

<https://doi.org/10.24867/JPE-1992-09-123>

ORIGINALNI NAUČNI RAD

Sovilj B., Nikić Z., Pejić V., Jugović V., Rodić M.M.*

**DEFINISANJE KOEFICIJENATA I EKSPONENATA U IZRAZIMA ZA
BRZINU REZANJA I POSTOJANOST PRI OBRADI ČELIKA SA
NEOSLOJENIM I OSLOJENIM VRETENASTIM GLODALIMA**

**COEFFICIENTS AND EXPONENTS IN THE RELATIONSHIPS FOR CUTTING
TOOL SPEED AND TOOL LIFE DURING STEEL MACHINING WITH COATED
AND UNCOATED END-MILLING CUTTERS DEFINITION**

S u m m a r y

The production of quality cutting tools for machining processing is logging in our country in relation to necessity quality and quantities, and for that reason in heavy conditions on the world market, there is present an unallowed export of these ones. It is known that the development and advancement of technological process in the metal industry can be realized by production and application of modern tools.

For a long time the experts in machining processing, methods engineers and metallurgists in the industry and in world scientific institutions, have been trying to reduce wearing of tools of high-speed cutting steel, in hopes to enlarge their economy and exceed the differences among different tools of high-speed cutting steel and tools of hard metal.

Coating of tools of high-speed cutting steel by hard TiN, is possible since not many times ago by use above mentioned, PVD process. This technics presents the most important progress on the sector of tools from introduction of hard metal and it became only possible when it was possible to lower the temperature of gaseous mixture for coating of layers using the phenomenon of plasma.

In the paper based on one factorial experiment coefficients and exponents in the relationships for cutting tool speed and tool life during grooves machining in a steel material with coated and uncoated end milling cutters are defined.

During grooves machining with coated end-milling cutters, a significant longer tool life and betterment of surface quality is reached.

* Dr Bogdan Sovilj, docent FTN, Institut za proizvodno mašinstvo
21000 Novi Sad, V. Perića Valtera 2
Dr Zoran Nikić, red. prof. Tehnički fakultet Čačak
Vlastimir Pejić, apsolvent FTN Novi Sad
Veselin Jugović, dipl.ing. Jugolat - Centar za tvrde prevlake Novi Sad, Filipa
Višnjića 5
Milorad M. Rodić, dipl.ing. DD Livnica "Kikinda", Kikinda

RESUME

U radu su na osnovu jednofaktornog eksperimenta definisani koeficijenti i eksponenti u izrazima za brzinu rezanja i postojanost pri obradi žljebova u čeličnom materijalu sa neoslojenim i oslojenim vretenastim glodalima.

Pri obradi žljebova sa vretenastim oslojenim glodalima postignuta je značajno veća postojanost i poboljšanje kvaliteta površine obrade.

UVODNA RAZMATRANJA

Proizvodnja kvalitetnih reznih alata za obradu rezanjem u našoj zemlji značajno zaostaje od potrebe i u kvalitetu i u količinama, pa se u otežanim uslovima na svetskom tržištu vrši i nedozvoljeno veliki uvoz istih. Poznato je da se razvoj i unapredjenje tehnoloških procesa u industriji metala može ostvariti proizvodnjom i primenom savremenih alata.

Već duže vremena pokušavaju stručnjaci za obradu rezanjem, tehnolozi i metalurzi u industriji i u naučnim ustanovama sveta da smanje habanje alata od brzoreznog čelika u želji povećanja njihove ekonomičnosti i prevazilaženja razlika između reznih alata od brzoreznih čelika i alata od tvrdog metala.

U poslednjih 20 godina postignut je veliki napredak u razvoju novih materijala za alate, novih konstrukcija alata, termičkoj obradi i optimizaciji procesa obrade. Prelomni trenutak u razvoju alata je nastupio uvođenjem alata za obradu rezanjem od tvrdih metalnih karbida. Zahvaljujući ovim alatima povećane su brzine rezanja nekoliko puta. Dalja istraživanja usmerila su se na problematiku kako poboljšati površinu materijala alata za obradu rezanjem. Do tada su bili poznati različiti postupci zaštite i poboljšanja površine kao što su tvrdo hromiranje, žarenje i poboljšanje površine kao što su tvrdo hromiranje, žarenje u reaktivnoj atmosferi, ali sa tim tehnologijama nije bilo moguće značajno povećanje postojanosti i kvaliteta alata za obradu rezanjem. Svi nabrojani postupci bazirali su se na difuzionim, hemijskim i sl., pri čemu je to bilo makroskopsko nanošenje. Potrebno je bilo naći drugi put. Taj drugi put je pokazao razvoj vakuumskih postupaka, tj. mikroskopsko nanošenje sloja. U literaturi ti se postupci nazivaju zajedničkim imenom VAKUUMSKE DEPOZICIJE - Physical Vapor Deposition (PVD), među koje ulaze sve vrste vakuumskih tehnologija, a iste se mogu u principu koristiti za nanošenje tvrdih slojeva.

