

**INSTITUT MAŠINSKOG FAKULTETA  
NOVI SAD, Vladimira Perića-Valtera 2, tel. 55-622**

---

**ZBORNİK SAOPŠTENJA  
VII SAVETOVANJA PROIZVODNOG MAŠINSTVA  
Novi Sad, 5—6. V 1971.  
I knjiga — OBRADA REZANJEM**

**Novi Sad, 1971.**

#### INICIJATOR SAVETOVANJA:

Zajednica jugoslovenskih naučnoistraživačkih institucija  
proizvodnog mašinstva

#### ORGANIZATORI SAVETOVANJA:

Institut Mašinskog fakulteta, Novi Sad  
Udruženje proizvođača alata "ALAT", Beograd  
Fabrika alata "JUGOALAT", Novi Sad  
Poslovno udruženje proizvođača alatnih mašina "PAM", Ada  
Industrija motornih delova i odlivaka "27 MART", Novi Sad

#### POKROVITELJ SAVETOVANJA:

Pokrajinska privredna komora, Novi Sad

#### POČASNI ODBOR:

Prof. Ž. Čulum, dekan Mašinskog fakulteta, Novi Sad  
Prof. E. Čupić, predsednik Saveta Mašinskog fakulteta, Novi Sad  
Prof. D. Dimković, rektor Novosadskog univerziteta  
S. Dodić, sekretar za industriju Pokrajinske privredne komore, N. Sad  
Dj. Gvozdenović, predsednik Pokrajinske privredne komore, Novi Sad  
D. Ilijević, predsednik Skupštine opštine, Novi Sad  
Prof. J. Kimer, Mašinski fakultet, Novi Sad  
A. Ladišić, direktor "FAM", Novi Sad  
A. Mora, direktor "Potisje", Ada  
M. Pajić, direktor LTŽ, Kikinda  
Prof. J. Peklenik, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana  
A. Petronić, direktor "Jugoalat", Novi Sad  
P. Rajkov, direktor "Majevica", Bačka Palanka  
Prof. V. Šolaja, Mašinski fakultet Beograd, direktor IAMA, Beograd

#### ORGANIZACIONI ODBOR:

Z. Bešanić, saradnik Saveta za preradu metala i elektroindustriju  
Pokrajinske privredne komore, Novi Sad  
N. Čabdarić, sekretar Saveta za preradu metala i elektroindustriju  
Pokrajinske privredne komore, Novi Sad  
Prof. Dr. D. Jakšić, direktor Instituta Mašinskog fakulteta, Novi Sad  
J. Rakecki, dipl. ing, predavač Mašinskog fakulteta, Novi Sad  
S. Sekulić, dipl. ing, docent Mašinskog fakulteta, Novi Sad  
D. Zelenović, dipl. ing, predavač Mašinskog fakulteta, Novi Sad

VII Savetovanje proizvodnog mašinstva, odlukom Zajednice jugoslovenskih naučno-istraživačkih institucija proizvodnog mašinstva, održava se u Novom Sadu u organizaciji Instituta Mašinskog fakulteta, Novi Sad. Na dosadašnjih šest savetovanja (I u Beogradu 1965, II u Zagrebu 1966, III u Ljubljani 1967, IV u Sarajevu 1968, V u Kragujevcu 1969 i VI u Opatiji 1970) tretirani su problemi: obrade rezanjem, alata, mašina alatki, obrade deformacijom, automatizacije i upravljanja nekonvencionalnih procesa obrade, tehnologije i organizacije rada.

Za VII Savetovanje, koje obradjuje područja:

- obrada rezanjem,
- računari u proizvodnom mašinstvu i
- materijali u mašinstvu

prijavljeno je 76 saopštenja iz instituta, fakulteta i privrednih organizacija. Iz pojedinih područja prispelo je: obrada rezanjem 28, računari u proizvodnom mašinstvu 12 i materijali u mašinstvu 36, saopštenja.

Organizacijski odbor veruje da izložena saopštenja potvrđuju da su naši stručnjaci kroz ovo i dosadašnja savetovanja dokazali da daju skroman doprinos razvoju naučne misli i njene primene u industriji.

