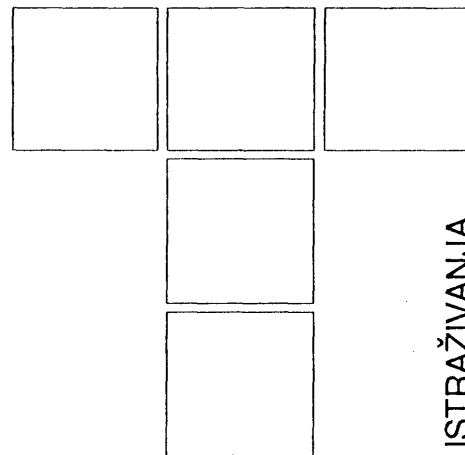


B. NEDIĆ, R. JEČMENICA, M. ČETKOVIĆ

Tribološke karakteristike reznih alata sa prevlakama od TiN, TiAlN, TiZrN i ZrN*



1. UVODNA RAZMATRANJA

U poslednje vreme u svetu, a i kod nas, pojavio se veliki broj preduzeća koja poseduju opremu za nanošenje različitih tvrdih prevlaka na rezne alate. Nanošenje ovih prevlaka omogućuje povećanje postojanosti pojedinih alata i do nekoliko puta. Ispitivanja realizovana u ovom radu su imala za cilj utvrđivanje uticaja različitih prevlaka na tribološke karakteristike reznih pločica od tvrdog metala i izbor prevlake za konkretnu operaciju. Za ispitivanje je izabrana odgovarajuća operacija iz proizvodnih uslova iz fabrike "Zastava kamioni" ZCZ Kragujevac. Na rezne pločice odgovarajuće geometrije u "Institutu za bakar" - Bor izvršeno je nanošenje većeg broja prevlaka: TiN, TiAlN, TiZrN i ZrN.

2. PROGRAM I USLOVI ISPITIVANJA

Ispitivanja su sprovedena u više faza sa ciljem utvrđivanja obradivosti materijala predmeta obrade alatima sa različitim prevlakama, kao i sa alatom bez prevlake. U radu je dat deo rezultata:

- merenja otpora rezanja,
- merenja temperature rezanja,
- merenja habanja alata i dobijenih krivih habanja i
- merenja kvaliteta obrađene površine.

Predmet obrade

Najveći deo ispitivanja je obavljen na predmetu obrade od Č.4730 u poboljšanom stanju ($\sigma_m = 90 - 100 \text{ daN/mm}^2$, 273 - 300 HB). Proizvodna operacija u "Zastava - kamio-

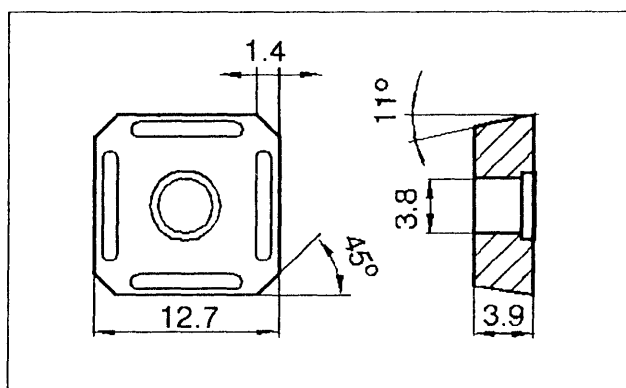
Mr Bogdan Nedić, dipl. ing., Mašinski fakultet Kragujevac
Prof. dr Ratomir Ječmenica, dipl. ing., Tehnički fakultet Čačak

Milan Četković, dipl. ing., Zastava - kamioni, Kragujevac

nima" je unutrašnja obrada struganjem poluobloge. Iz razloga nemogućnosti izvođenja iste operacije i odgovarajućih merenja, ispitivanja su vršena pri spoljašnjoj uzdužnoj obradi struganjem, stim da je radi obezbeđenja što približnijih uslova sa proizvodnom operacijom, izvršeno zaokretanje dinamometra, odnosno nosača alata. Pre ispitivanja skinuta je "kora" sa predmeta obrade.