Oslojavanje alata od brzoreznog čelika, tvrdim titannitridom (TiN), moguće je tek kratko vreme primenom, gore navedenog, PVD-postupka. Ova tehnika predstavlja najznačajniji napredak na sektoru alata od uvođenja tvrdog metala i postala je moguća tek kada je primenom fenomena plazme bilo moguće sniziti temperaturu mešavine gasa za nanošenje slojeva.

Već godinama poznata metoda oslojavanja tvrdog metala CVD postupkom (Chemical Vapor Deposition) nije bila pogodna za alate od brzoreznog čelika zbog visoke temperature od cca 1000°C koja je dovodila do pada tvrdoće alata i velike deformacije

<u>PROIZVODJAČ ALATA</u>	<u>OSLOJAVANJE ALATA</u>	<u>KORISNIK ALATA</u>
<p>Specijalizovan u:</p> <ul style="list-style-type: none"> - konstrukciji alata - proizvodnji alata - materijalu alata <p>Nema znanja iz:</p> <ul style="list-style-type: none"> - fizike plazme - visokovakuumske tehnike - tankih slojeva - fizike površina <p>Ali:</p> <p>Zamoljen da obezbedi oslojene alate</p>	<p>Služba oslojavanja</p> <p>Postavljanje PVD centra za oslojavanje</p>	<p>Automobilska i traktorska industrija shvata koristi od oslojenih alata</p> <p>DISTRIBUTER</p> <ul style="list-style-type: none"> - veće brzine i pomaci - veća postojanost - bolji kvalitet - manje vreme obrade <p>Prema tome:</p> <p>Zamolite da se obezbede oslojeni alati</p>

Slika 1. Veza svih učesnika obuhvaćenih u poslove oslojavanja alata i njihove veštine

III.1. Connection of all participants included in labors of tools coating and their skills. složenih alata za obradu rezanjem. Zbog toga se koristi nanošenje fizičkim uparivanjem (PVD) pri niskoj temperaturi, što ne zahteva naknadno tretiranje toplotom i na taj način sprečava deformacije alata.

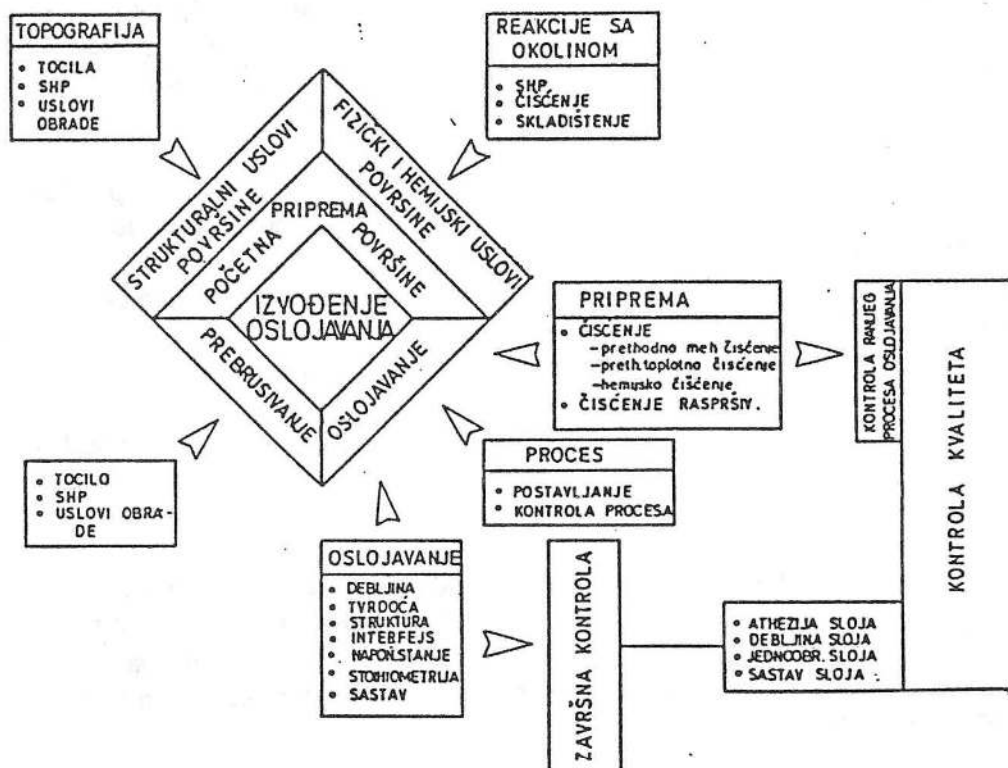
Danas se delovi i rezni alati sve češće izradjuju iz kombinovanih materijala kod kojih jezgro obično preuzima ulogu nosioca čvrstoće i krutosti dok površinski slojevi preuzimaju antikorozijsku zaštitu, zaštitu od habanja, te optičke, dekorativne, termičke, električne i slične zadatke. Ovakvi se materijali mogu proizvesti različitim tehnologijama oslojavanja, pri čemu je značaj svih tehnologija karakterisan time, da se nanošenjem što tanjih slojeva s jedne strane može podneti traženo opterećenje, a sa druge strane se više štedi na osnovnom materijalu.