Organizacijski odbor



## S A D R Ź A J

OBRADA REZANJEM	Strana
N. Majdandžić, Rezultati eksploatacije alata sa mehanički učvršćenim pločicama tvrdog metala u poduzeću "Djuro Djaković" .....	OR.01.01.
A. Perić, Osvrt na uvodjenje pomoćnog vremena u izraze za specifičnu proizvodnost mašine pri proračunu perioda ekonomične zamjene alata .....	OR.02.01.
Z. Nikić, Problemi obrade sfernih površina na programskim alatnim mašinama .....	OR.03.01.
S. Margić, Oksidno keramičke rezne pločice .....	OR.04.01.
Ž. Marković, Uporedna analiza troškova reznih alata sa mehanički pričvršćenim i zavarenim pločicama .....	OR.05.01.
R. Mitrović, S. Zahar, Ekscentričnost sečiva zuba glodala u odnosu na sopstvenu osu rotacije i njen uticaj na postojanost glodala .....	OR.06.01.
M. Bogdanović, Osvrt na neke elemente eksploatacije odvalnih glodala pri izradi cilindričnih zupčanika metodom pfauter .....	OR.07.01.
I. Kendjel, Eksploatacija NC-alatnih strojeva ekonomska analiza i rentabilnost uvodjenja .....	OR.08.01.
R. Milisavljević, Problemi ekonomične eksploatacije mašina za provlačenje .....	OR.09.01.
H. Muren, Vpliv geometrije brusne plošče na kvalitetu površine .....	OR.10.01.
I. Hercigonja, F. Dusman, R. Stančec, Problemi geometrijske tačnosti i metode mjerenja odvalnih glodala .....	OR.11.01.
B. Pavlović, Problematika definisanja strukture troškova alata pri obradi metala rezanjem .....	OR.12.01.
R. Cebalo, Utjecaj prednjeg kuta natražno tokarenog profilnog glodala na okretni moment i srednju temperaturu rezanja .....	OR.13.01.

- B. Mitić, N. Drezgić, Neki problemi i rezultati u istraživanju mehanizma razletanja i odvodjenja strugotine iz zone rezanja ..... OR.14.01.
- D. Nikolić, Neke mogućnosti određivanja broja prolaza pri glodanju ..... OR.15.01.
- J. Stanić, Prilog analizi ekonomičnog perioda rezanja ..... OR.16.01
- V. Šolaja, D. Vukelja, Neki rezultati ispitivanja intenzitet habanja praćenjem povišenja temperature na karbidnoj pločici ..... OR.17.01.
- V. Šolaja, D. Vukelja, V. Simonović, Identifikacija na karbidnoj pločici ..... OR.18.01.
- D. Vukelja, V. Šolaja, Utvrđivanje obradljivosti materijala pomoću temperaturske metode ..... OR.19.01.
- D. Vukelja, M. Jovičić, V. Simonović, Jedan način za sniženje temperature brušenja pri završnoj obradi alata od brzoreznog čelika ..... OR.20.01.
- S. Zahar, R. Mitrović, Neki problemi obradljivosti čelika "Prokron 13" glodačkim glavama sa pločicama od tvrdog metala ..... OR.21.01.
- D. Vukelja, S. Zahar, Prilog izučavanju uticaja položaja glodala u odnosu na obradak na toplotni režim u uslovima čeonog glodanja ..... OR.22.01.
- B. Ivković, Definisavanje obradljivosti konstrukcijskih materijala u radioničkim uslovima pomoću radioaktivnih izotopa ..... OR.23.01.
- Z. Seljak, Pogoji obdelave s struženjem konstrukcijskih jekel ..... OR.24.01.
- E. Kuljanić, Primjena planiranja pokusa i multiregresione analize za određivanje zavisnosti hrapavosti površine o najutjedajnijim faktorima obrade ... OR.25.01.
- J. Stankov, Statistički aspekt karakteristike kvaliteta ureznika pri statičkom opterećenju ..... OR.26.01.
- S. Sekulić, Ispitivanje postojanosti alata kratkim postupkom obrade ..... OR.27.01.
- J. Stankov, Neka pitanja zamora ureznika ..... OR.28.01.

N. Majdandžić<sup>x)</sup>

REZULTATI EKSPLOATACIJE ALATA SA MEHANIČKI UČVRŠĆENIM  
PLOČICAMA TVRDOG METALA U PODUZEĆU "ĐURO ĐAKOVIĆ" <sup>xx)</sup>

## 1. Uvod

Paralelno razvoju mašina alatki i povećanjem tehnoloških a naročito režimskih mogućnosti, tvrdi metali zahvaljujući visokoj čvrstoći i otpornosti na trošenje kao i zadržavanju tih osobina i pri povišenim temperaturama, predstavljaju danas široku grupu alata za obradu rezanjem sa stalnom tendencijom porasta svoje primjene od strugarskih noževa i glava za glodanje, gdje predstavljaju osnovni alatni materijal do glodala, razvrtača, burgija, proširivača, upuštača, provlakača, ureznika i profilnog alata. Posebna konstruktivna rješenja predstavljaju alati sa mehanički učvršćenim pločicama tvrdog metala koji nalaze sve veću primjenu i kod alata složenije geometrije.