Alat

Alat je strugarski nož CSDNR 2020 K12 sa izmenljivom pločicom SPMX 12T3AP-75 od proizvođača SECO iz Švedske. Na slici 1 prikazana je rezna pločica sa osnovnim dimenzijama. Ova pločica je namenjena za izvođenje operacija bušenja, odnosno proširivanja alatima sa izmenljivim pločicama.



Sl. 1. Rezna pločica SPMX
Cutting platelets SPMX
Режущая пластилинка SPMX

Mašina

Sva ispitivanja su izvršena na univerzalnom strugu "Prvo-majska" D-480, snage 10 kW, u Laboratoriji za obradu metala rezanjem na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu.

Režimi obrade

Korišćeni režimi obrade su odgovarali materijalu predmeta obrade, snazi mašine, a prvenstveno stabilnosti sistema alat - predmet obrade - mašina. U najvećem broju slučajeva ispitivan je uticaj promene brzine rezanja na merene parametre. Kod svih ispitivanja dubina rezanja je iznosila 0.5 mm . Pri obradi sa većim dubinama sistem je izuzetno nestabilan, velike su vibracije i obrada se nije mogla izvoditi. U zavisnosti od materijala predmeta obrade, vrste ispitivanja, korišćeni su koraci 0.16 i 0.2 mm/o i brzine rezanja u granicama od 88 do 176 m/min . Pri svim ispitivanjima nije korišćeno sredstvo za hlađenje i podmazivanje.

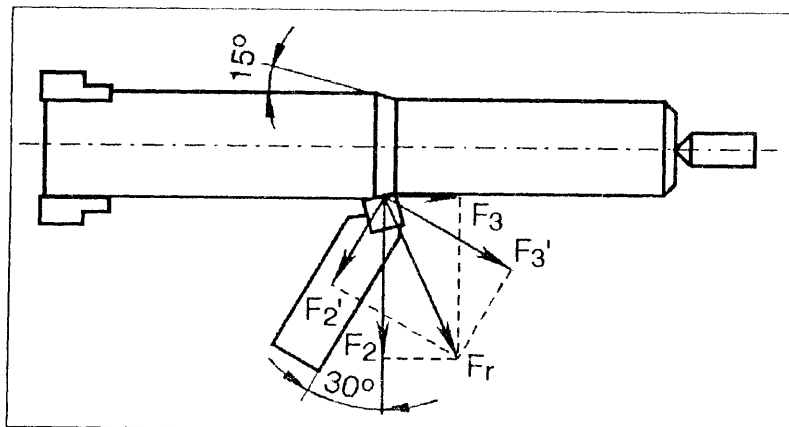
Merna instrumentacija

Za merenje otpora rezanja korišćen je trokomponentni dinamometar KISTLER - 9441, sa odgovarajućim pojačivačem KISTLER, a za zapis signala ploter HEWLET PACKARD - 7090A.

Kako je već napomenuto, radi obezbeđenja približno istih uslova obrade kao u proizvodnim uslovima, dinamometar je zaokrenut za 30° prema slici 2. Na taj način merene su odgovarajuće komponente F_i odnosno F_1' , F_2' i F_3' . Na osnovu analize geometrije mogu se izračunati prave vrednosti komponentnih otpora rezanja F_2 i F_3 . Prema slici 2 odnos analiziranih komponenti je:

$$F_2 = F_2' \cos 30^\circ + F_3' \sin 30^\circ$$

$$F_3 = F_2' \sin 30^\circ - F_3' \cos 30^\circ$$



Sl. 2. Komponente otpora rezanja
Cutting force components
Составляющие процесса резания

Tabela 1.

Vrsta prevlake	Jednačina regresije F_1 (daN)	Koeficijent korelacije	Stand. odstupanje σ
Bez prevlake	$F_1 = 2215,9 s^{0,616} v^{-0,214}$	0.99247	0.011599
TiN	$F_1 = 1701,05 s^{0,754} v^{-0,104}$	0.99620	0.008447
TiAlN	$F_1 = 2284,7 s^{0,7511} v^{-0,158}$	0.99141	0.01097
TiZrN	$F_1 = 1676,7 s^{0,7241} v^{-0,124}$	0.9686	0.014119
ZrN	$F_1 = 1263,45 s^{0,695} v^{-0,069}$	0.99474	0.008774

Temperatura rezanja je merena veštačkim termoparom. Specijalno formiran veštački termopar je postavljen između podložne i rezne pločice na mestu ispod zone rezanja. Termopar je formiran korišćenjem termoelementa tipa 2 AB AC 15 iz serije "Termocoax" firme "PHILIPS". Elementi termopara su žice od NiCr (+) i Ni (-). Na podložnoj pločici je brušenjem formiran žljeb u koji je postavljen termopar. Termopar je prethodno bio baždaren.

