\varnothing$  35x9 mm. Posle odgovarajuće termičke obrade koja je davala optimalne eksploatacione osobine metalnoj osnovi izabranih čelika primenjeni su postupci plazma tehnologija. Kod jednih epruveta izvršena je modifikacija metalne površine putem plazma nitriranja (dubine 50 do 100 $\mu$ m) uz naknadnu depoziciju tvrdih prevlaka TiN, odnosno, TiAlN. Na druge epruvete primenjen je samo čisti TiN sloj. Tip primenjenog sloja, kao i ukupni rezultati merenja površinske tvrdoće i debljine sloja nakon prevlačenja dati su u tabeli T-1, uz napomenu da su svi slojevi naneti na prethodno brušenu površinu i da su sve epruvete imale približno istu veličinu hrapavosti. Prevlačenje epruveta TiN slojem rađeno je tehnikom isparavanja pomoću katodnog luka u uređaju DTC- 400B firme VAC-TEC, u Centru za tvrde prevlake JUGOALAT- Novi Sad. Depozicija TiAlN rađena je tehnikom magnetronskog raspršivanja u uređaju Leybold Heraeus Z-700, u IMT-u Rakovica.

Ispitivanje otpornosti na habanje izvršeno je na univerzalnoj habalici tipa Amsler u uslovima suvog trenja sa 100 % klizanja. Kao spregnuto telo korišćene su epruvete oblika diska  $\varnothing$ 50x10 mm sa radijusom na površini kontakta R=120 mm, izrađene od čelika za cementaciju Č.4320, cementirane na dubinu 0,8 mm i termički obrađene na tvrdoću 60-61HRC. Radijus na cementiranoj epruveti omogućio je da se početni tačkasti kontakt, ostvaren sa jednom ravnom površinom prevučene epruvete, tokom habanja pretvara u elipsastu površinu u zoni kontakta. Efekti habanja su ispitivani preko praćenja promene dimenzija zone habanja, odnosno, merena je dužina i širina otisaka nastalih nakon 2, 5 i 20 minuta od početka habanja, uz konstantno opterećenje od 5 kg na spregnutu epruvetu.

Tabela T-1. Površinska tvrdoća, tvrdoća osnove i debljina sloja nakon primene odgovarajućeg plazma postupka

uzorak	tip sloja	površinska tvrdoća			tvrdoća osnove HRC	*debljina sloja $\mu$ m
		HVO,025	HVO,05	HVO,03		
B	neprevučen				65	
	TiN	3048	1892		65	2,9
	pN+TiN	3075	2734		65	3,5
	pN+TiAlN			3000	65	3,2
E	neprevučen				40	
	TiN	1560	1175		40	2,9
	pN+TiN	1820	1498		26	3,5
	pN+TiAlN			2650	26	3,0

\* navedena debljina se odnosi samo na TiN i TiAlN sloj

## 3. REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati praćenja promene dimenzija zone habanja u zavisnosti od vremena habanja i tipa sloja prikazani su u tabeli T-2. Grafički

prikaz ovih rezultata dat je na slikama 1 i 2, pri čemu je kao merodavna veličina za praćenje toka habanja uzeta širina zone habanja.

Tabela T-2. Promena geometrije zone habanja u zavisnosti od vremena habanja i tipa sloja primenjenog na osnovu čelika B(Č.7680) i E(Č.4732)