## 2. Tendencija razvoja

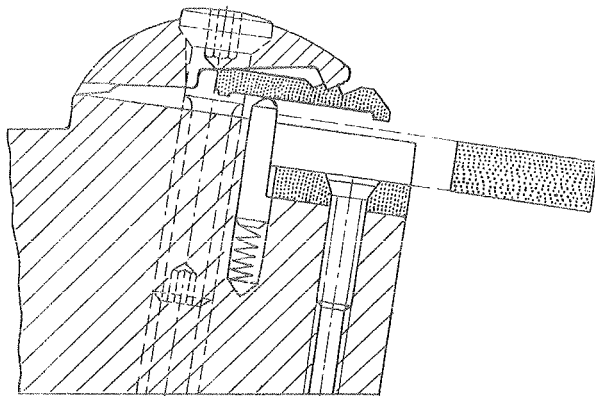
Strugarski noževi predstavljaju najznačajniju i najbrojniju grupu alata sa mehaničkim učvršćenjem reznih pločica (MUP). Klasični oblik držača koji posjeduje elemente za lomljenje strugotine sa mogućnošću podešavanja ovisno o koraku  $s$ (mm/o) i dubini rezanja  $t$ (mm) izvedbe firme "Coromant" prikazan je na sl.1. Slična su rješenja firmi: "Zapp", "Allenite", "WKW", "Tizit", "Krupp", "Seco", "Ugine Carbone", "Narex", "Kennametal" i dr. Druga izvedba posjeduje lomač strugotine u obliku izmjenljive pločice ovisno o koraku i dubini rezanja. Ima u odnosu na prvu izvedbu manji broj prite-

---

x) Niko Majdandžić, ing, šef službe alata, poduzeće "Đuro Đaković" Slavonski Brod.

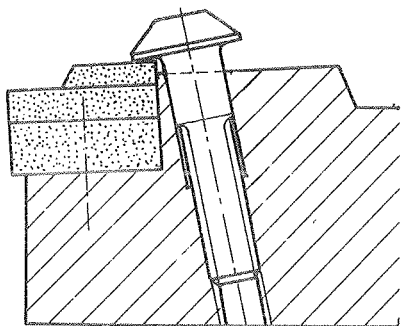
xx) Saopštenje predstavlja dio rada na projektu službe alata u okviru fonda za naučnoistraživački rad poduzeća "DĐ".

žućih elemenata, ali zahtjeva dovoljnu količinu pločica za

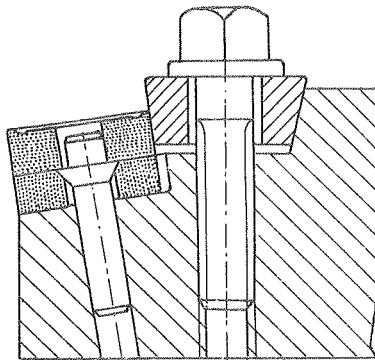


Sl. 1

lomljenje strugotine. Ovakvo rješenje firme "Fagersta" prikazano je na sl.br.2. Nešto pojednostavljeniju konstrukciju u smislu stezanja pločice i lomljenja strugotine predstavlja ruski držač prikazan na sl.br.3. U držač je upresana osovinica, a na nju se slobodno stavlja