Na osnovu analize veze svih učesnika obuhvaćenih u poslove oslojavanja alata (sl. 1) sagledava se potreba za informisanjem proizvođača alata o veoma specifičnim dodatnim zahtevima oslojavanja njegovih alata sa svojstvima otpornim na habanje (sl. 2).

Stalno rastući zahtevi koji se postavljaju pred rezne alate traže stalno razvijanje i nalaženje novih metoda za izradu kombinovanih materijala. Posebno je razvijeno dosta postupaka presvlačenja sa tvrdim materijalima u cilju zaštite od habanja koji su zbog nedovoljnog znanja i iskustva sa zadržkom nalazili primenu u industriji.

Podaci o alatima oslojenim sa TiN su nedostupni, zbog toga što je kratko vreme primene istih. Svaki pojedinačni slučaj mora se pažljivo razmatrati.

U cilju razjašnjenja mogućnosti primene oslojenih vretenastih glodala u industriji treba izvršiti eksperimentalna ispitivanja oslojenih i neoslojenih alata u laboratorijskim i proizvodnim uslovima.



Slika 2. Uticajni parametri na oslojavanje alata

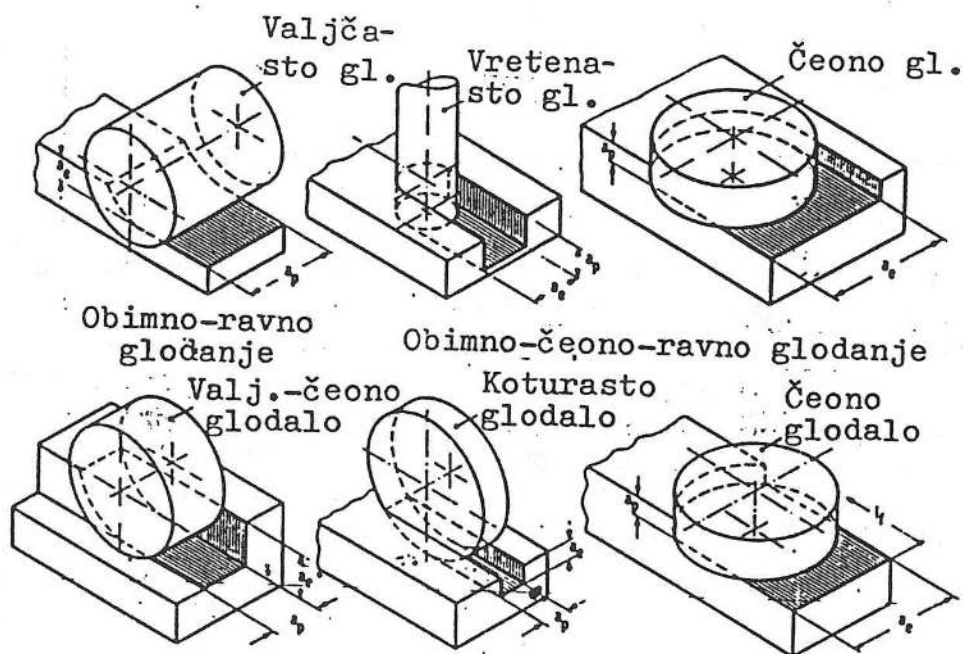
III.2. Influential parameters on coating of tools

2. ANALIZA PROCESA GLODANJA

Glodanje je obrada skidanjem strugotine sa kružnim glavnim kretanjem alata radi postizanja željenog oblika površine obradka. Obrada se može odvijati normalno na pravac pomaka ili pod uglom u odnosu na pravac pomaka.

Alati za glodanje su višesečni alati koji obiluju najrazličitijim oblicima i tipovima. Ovi alati dobivaju time veliko preimućstvo na ostalim alatima i omogućuju obradu različitih površina i profila. Obrada glodanjem je često produktivnija i ekonomičnija od drugih obrada kojima se može izvršiti ista operacija kao naprimer: rendisanje ili struganje. Glodanjem se obraduju zupčanici, navoji i najnepovoljniji prostorni oblici. Najčešće je u primeni glodanje za postizanje ravnih površina. Na slici 3. su prikazane najznačajnije vrste glodanja prema kinematici, vrsti zahvata i tipova alata.