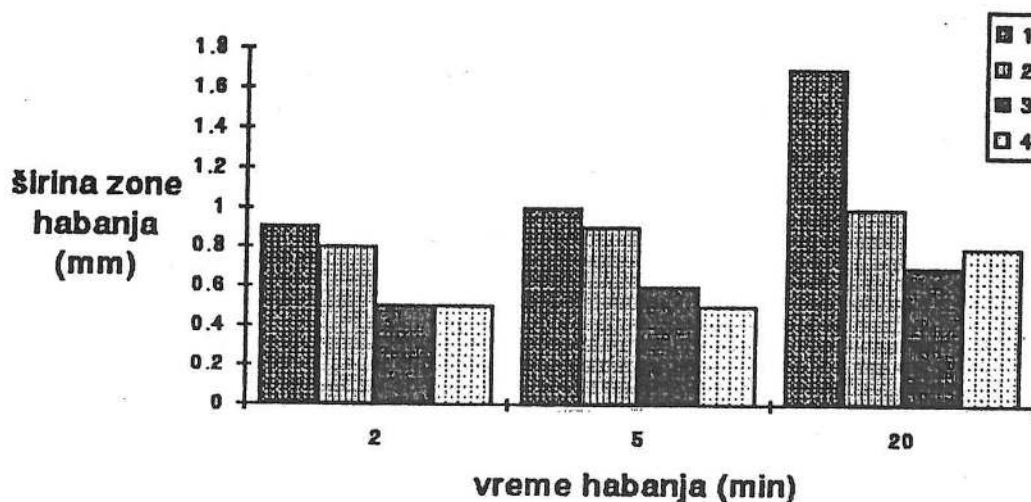
uzorak	tip sloja	vreme habanja(min)	dužina otiska (mm)	širina otiska (mm)
B	neprevučeni	2	4,5	0,9
		5	5,0	1,0
		20	5,4	1,7
	TiN	2	3,2	0,8
		5	3,3	0,9
		20	3,4	1,0
	pN+TiN	2	2,7	0,5
		5	2,9	0,6
		20	3,0	0,7
	pN+TiAlN	2	4,1	0,5
		5	4,1	0,5
		20	4,2	0,8
E	neprevučeni	2	6,9	2,8
		5	6,5	3,0
		20	7,5	3,5
	TiN	2	6,5	2,6
		5	6,7	3,0
		20	6,8	3,2
	pN+TiN	2	2,0	1,1
		5	4,0	1,3
		20	4,1	1,5
	pN+TiAlN	2	2,0	1,2
		5	5,0	1,3
		20	4,2	2,1

Kod uzoraka brzoreznog čelika (sl.1) neprevučeni uzorak ima dosta značajan porast intenziteta habanja zavisno od vremena. Nanošenjem samo TiN sloja proces habanja se znatno usporava što je evidentno nakon 20 minuta habanja. Sloj TiN smanjuje za 41,2 % veličinu zone habanja. Kombinovani sloj pN+TiN dodatno smanjuje efekte habanja ali svega 30% u odnosu na čist TiN sloj.

Znatno drugačija situacija se javlja kod habanja konstruktivnog čelika sa relativno mekom metalnom osnovom (sl.2). Nanošenje samog TiN sloja pokazuje neznatne efekte u pogledu smanjenja intenziteta habanja. To je objašnjeno kao rezultat brzog lomljenja tvrde površinske prevlake usled znatne lokalne plastične deformacije metalne osnove na samom početku habanja. Na taj način, već posle dva minuta

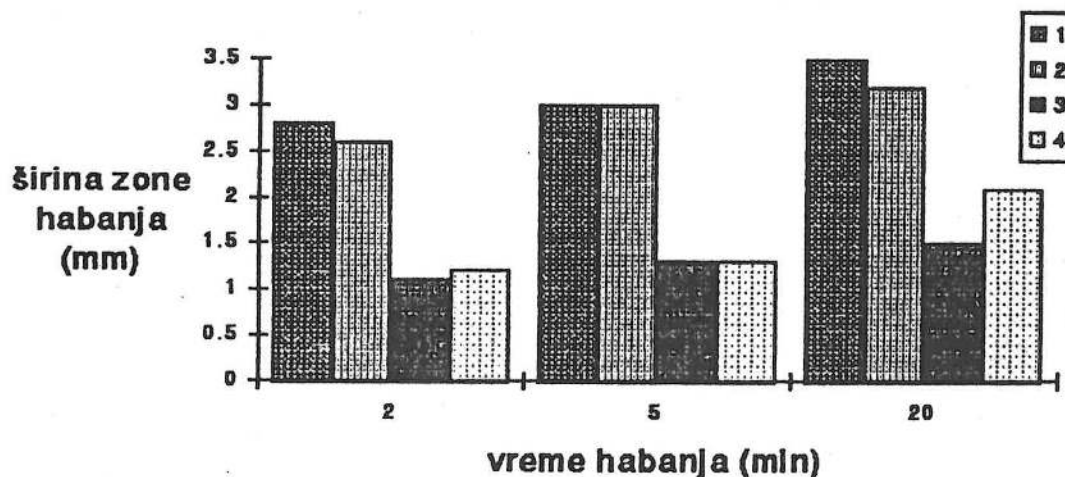
od početka habanja, kod mekih metalnih osnova habanje se najvećim delom ostvaruje putem direktnog kontakta spregnute epruvete i metalne osnove. Nanošenjem kombinovane prevlake pN+TiN kod ovog čelika naglo opada intenzitet habanja već na samom početku procesa trenja, tako da se nakon dva minuta habanja njegov intenzitet smanjuje za 60,7% u odnosu na epruvetu bez prevlake, odnosno, 57,6% u odnosu na epruvetu sa čistim TiN slojem.