Sl. 2

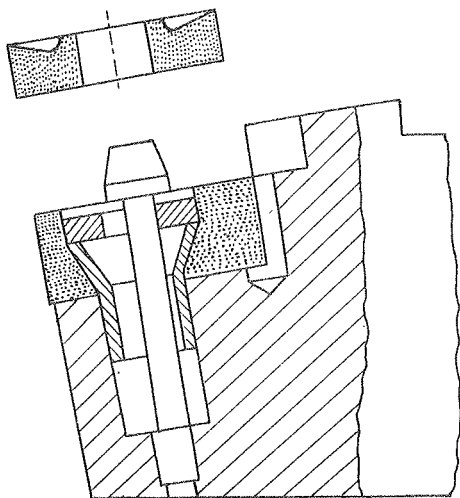


Sl. 3

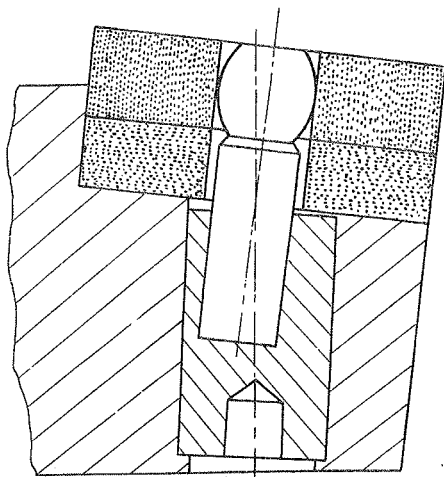
reznna pločica, koja se fiksira pritezanjem zavrtnja preko klina. Grudna površina je u procesu sinterovanja oblikovana sa pozitivnom vrijednosti grudnog kuta. Konstrukcije koje smanjuju potrebni broj pritežućih elemenata, davanjem reznoj pločici funkcije lomljenja strugotine, predmet su stalnog istraživanja i razvoja. Widax PT držač firme "Krupp", prikazan na sl.4 ima jednostavnu izmjenu i stezanje pločica. Pločica tvrdog metala (TM) stavlja se na elastičnu osovinicu završetka zarubljene kupe. Pritiskom na pločicu pomiče se elastična osovinica i



omogućava pločici zauzimanje položaja u osloncu. Držać obezbjeđuje pločici nagibni kut  $-6^\circ$ . U procesu sinterovanja formirani



Sl. 4



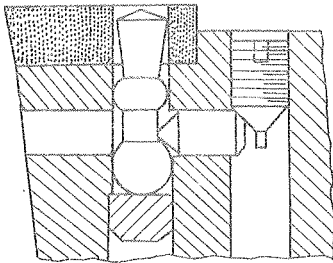
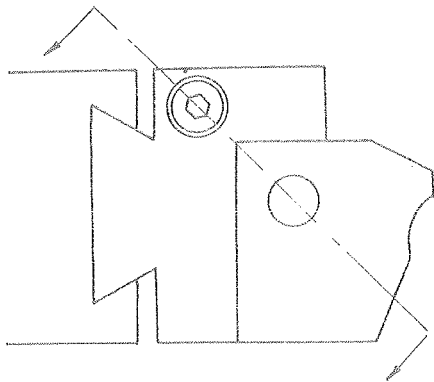
Sl. 5

žljeb za lomljenje strugotine obezbjeđuje pozitivni grudni kut  $12^\circ$ . U Engleskoj [1] patentiran je način učvršćenja prema sl.5. Osa cilindričnog prstena zauzima sa osom otvora kut od  $5^\circ$ . Fiksiranje položaja rezne pločice vrši se preko bačvastog završetka cilindričnog prstena. Pojednostavljenje pritezanja omogućilo je primjenu tvrdih metala i za obradu profilnih površina.

Slika 6 prikazuje rješenje firme "Wickman Wimet" [2]. Rezna pločica ima profilnu oštricu i oslonac u umetku držača. Otvor na reznoj pločici je pri postavljanju u osi sa otvorom u umetku. Pomicanjem zavrtnja osovinica se zakreće i priteže reznu pločicu. Rezna pločica je u posljednje vrijeme znatno izmjenjena, u cilju proširenja mogućnosti primjene za širu oblast koraka i dubine rezanja. Pločica za T-MAX P držać firme "Coromant" ima dva ili tri žljeba za lomljenje strugotine, sl.7. prema ispitivanjima u proizvođaču vidimo oblasti rada pojedinih lomača. Kod fir-

me "Kennametal" grudna površina predstavlja dio površine kugle čiji centar leži na okomici na centar odgovarajuće bazne povr-

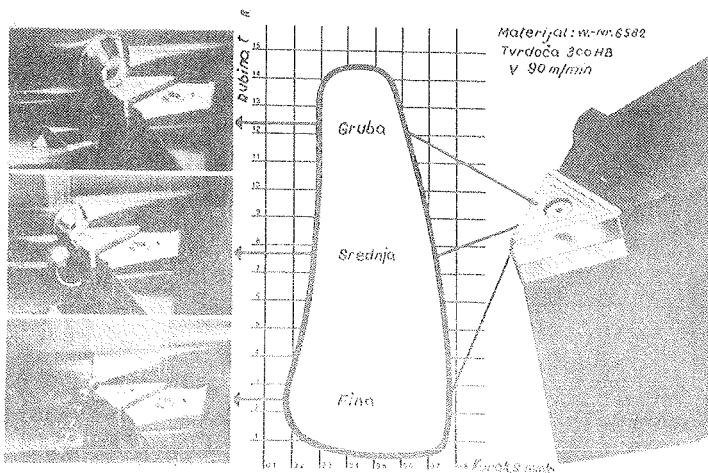
Šine te rezne ivice imaju oblik kružnih lukova . Pločica se iskoristava dvostruko . Pored osnovnih izvedbi strugarskih