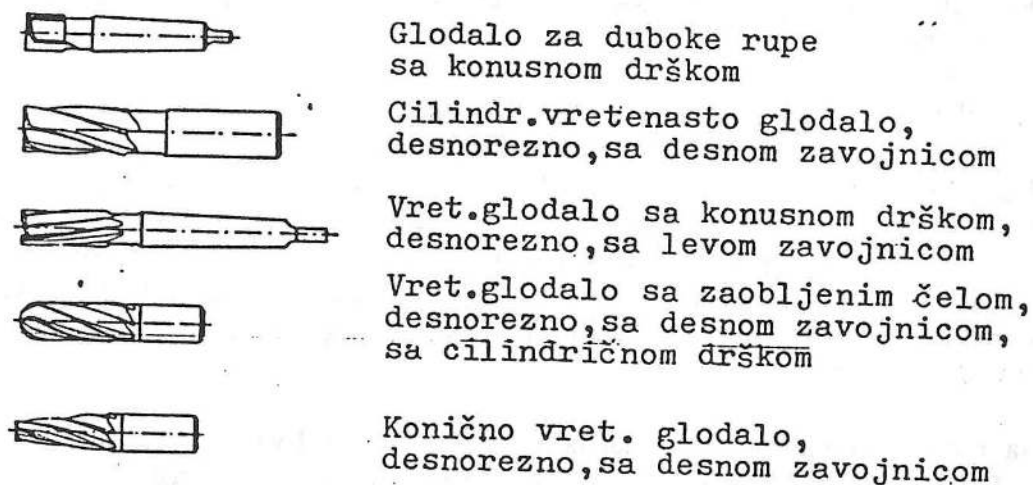
U praksi se zahvati glodanja nazivaju prema vrsti i obliku upotrebljenog alata kao naprimer valjčasto glodanje, glodanje žljebova, profilno glodanje, glodanje ozubljenja, itd.



Sl. 3. Najznačajnije vrste glodanja

Ill.3. The most important types of milling

Vretenasta glodala su pogodna za izradu profilnih površina, kao što su: rezni žljebovi, procepi, džepovi, stepenice svih oblika i dimenzija. Ovi alati po gradnji odgovaraju valjčastim glodalima a u glavno vreteno se stežu preko cilindrične ili konične drške. Razlikujemo levo rezno i desno rezno glodalo, a oba tipa mogu biti sa pravim zubima, levom ili desnom zavojnicom. Na slici 4. dati su neki tipovi vretenastih glodala.



Slika 4. Tipovi vretenastih glodala

Ill.4. Types of end-milling cutters

Rezni deo glodala prema obradnom zadatku može biti cilindričan, koničan ili oblikovan prema posebnom zahtevu. Broj sečiva zavisi od materijala koji se obrađuje, prečnika glodala i od konkretne izvedbe. Pri tome se moraju zadovoljiti zahtevi koji su kontradiktorni:

- malo opterećenje pojedinačnih sečiva
- dovoljno velik stepen preklapanja u radu
- dovoljan prostor za smeštaj skinute strugotine.

Velika dužina glodala može dovesti do nestabilnosti u radu, savijanja alata, a sa tim i do greške u geometriji obradka. Kroz optimizaciju rezne geometrije i oblika alata ove greške se mogu znatno smanjiti.

Materijal sečiva vretenastih glodala je prvenstveno brzorezni čelik ili tvrdi metal. Ukoliko stabilnost procesa, tankost oblika i mera i kvalitet obrade dopuštaju, a stoji nam na raspolaganju i mašina dovoljne snage, možemo koristiti i glodala sa izmenljivim reznim pločicama. Korišćenjem vretenastih glodala sa mehanički pričvršćenim pločicama možemo znatno povećati produktivnost i uz to smanjiti troškove alata. Ipak i pored svega nabrojanog brzorezni čelik ima prednost u primeni zbog svoje žilavosti pri izvodjenju određenih operacija glodanja odnosno zahvata glodanja. Pri obradi najrazličitijih žljebova, a posebno manjih dimenzija najviše se koriste vretenasta glodala izradjena od brzoreznog čelika.

3. EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA I ANALIZA DOBIJENIH REZULTATA

U okviru istraživanja mogućnosti uvođenja u proizvodni proces vretenastih glodala sa plazmenim tvrdim prevlakama izvršena su istraživanja u proizvodnim pogonima DD Livnica "Kikinda" u Kikindi i deo tih rezultata iznosi se u ovom radu.

Na osnovu plana eksperimenta izvršena su ispitivanja pri čemu su korišćena vretenasta glodala, iz iste šarže neoslojena i oslojena sa TiN. U pogonima gde su izvršena ispitivanja vrši se obrada najrazličitijih žljebova. Oni se razlikuju kako po obliku, tako i po dimenzijama. Kao reprezent usvojili smo žljeb širine 25 mm a dubine 7 mm. Materijal obradka je Č.6440.