Merenje habanja alata je vršeno na univerzalnom mernom mikroskopu tipa UIM - 21 (SSSR).

Parametri topografije obradene površine su mereni na savremenom mernom sistemu TALYSURF - 6.

3. ANALIZA REZULTATA ISPITIVANJA

Statističkom obradom rezultata merenja uspostavljene su korelativne zavisnosti između otpora rezanja (F_1) i režima obrade (brzine rezanja i koraka) i dobijene su krive habanja.

3.1 Otpori rezanja

Dobijene korelativne veze, koeficijenti korelacije i standardna odstupanja prikazani su u tabeli 1. Dijagrami ovih zavisnosti su dati na slici 3.

Može se uočiti da sa porastom brzine rezanja glavni otpor rezanja F_1 opada u svim slučajevima. Takođe i otpori F_2 i F_3 opadaju izuzev u slučaju pločica sa prevlakom od ZrN (sa korakom 0.2 o/min) i TiZrN (sa korakom 0.16 o/min).

Analizom jednačina iz prethodne tabele može se doći do pokazatelja uticaja vrste prevlaka na veličinu otpora rezanja. Ovaj uticaj se može izraziti preko indeksa obradivosti I_0 , koji predstavlja odnos srednjih otpora rezanja pri rezanju referentnom i k-tom pločicom.

Srednji otpori rezanja dobijaju se integriranjem regresionih funkcija na intervalu $v_1 < v_2$.

Indeks obradivosti se definiše izrazom:

$$I_{o_i} = \frac{\int_{v_1}^{v_2} F_{1_{ref}} dv}{\int_{v_1}^{v_2} F_{1_i} dv}$$

gde su:

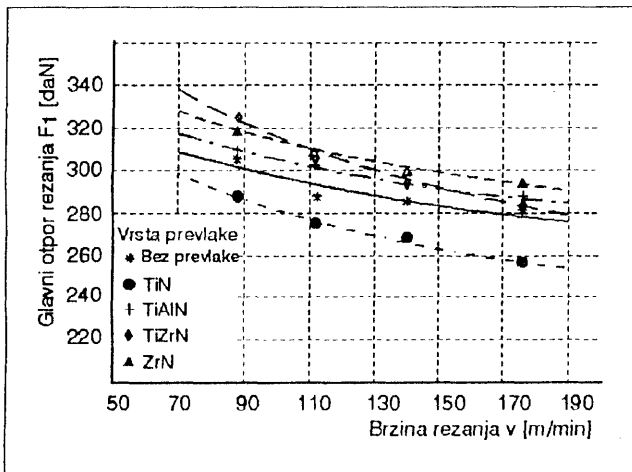
$F_{1_{ref}}$ - otpor rezanja pri obradi sa referentnom pločicom (bez prevlake),

F_{1_i} - otpor rezanja pri obradi sa prevučenom pločicom.

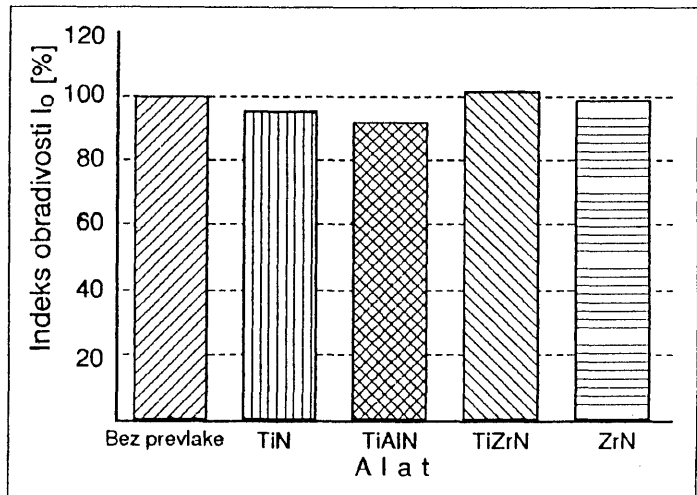
Smatrajući pločicu bez prevlake referentnom i poredeći je sa pločicama prevučenim prevlakama TiN, TiAlN, TiZrN i ZrN dolazi se do odgovarajućih vrednosti indeksa obradivosti prikazanih na slici 4. Na osnovu histograma može se zaključiti da je sa aspekta otpora rezanja najbolja pločica je sa prevlakom od TiZrN. To znači da je i utrošak potrebne energije za izvođenje ove operacije minimalan.