Sl.6

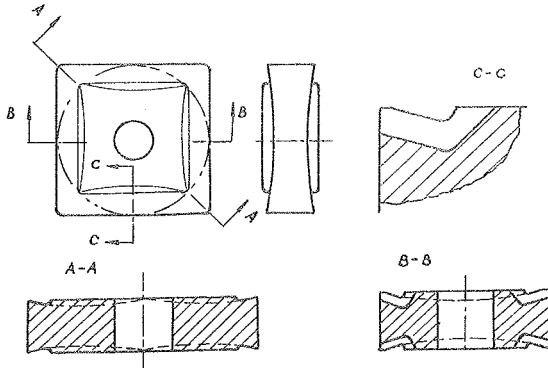
noževa za uzdužnu, poprečnu , unutrašnju i operacije kopiranja koje su kod većine proizvođača standardizirane, postoje ili se nalaze u ispitivanju i razvoju konstrukcije koje proširuju područje primjene i na ostale strugarske operacije: narezivanje navoja , odsjecanje, ukopavanje žljebova , za grubu obradu sa izmjenljivim umetcima, za revolver strugove, koordinatne bušilice ("Microbore"-alati sa mogućnošću tačnog podešavanja) i dr.

Glave za glodanje sa MUP tvrdog metala, a naročito najnovije konstrukcije sa velikim brojem reznih pločica, koje omogućavaju obradu sa velikim koracima



Sl.7

i višestepenih glava, koje omogućavaju obradu sa velikim dubinama rezanja, predstavljaju danas najproduktivniji alat za obradu ravnih površina. Postoji više proizvođača koji se razlikuju u sistemu pritezanja i oslanjanja rezne pločice kao i geometrijskim oblicima. Osnovni oblik pločice je četverokutni, trokutni, okrugli dok kod firme "Stankoimport" čije pločice za glodanje imaju još i peterokutni i šestorokutni oblik. Pored glava za glodanje, mehanički način pričvršćenja reznih pločica nalazi primjenu i kod drugih alata za glodanje: čeonih valjčastih glodala, pločastih glodala, glodala za glodanje utora i dr.



Sl. 8

tvrdog metala pokušavaju optimiranjem parametara koji utiču na fizičko-mehaničke osobine: sastav, veličinu zrna karbida, vezivno sredstvo, tehnologiju proizvodnje, dobiti nove vrste sa povišenim reznim osobinama ili vrste koje bi proširenjem oblasti svojih mogućnosti smanjile široki asortiman potrebnih vrsta i oblika tvrdog metala. Firma "Adamas" proizvela je novu vrstu Titanit 80 sa povećanim sadržajem titana, a time i tvrdoće i otpornosti na trošenje. Firma "Wickman-Wimet" sa vrstom Wimet-Leminate zamjenjuje vrste :P20, P30, K05, K10, K20. Interesantnu novinu predstavljaju tri nove vrste firme "Coromant": GC125, GC135 i GC315, i firme "Fagersta": Secotic. Kod njih su na žilavu vrstu tvrdog metala ( u slučaju GC125 to je vrsta P30) nanešen je posebnim postupkom tanki sloj karbida titana debljine 4-5 mikrona. Firma "Fagersta" proizvela je i posebnu vrstu za glodanje S25 M gdje su pogodnim izborom strukture i veziva dobili vrstu koja prema njihovim podacima zamjenjuje vrste :P10, P20, P30, P40 i M30.