Kao alat korišćena su vretenasta glodala za žljebove sa valjčastom drškom G.115 25 mm izradjenih od Č.7680 i tvrdoće radnog dela 62-64 HRC. Jedan deo alata je oslojen sa TiN debljine sloja 3,2 μ m sila athezije 47N, a mikrotvrdoća 2180 HV_{0,025}. Ovi podaci dobijeni su preko etalona od istog materijala. Sva glodala su obeležena slučajnim izborom. Pre početka eksperimentalnih istraživanja izmerene su radijalna bacanja svih vretenastih glodala i zabeležena u odgovarajuće tablice. Takodje su vršena merenja radijalnih bacanja u steznoj glavi pre i posle svakog prekida u radu, tj. za vreme merenja pojasa habanja.

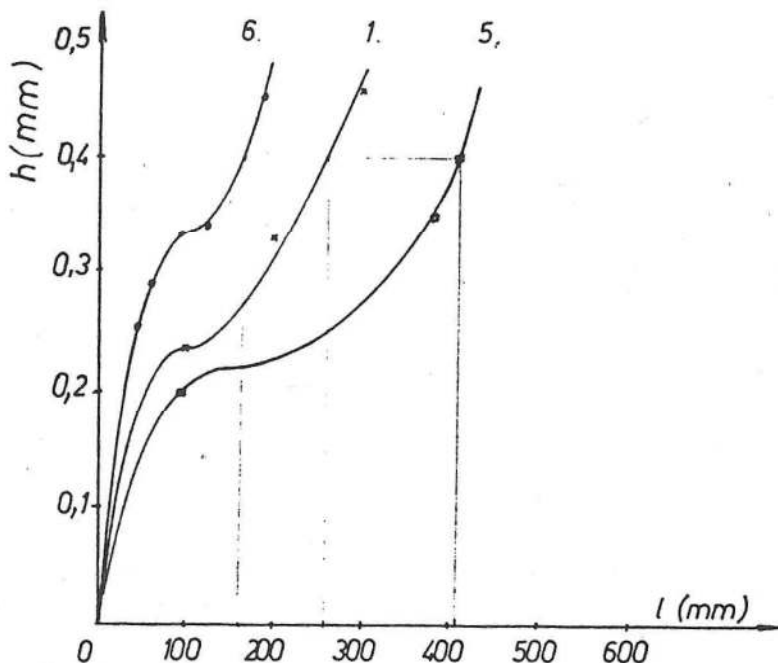
Na osnovu literaturnih informacija i sopstvenih istraživanja usvojeni su režimi rezanja. Brzine rezanja v iznosile su: 18,63; 27,88 i 39,27 m/min, odnosno brojevi obrta n iznosili su: 250; 355 i 500 o/min. Za sve eksperimentalne tačke bio je isti pomak i iznosio je $s = 63$ mm/min.

Materijal obradka: Č.6440 sa $\sigma_m = 760-830 \text{ N/mm}^2$, HB = 241, odnosno HV = 270.

Mašina alatka na kojoj su izvodjeni eksperimenti: OERLICON M08U - ITALIANA - MILANO (1976).

Sredstvo za hladjenje i podmazivanje: "SIN-30" - FAM Kruševac.

U cilju odredjivanja postojanosti T, odnosno L pri pojedinim brzinama rezanja v praćena je promena širine pojasa habanja h na lednoj površini alata u funkciji dužine obradjenog žljeba, što je poslužilo za crtanje krivih habanja. Za usvojeni kriterijum habanja $h = 0,4 \text{ mm}$ sa dijagrama sl. 5, odnosno sa dijagrama 6, očitane su za pojedine brzine odgovarajuće vrednosti postojanosti L (mm) i svrstane u tabelu 1., odnosno tabelu 2, na osnovu kojih će se izvršiti obrada podataka (sl. 7 i sl. 8).



Slika 5. Razvoj procesa habanja neoslojenih vretenastih glodala (5,1,6.)