3.2 Rezultati i analiza rezultata merenja habanja alata

Za praćenje habanja alata korišćeni su linijski parametri habanja h_1 , h_2 , h_3 prema slici 5.



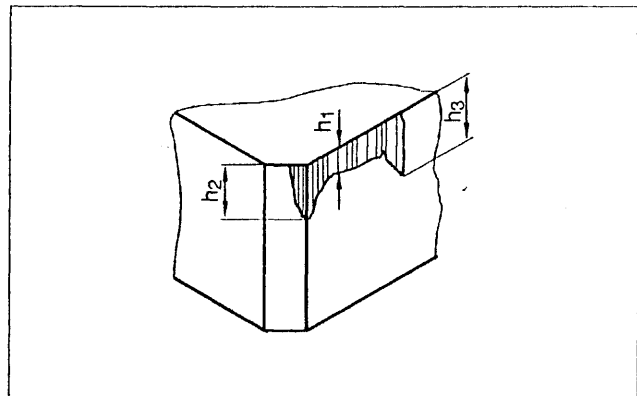
Sl. 3. Glavni otpor rezanja u zavisnosti od vrste prevlake
Main cutting force as a function of the type of coating
Главное сопротивление резанию в зависимости от вида покрытия



Sl. 4. Indeks obradivosti preko glavnog otpora rezanja
Machability index as a function of the cutting force
Индекс обрабатываемости через главное сопротивление резанию

Statističkom analizom rezultata merenja dobijene su krive habanja date u tabeli 2 i prikazane na slici 6.

Sa slike se vidi da se pločica bez prevlake znatno brže haba u odnosu na ostale pločice sa prevlakom. Najveću postojanost ima pločica sa TiN, zatim sledi TiZrN, ZrN i TiAlN. Za usvojeni stepen pohabanosti alata na isti način kao kod otpora rezanja moguće je definisati obradivost materijala u zavisnosti od postojanosti alata.



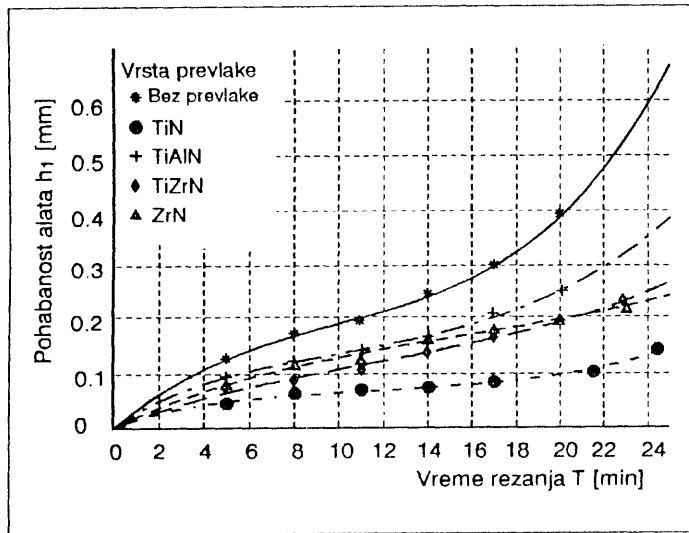
Sl. 5. Habanje rezne pločice
Cutting platelet wear
Изнашивание режущих пластинки

Tabela 2. Jednačine krivih habanja

Vrsta prevlake	Jednačine krivih habanja h_1 (mm)	Koeficijent korelacije R	Standardno odstup. σ
Bez prevl.	$h_1 = 0.000106 + 0.035513T - 0.002529T^2 + 0.000087T^3$	0.9972	0.005547
TiN	$h_1 = -0.001233 + 0.013203T - 0.000944T^2 + 0.000026T^3$	0.9914	0.003814
TiAlN	$h_1 = -0.002506 + 0.025331T - 0.001302T^2 + 0.000033T^3$	0.9003	0.026818
TiZrN	$h_1 = 0.002656 + 0.013895T - 0.000535T^2 + 0.000016T^3$	0.9910	0.007085
ZrN	$h_1 = 0.001269 + 0.018498T - 0.000733T^2 + 0.000015T^3$	0.9916	0.006557

Tabela 3.