### 3. Eksploatacijski rezultati

Ekonomičnost primjene alata sa MUP zavisi o pravilnom izboru istog prema operaciji, uslovima rada, obrađivanom materijalu, tehnološkim mogućnostima mašine, izabranih režima rada, cijene, načina i kvaliteta oštrenja noževa sa LP i dr, što znači da će primjena u različitim uslovima dati drugačije tehnološke i ekonomske rezultate. Uvođenjem u proizvodnju jedne grupe alata (noževa i glava za glodanje) želio sam ovom probnom količinom praktičnim ispitivanjem i praćenjem u eksploataciji doći do pokazatelja ekonomičnosti njihove primjene. Proračun prema prikupljenim podacima vršio sam svodenjem troškova alata u toku jednog perioda postojanosti. Došao sam do zaključka da obrazac [3] za naše uslove ne obuhvata dovoljan broj elemenata čiji je utjecaj na konačnu vrijednost perioda postojanosti znatan (radovi koji su se javljali na održavanju držača i izmjeni polomljenih dijelova, mogućnost iskorištenja rezne pločice i poslije graničnog pojasa istrošenja, oštećenje držača lomom podložne pločice i dr.), te bi prošireni obrazac imao oblik :

$$N_T = \frac{N_p - N_{pl}}{n_p \cdot k_1} + \frac{N_d + N_{dl}}{n_d} + \frac{N_{pp}}{n_{pp}} + \frac{N_1}{n_1} \quad \left[ \frac{\text{din}}{T} \right] , \quad (1)$$

gdje su:

$N_T$  - vrijednost jednog perioda postojanosti  $\left[ \frac{\text{din}}{T} \right]$

$N_p$  - vrijednost izmjenljive višerezne pločice  $\left[ \frac{\text{din}}{\text{kom}} \right]$

$N_{pl}$  - vrijednost izmjenljive pločice  $\left[ \frac{\text{din}}{\text{kom}} \right]$  poslije istrošenja koja u našim uslovima raznovrsne proizvodnje i povišene potrebe za specijalnim alatima ima osjetan značaj ; ovisno o obliku pločice koristimo za lemljenje na držače specijalnih i profilnih noževa, noževa za koordinatne bušilice, upuštače, a brušenjem vrha kvadratnu pločicu primjenjujemo kao izmjenljivu reznu pločicu širokog noža sa reznom ivicom 1-3 mm koji je pri radu na stabilnim mašinama veoma produktivan.

$n_p$  - broj perioda postojanosti svih reznih ivica na pločici

$k_1$  - koeficijent popravke broja reznih ivica koje se praktično

iskoriste.

$N_{dl}$  - vrijednost kojom sam obuhvatio utjecaj cijene naknadnih popravki držača i izmjenu pripadajućih dijelova

$n_d$  - broj perioda postojanosti držača

$N_{pp}$  - vrijednost podložne pločice [din/kom]

$n_{pp}$  - broj perioda postojanosti podložne pločice

$N_1$  - vrijednost lomača strugotine [din/kom]

$n_1$  - broj perioda postojanosti lomača strugotine.

Kod noževa sa lemljenim pločicama vrijednost jednog perioda postojanosti [3] iznosi :

$$N_T = \frac{N_n + i \cdot N_o}{i+1} \quad [\text{din/T}] \quad (2)$$

gdje su:

$N_n$  - vrijednost noža sa zalemljenom pločicom [din/kom]

$i$  - broj oštrenja

$N_o$  - vrijednost jednog oštrenja u [din]

Uporednim praćenjem rada 10 noževa sa MUP izvedbe 80-HAN-2525 R sa trokutastim pločicama kvalitet TT25 (P25) proizvodnje firme "Krupp" sa odgovarajućim brojem noževa sa LP oblika JUS KCl 056 presjeka 25 x 25 :Eliminišući, upotrebom TM istog proizvođača mogućnost utjecaja razlike u kvaliteti TM došao sam do vrijednosti  $N_T$  .

### 3.1. Vrijednost $N_T$ za nož sa MUP (80-HAN-2525R)

$N_p = 8.72$  [din/kom] prema cijeni proizvođača ("Krupp")

$n_p = 3$

$k_1 \approx 0.81$  za trokutaste pločice kod kojih je na 600 oštrica bilo 113 neiskorištenih

$N_{pl} \approx 200$  [din] .Ovu vrijednost sam dobio kao prosječnu računajući kao mogućnost primjene za noževe za navoj, profilne noževe i noževe za klinaste remenice.

$N_d = 166.00$  [din/kom] prema cijeni proizvođača ("Krupp")

$N_{dl} = 28.80$  [din] Ovu vrijednost sam odredio kao prosjek radova na deset držača u toku vijeka trajanja, za koje je bravar na održavanju alata utrošio  $12^h$  rada, odnosno  $1,2^h$  po držaču, a vrijednost  $1^h$  rada bravara iznosi 24.00 din.

$$n_d = n \cdot k_1 \cdot n_p$$

gdje je :