### TOK HABANJA B



Slika 1. Grafički prikaz toka habanja za: 1-neprevučenu, 2-TiN, 3-pN+TiN, 4-pN+TiAlN, epruvetu izradenu od čelika B (Č.7680)  
 Fig.1. Wear zone dimension changes in function of wear time: 1-uncoated, 2-TiN, 3-pN+TiN, 4-pN+TiAlN, for HSS base material

### TOK HABANJA E



Slika 2. Grafički prikaz toka habanja za: 1-neprevučenu, 2-TiN, 3-pN+TiN, 4-pN+TiAlN, epruvetu izradenu od čelika E (Č.4732)  
 Fig.2. Wear zone dimension changes in function of wear time: 1-uncoated, 2-TiN, 3-pN+TiN, 4-pN+TiAlN, for structural steel like base material

Kod kombinovanih prevlaka primenjenih kod obe vrste čelika postepeno raste veličina zone habanja sa vremenom i to kod sloja pN+TiAlN je taj proces nešto brži nego u odnosu na sloj pN+TiN. Ne može se pouzdano tvrditi da je to posledica samo tipa prevlake pošto je za nanošenje TiN korišćena tehnologija lučnog isparavanja, dok je za nanošenje TiAlN korišćena tehnologija magnetronskog raspršivanja. Isto tako, kao značajan uticaj može se pokazati i određena razlika u debljini sloja (tabela T-1).

#### 4. ZAKLJUČAK

Na osnovu dobijenih rezultata istraživanja može se zaključiti da depozicija jednoslojne tvrde prevlake (TiN) ima značajne efekte povećanja otpornosti na habanje sa visokim kontaktnim opterećenjem samo kod materijala sa tvrdom metalnom osnovom. Kod tih materijala nanošenje kombinovanih prevlaka dodatno poboljšava otpornost na habanje, ali to nije tako jako izraženo u odnosu na čist TiN sloj.

Kod konstruktivnih čelika nanošenje jednoslojne tvrde prevlake ne daje značajne efekte smanjenja intenziteta habanja tako da se može preporučiti korišćenje kombinovanih prevlaka tipa pN+TiN ili pN+TiAlN, za uslove habanja koji su opisani u ovome radu.

Za definitivni zaključak o prednosti TiN sloja u odnosu na TiAlN, kao spoljni deo kombinovane prevlake, potrebno je izvršiti dodatno istraživanje, pri čemu bi se obezbedila ista tehnologija kao i ista debljina tog sloja.

#### 5. LITERATURA

- /1/ D. Kakaš, Lj. Mažibrada, B. Škorić, V. Jugović: Uticaj opterećenja i trajanja habanja na fenomene habanja kod brzoreznog čelika sa TiN prevlakom, Novi Sad, 1992, Zbornik IPM, br. 9, str. 63-72.
- /2/ D. Kakaš, Lj. Mažibrada, A. Kunosić, M. Zlatanović: Tribological properties of TiN coatings in composite and single surface layers, International Conference on Metallurgical Coatings and Thin Films, San Diego-California, 1992.
- /3/ P. Hedenqvist at all: Surface engineering, Vol. 5, No. 2, 1989, p. 141-150.
- /4/ M. Babić, M. Meyer i drugi: Tribološke karakteristike tvrdih prevlaka na konstrukcijskim čelicima, Druga jugoslovenska konferencija o tribologiji, Kragujevac 1991, str. 279-282.
- /5/ Lj. Mažibrada: Istraživanje uticaja titannitriranja na fenomene habanja, diplomski rad, 1991, FTN-Novi Sad.
- /6/ M. Zlatanović, P. Stošić: Comparative tests of TiN and TiAlN coated hobs in gear cutting operations, Plasma Surface Engineering, Vol. 2, 1989, p. 861-868.