Vrsta prevlake	Brzina rezanja v (m/min)					
	112		140		176	
	Parametar topografije (μm)					
	Ra	Rmax	Ra	Rmax	Ra	Rmax
Bez prevlake						
TiN	6,3	24	6,3	24	6,4	25
TiAlN	6,1	24	6,1	25	6,1	25
TiZrN	6,2	25	6,2	25	6,1	24
ZrN	6,1	24	6,2	24	6,5	27



Sl. 6. Habanje reznih pločica sa različitim prevlakama
Cutting platelets wear with different coatings
Износивание режущих пластинок с различными покрытиями

3.3 Kvalitet obradene površine

Rezultati merenja parametara topografije profila obradene površine R_a i R_{max} u zavisnosti od režima obrade (brzine rezanja) i prevlake na pločici alata dati su u tabeli 3.

Iz date tabele može se zaključiti da vrsta prevlake, kao ni brzina rezanja, nemaju bitan uticaj na kvalitet obradene površine.

3.4 Rezultati i analiza rezultata merenja temperature rezanja

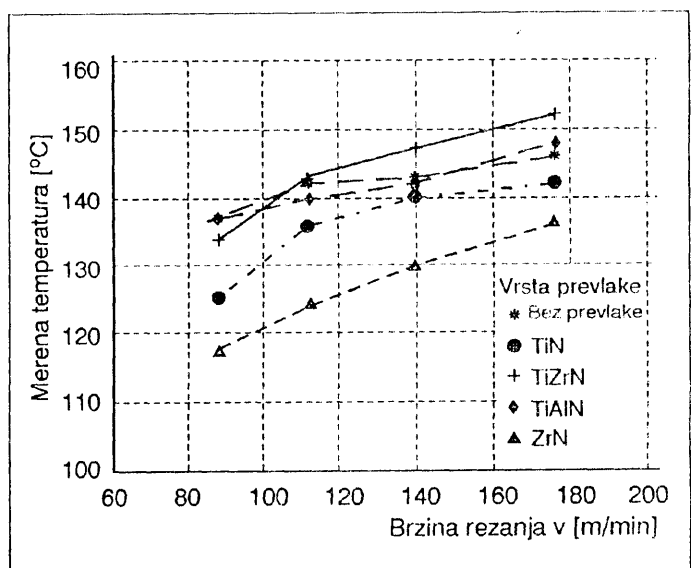
Deo dobijenih rezultata merenja temperature rezanja u zavisnosti od brzine rezanja prikazani su na slici 7. Merenje temperature je vršeno u dužem vremenskom periodu obrade. Za analizu merenih vrednosti usvojena je izmerena temperatura dostignuta posle 30 sekundi obrade, bez obzira sa kojom brzinom je obrada vršena. Pokazalo je se da je ovakav parametar daleko

osetljiviji od merene temperature dostignute posle konstantne dužine obrade.

Sa slike se može uočiti da sa porastom brzine rezanja raste i temperatura rezanja i da je najveća temperatura pri obradi pločicama sa prevlakama od TiZrN, TiAlN, kao i sa pločicom bez prevlake. Međutim, povećanjem vremena obrade na 90 sekundi, pokazalo je da se merene temperature izjednačavaju. U toku tog vremena dostiže se ustaljena temperatura. Ovo ukazuje na to da prevlake različito provode toplotu, i da jedan od mogućih razloga za različitu postojanosti pločica treba tražiti i u ovoj činjenici.