Ill.5. Development of wearing process of uncoated end-milling cutters

Taylorova jednačina može za konkretan slučaj da se napiše u obliku:

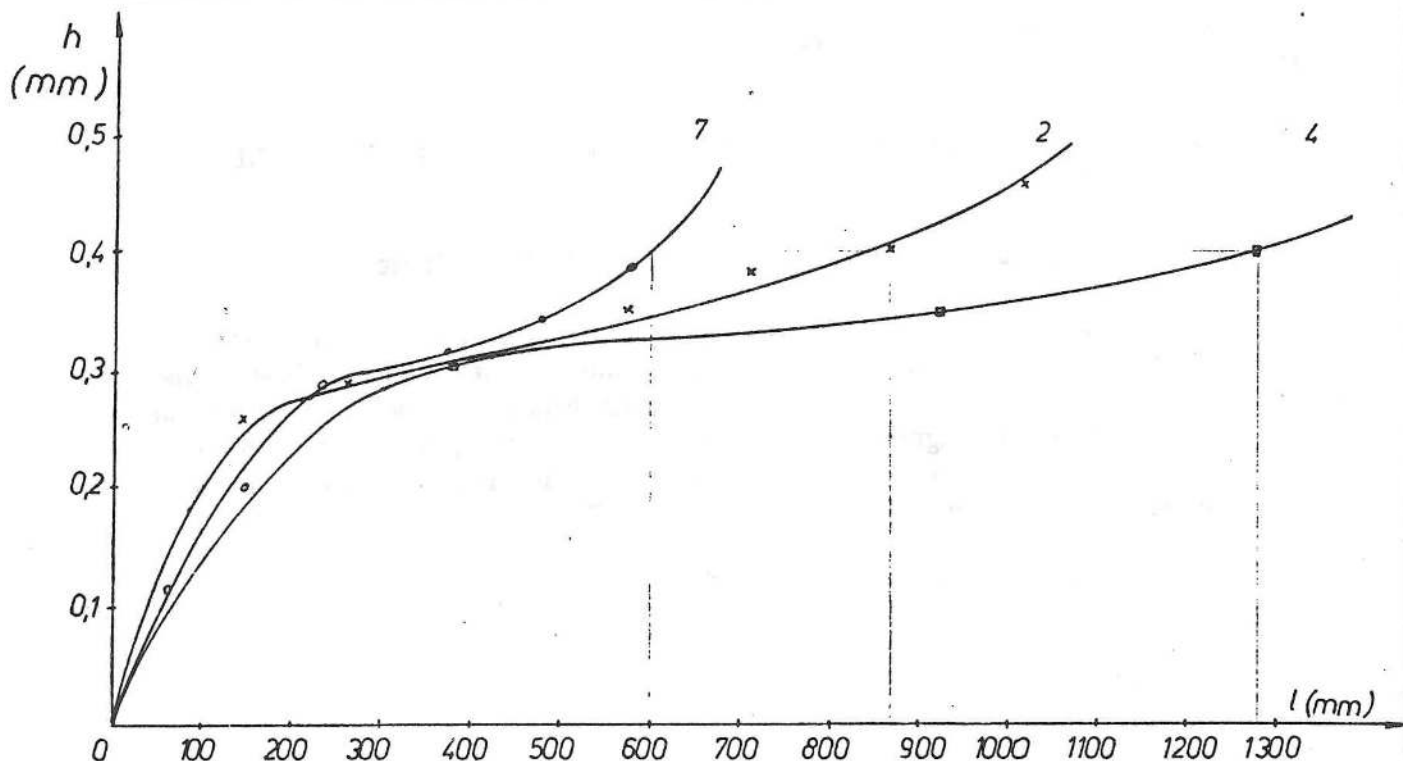
$$v \cdot L^m = C_L \quad (1)$$

ili

$$v^z \cdot L = C_v \quad (2)$$

gde je:

$$z = 1/m \text{ i } C_v = C_L^{1/m}$$



Slika 6. Razvoj procesa habanja oslojenih vretenastih glodala (4,2,7)

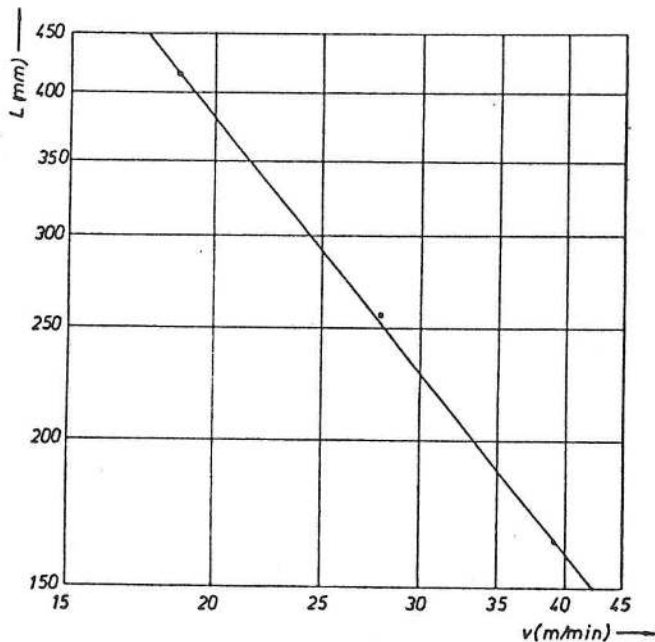
III.6. Development of wearing process of coated end-milling cutters

Tabela 1.