$n \approx 300$  broj reznih pločica za ukupni vijek trajanja držača

$$n_d = 300 \cdot 0,81 \cdot 3$$

$$n_d = 729$$

$$N_{pp} = 16.66 \text{ [din]} \text{ cijena proizvođača ("Krupp")}$$

$$n_{pp} = 150$$

$$N_1 = 17.15 \text{ [din]} \text{ cijena proizvođača ("Krupp")}$$

$$n_1 = 100$$

$$\text{Prema tome } N_T = \frac{8.72-2.00}{3 \cdot 0,81} + \frac{166.00+28.80}{729} + \frac{16.66}{150} + \frac{17.15}{100}$$

$$N_T = 3.31 \text{ [din/T]}$$

### 3.2. Vrijednost $N_T$ za nož sa LP 25 25 oblika JUS KCl.056

$$N_n = 35.00 \text{ [din]} \text{ cijena proizvođača ("Jugorapid")}$$

$i = 14$  prema iskustvima u poduzeću "Đuro Đaković"

$N_o = 4.25 \text{ [din]}$  prema normativima oštrenja alata u "Đuri Đakoviću"

$$N_T = \frac{35.00+14 \cdot 4.25}{15}$$

$$N_T = 6.30 \text{ [din/T]}$$

Alati su naizmjenično radili na istim mašinama pri istim postojanostima, uslovima i režimima obrade. Vidljivo je da bi rezne pločice obzirom na utjecajnost faktora  $n_p$  sa više reznih ivica dale još povoljniji rezultat kao i pločice sa negativnim kutom odnosno dvostruko većim iskorištenjem.

## 4. Zaključci

4.1. Nova rješenja pritezanja rezne pločice i njene geometrije u smislu davanja reznoj pločici funkcije lomljenja strugotine kao i razvoj novih vrsta TM (Titanit 80, S25M, Wimet-Leminate) i tehnologije proizvodnje (nanošenje sloja titanovog karbida na žilavu vrstu tvrdog metala GC125, GC135, GC315, Secotic ) proširuju mogućnosti upotrebe alata sa MUP, ujedno smanjujući do sada potrebni, široki asortiman.

4.2. Rezultati praćenja u eksploataciji pokazuju da je primjena alata sa MUP tvrdog metala, za operacije kod kojih je to moguće, ekonomski opravdana i nužna.

## 5. Literatura

- [1] Love William Maurice, Raine Thomas. Improvements relating to cutting tools with replaceable tips. No 1160138, 30. 07. 69.
- [2] Hergreaves James. Cutting inserts for machine tools. No 1174592, 17. 12. 69.
- [3] Schaumann R. Ermittlung und Berechnung der kostengünstigsten Standzeit und Schnittgeschwindigkeit. Werkstattstechnik, No 1, 1970.

Prospektni materijali firmi: "Coramant", "Fagersta", "Krupp", "WKW", "Seco", "Adamas", "Tizit", "Stankoimport", "Narex", "Zapp", "Allenite", "Ugine Carbone".

N. Majdandžić

Exploitationsergebnisse der Werkzeuge mit den Hartmetallwendschneidplatten im Werk "Duro Đaković".

Die Werkzeuge mit Hartmetallwendschneidplatten stellen heute eine breite Werkzeuggruppe mit steigender Tendenz ihrer Anwendung vor. Die Entwicklung dieser Werkzeuge wirkt sich in der Herstellung neuer Hartmetallsorten mit breiter Möglichkeiten ihrer Anwendung aus, vereinfacht die Klemme und gibt der Schneidplatte die Aufgabe den Span zu brechen. Die Berechnung ist für unsere Produktionsbedingungen gemacht worden. Mit der Anwendung dieser Werkzeuge erreicht man die niedrigere Werkzeugkosten.





A. Perić<sup>x</sup>

OSVRT NA UVODJENJE POMOĆNOG VREMENA U IZRAZE ZA SPECIFIČNU  
PROIZVODNOST MAŠINE PRI PRORAČUNU PERIODA EKONOMIČNE ZAMJENE  
ALATA

1. Uvod

Period ekonomične zamjene alata predstavlja važan faktor pri proračunu brzine rezanja odnosno režima rezanja za konkretnu operaciju obrade rezanjem metala. Polazeći od izraza za specifičnu proizvodnost noža pri grubom struganju dovoljno velikih komada Taylor [1] je dobio izraz za proračun perioda ekonomične zamjene alata, koja glasi:

$$T = \left(\frac{1}{m} - 1\right) t \quad (1)$$

gdje je  $m$  - eksponent u zavisnosti brzine rezanja od postojanosti,  $t$  - ekvivalentno vrijeme zamjene zatupljenog alata. Do analogne zavisnosti  $1/m$  može se doći tražeći minimum troškova obrade jednog komada u zavisnosti od postojanosti [2].