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu sprovedenih preliminarnih ispitivanja i obrade dobijenih rezultata dobijenih u konkretnim uslovima u kojima je eksperiment obavljen, može se izvesti više zaključaka:



Sl. 7. Merene temperature rezanja
Measured cutting temperatures
Температуры резания

- ▶ Vrsta prevlake nema uticaj na kvalitet obradene površine,
- ▶ Razlike glavnih otpora rezanja, kao i ostalih komponenti F2 i F3 primenom pločica sa i bez prevlake se kreću u granicama do 15%,
- ▶ Habanje alata je u vidu karakterističnog pojasa habanja konstantne širine po leđnoj površini, stim da se na krajevima kontakta sa predmetom obrade javljaju žljebovi,
- ▶ Razlike u postojanosti alata su izrazito velike. U zavisnosti od usvojenog kriterijuma habanja te razlike se kreću i preko tri puta.
- ▶ Merenjem temperature korišćenom metodom, ustanovljeno je da se temperature razlikuju 10 do 15%.
- ▶ Analizom merenih veličina otpora rezanja, kvaliteta obradene površine, temperature rezanja i postojanosti alata, u konkretnim uslovima obrade ne može se izvoditi jednostavan zaključak o kvalitetu pločice sa samo jednog aspekta. Uočava se da razlike postoje, posebno je to izraženo u različitim postojanostima alata.
- ▶ Relativno mali obim ispitivanja prikazan u ovom radu ne omogućava uspostavljanje jačih veza između merenih parametara F_i , R_a , θ_i i h . Tek sveobuhvatnija ispitivanja u širem dijapazonu uslova obrade verovatno bi mogla poslužiti za uspostavljanje pouzdanijih korelativnih zavisnosti između analiziranih parametara.

- ▶ Na osnovu realizovanih ispitivanja za proizvodnu operaciju obrade poluobloge može se preporučiti pločica sa prevlakom od TiN, iz razloga najveće postojanosti, a zatim pločica sa prevlakom od TiZrN. Drugi kriterijumi za izbor pločice u konkretnom slučaju nisu merodavni jer je uticaj prevlake na njih relativno mali.

LITERATURA

- [1.] IVKOVIĆ B., **Teorija rezanja**, Biblioteka: Nauka i tehnologija, Kragujevac, 1991.
- [2.] NEDIĆ B., **Upravljanje procesom obrade otvora bušenjem**, magistarski rad, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1992.
- [3.] TADIĆ B., **Utvrđivanje korelativnih veza parametara rezanja kao podloge za razvoj ekspertnog sistema u obradi struganjem**, magistarski rad, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1992.
- [4.] NEDIĆ B., TADIĆ B., **Razmatranje izbora baznih funkcija za definisanje habanja alata**, YUTRIB '91, Kragujevac, 1991.
- [5.] IVKOVIĆ B., **Razmatranje mogućnosti određivanja obradivosti materijala preko postojanosti alata merenjem otpora rezanja**, Tribologija u industriji 4/90, Kragujevac, 1990.

* Rad je izložen na Trećoj jugoslovenskoj konferenciji o tribologiji YUTRIB'93, Kragujevac, 24.-25. juna 1993. god.

Tribological Characteristics of Cutting Tools with Coatings of TiN, TiZrN, TiAlN and ZrN

In the paper is presented a part of results obtained in laboratory conditions with cutting tools made of hard metal with/without coatings of TiN, TiAlN, TiZrN and ZrN. Investigations were conducted as a function of the machining conditions and measured were the cutting forces, cutting temperatures, quality of the machined surface and tool wear. In this investigations work pieces and machining conditions were identical to machining conditions in factory "Zastava - trucks". Obtained results served for the choice of the adequate coating on the cutting plate for performing the analyzed operation.

Трибологические характеристики режущего инструмента с покрытием из TiN, TiZrN, TiAlN и ZrN

Авторами настоящей работы изложена часть результатов полученных при исследовании в лабораторных условиях инструмента из твёрдого металла с покрытиями из указанных выше материалов и без них. Испытания проводились согласно условиям обработки. При этом проверяли сопротивление резанию, качество обработанной поверхности и изнашивание инструмента. Испытания проводились в условиях, соответствующих конкретным производственным условиям на Заводах "ЗАСТАВА - ГРУЗОВЫЕ АВТОМОБИЛИ". Полученные результаты должны облегчать выбор соответствующего покрытия на режущей пластинке при конкретной производственной операции.