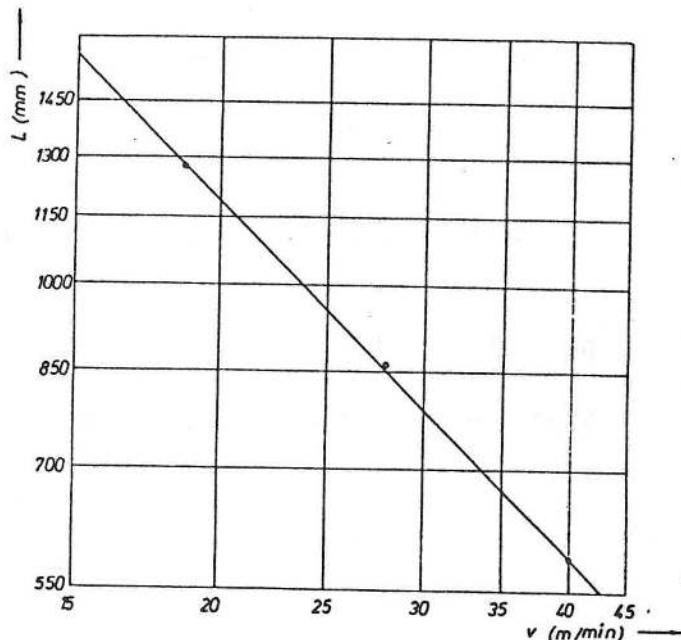
Red. broj	Neoslojen alat	v (m/min)	L_i (mm)	$\log v_i = x_i$	$\log L_i = y_i$	$x_i y_i$	x_i^2
1	6	39,27	163,3	1,594061	2,2122986	3,527635	2,541031
2	1	27,88	256,7	1,445293	2,409426	3,482326	2,088872
3	5	18,63	413,3	1,270213	2,616265	3,323214	1,613441
-	-	-	-	4,309567	7,238677	10,333175	6,243344

Tabela 2.

Red. broj	Oslojen alat	v (m/min)	L_i (mm)	$\log v_i = x_i$	$\log L_i = y_i$	$x_i y_i$	x_i^2
1	7	39,27	600,0	1,594061	2,778151	4,428543	2,541031
2	2	27,88	870,00	1,445293	2,939519	4,248466	2,088872
3	4	18,63	1276,7	1,270213	3,106089	3,945395	1,613441
-	-	-	-	4,30967	8,823759	12,622403	6,243344



Slika 7. Zavisnost postojanosti i brzine rezanja za neos-
III.7. Dependence between tool life and
speed of cutting for uncoated tools



Slika 8. Zavisnost postojanosti i brzine rezanja za oslojene alate
III.8. Dependence between tool life and
speed of cutting for coated tools

Primenom metode najmanjih kvadrata i rešavanjem odgovarajućih jednačina dobija

se:

$$z = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n x_i y_i}{\frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 - \sum_{i=1}^n x_i^2} = 1/m \quad (3)$$

i

$$b = 1/n \left(\sum_{i=1}^n y_i + 1/m \cdot \sum_{i=1}^n x_i \right) \quad (4)$$

gde je: $b = \log C_v$

Kompletan proračun veličine eksponenti z sproveden je tabelarno za neoslojene alate u tabeli 1, a za oslojene alate u tabeli 2. Zamenom odgovarajućih vrednosti iz tabela 1 i 2 u jednačine 3 i 4 dobiće se:

a) za neoslojena vretenasta glodala:

$$z = \frac{1/3 \cdot 4,309587 \cdot 7,238677}{1/3 (4,304564)^2 - 6,243344} = -1,2434 \quad m = -0,804$$

$$b = 1/3 (7,238677 + (-1,2334) \cdot 4,309567) = 0,641,$$

pa je: $C_v = 4,375$

b) za oslojena vretenasta glodala s TiN

$$z = \frac{1/3 \cdot 4,309567 \cdot 8,823759 - 12,622403}{1/3 (4,309567)^2 - 6,243344} = -1,0104 \quad m = -0,989$$

$$b = 1/3 (8,823759 + (-1,0104) \cdot 4,309567) = 1,489$$

pa je: $C_v = 30,832$

Na osnovu izračunatih koeficijenata i eksponenata jednačina 2 bi imala oblik:

- za neoslojena vretenasta glodala

$$v^{-1,2434} \cdot L_n = 4,375 \quad (5)$$

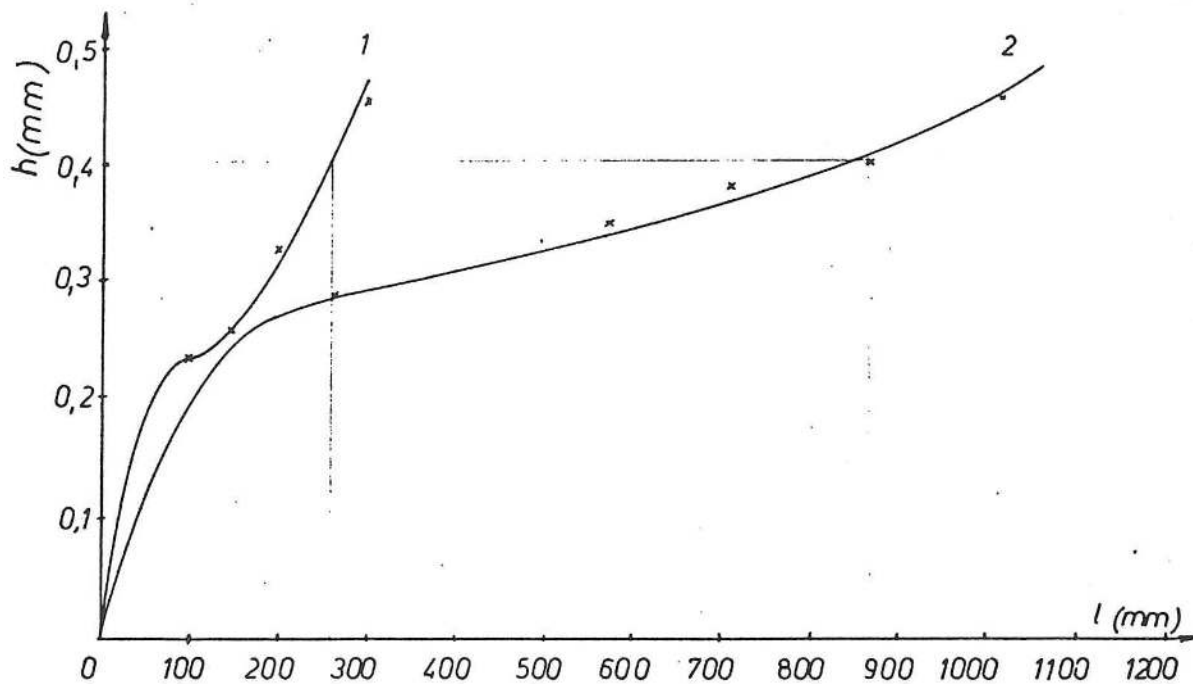
- za oslojena vretenasta glodala sa TiN

$$v^{-1,0104} \cdot L_o = 30,832 \quad (6)$$

Ako sa slike 9 očitamo vrednosti dužine obradjenog žljeba, pri kriterijumu habanja $h = 0,4$ mm, sa neoslojenim vretenastim glodalom je $L_n = 256,7$ mm, a sa oslojenim vretenastim glodalom je $L_o = 870$ mm i uporedjivanjem ovih vrednosti zaključujemo da je pri radu sa oslojenim vretenastim glodalom obradjena 3,39 veća dužina žljeba.

Merenjem parametara hrapavosti obradjenih žljebova na profilometru - profilografu PERTH-O-METRU dobijeni su podaci koji ukazuju da je kvalitet obradjene površine bolji pri obradi sa oslojenim vretenastim glodalima nego sa neoslojenim vretenastim glodalima.

Na osnovu gore izloženog može se sa sigurnošću zaključiti da je sasvim opravdano uvođenje u proizvodni proces vretenastih glodala oslojenih sa plazmenim tvrdim prevlakama.



Slika 9. Razvoj procesa habanja za dve eksperimentalne tačke (1,2)

Ill.9. Development of wearing process for two experimental points

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu analize i primenom jednofaktornog plana eksperimenta definisani su koeficijenti i eksponenti u izrazima za brzinu rezanja i postojanost pri obradi žljebova u čeličnom materijalu sa neoslojenim i oslojenim vretenastim glodalima.

Značajno veća postojanost postignuta je pri obradi žljebova sa oslojenim alatima, a takodje dobijen je bolji kvalitet obradjene površine.

5. LITERATURA

- (1) Ivković, B.: Tribologija rezanja, Gradjevinska knjiga, Beograd, 1979.
- (2) Konig, W. Fertigungsverfahren, Band 1, Drehen, Frasen, Bohren, VDI-Verlag, Dusseldorf, 1984.
- (3) Mišić, R. Projektni rad iz Alata za obradu rezanjem, Kikinda, 1992. god.
Blaž, A. i dr.
- (4) Nikić, Z. Identifikacija triboloških procesa pri urezivanju navoja, Disertacija, Kragujevac, 1979.
- (5) Sekulić St.S. Identifikacija primarnih parametara obrade na strugu na osnovu plastične deformacije i termonapona rezanja, Disertacija, Novi Sad, 1977.
- (6) Sovilj, B. Identifikacija triboloških procesa pri odvalnom glodanju, Disertacija, Novi Sad, 1988. god.