Utvrdjeno je međjutim da period postojanosti  $T$  izračunat prema izrazu  $1/m$  ne daje uvijek rezultat podudaran sa praktičnim preporukama. To se naročito odnosi na operacije kod kojih je pomoćno vrijeme znatno veće od mašinskog.

U svom radu prof. Dr. Stanković P. [3] dokazuje da za takve operacije treba period ekonomične zamjene alata računati prema izrazu:

$$T = \left(\frac{1}{m} - 1\right) \frac{t}{1 + \kappa_2} \quad (2)$$

---

<sup>x</sup> Aristid Perić, dipl. ing., docent Mašinskog fakulteta u Sarajevu, saradnik Zavoda za alatne mašine, alate i mjernu tehniku, Sarajevo.

gdje je  $K_2 = \frac{t_{ip}}{t_{ig}}$ .  $t_{ip}$  - pomoćno vrijeme za i prolaza/min/  
 $t_{ig}$  - mašinsko vrijeme za i prolaza /min/.

Do skoro istog zaključka dolazi i kand. tehn. nauka N.I. Tašlis-  
kij [4], koji polazeći od drugih osnovnih postavki izražava  
koeficijent  $K_2$  kao odnos ukupnog pomoćnog vremena prema ukup-  
nom mašinskom vremenu, utrošenom za izradu z-komada u periodu  
postojanosti alata. Oba autora u svojim razmatranjima uvode u  
izraze za specifičnu proizvodnost, odnosno u izraze za ekviva-  
lentno vrijeme, pomoćno vrijeme pomoću kojeg dobijaju koefici-  
jent  $K_2$ , koji koriste na poseban način. Dobijeni izraz /2/ za  
 $T$  daje u izvjesnim radnim situacijama vrijednosti koje su više  
podudarne sa praktično utvrđenim i preporučenim vrijednostima.

Ali i pored te podudarnosti s obzirom na druge načine proraču-  
na  $T$  postavlja se pitanje da li treba uvoditi u ekvivalentno  
vrijeme i pomoćno vrijeme, te da li se na ovakav način može  
izraziti uticaj pomoćnog vremena na period ekonomske zamjene  
alata. To je problem koji se dijelom razmatra u ovom radu.

## 2. Pregled načina proračuna perioda ekonomske zamjene alata

Polazeći od specifične proizvodnosti nože pri grubom struga-  
nju dovoljno velikih komada, izražene srednjom količinom ski-  
nute strugotine u jedinici ekvivalentnog vremena utrošenog na  
mašini koju Taylor [1], [5] daje izrazom:

$$r = \frac{W}{T+t} = \frac{k \cdot v \cdot T}{T+t} \quad (3)$$

gdje je:  $W = k \cdot v \cdot T$  - količina metala skinuta u vremenu posto-  
janosti noža  $T$  pri brzini rezanja  $v$ , preko izvoda izraza /3/  
po  $T$  dobijen je izraz /1/ za period ekonomske zamjene alata.  
Izraz /1/ daje obično zadovoljavajuće rezultate za noževe od  
BRČ i TM pri srednjem broju oštrenja jednakom 3 i za neke glo-  
dače [4].

Međutim za neke alate kao burgije i proširivače manjeg preč-  
nika prema izrazu /1/ dobijaju se rezultati različiti od pre-  
poruka datih u normativima [6].

Postavljajući izraz (2) za troškove obrade neke količine komada  $N$ , obradjene u odgovarajućem nekom periodu postojanosti, te izražavajući mašinsko vrijeme i broj komada u zavisnosti od postojanosti može se dobiti za troškove obrade jednog komada slijedeći izraz:

$$C_{kom} = C_{mašl} \cdot C_1 \left( T^m + \frac{T_{pom}}{C_1} + t \cdot T^{m-1} \right) \quad (4)$$

gdje je:  $C_{mašl}$  - troškovi eksploatacije radnog mjesta po jednoj minuti /din/min/  $C_1$  - konstanta,  $T$  - postojanost alata /min/,  $T_{pom}$  - pomoćno vrijeme za jedan komad /min/,  $m$ -koeficijent u Taylorovom izrazu za brzinu rezanja.

Uzimajući izvod  $C_{kom}$  po  $T$  i izjednačujući ga sa nulom dobija se period postojanosti, alata koji odgovara minimalnim troškovima obrade po komadu:

$$T = \left( \frac{1}{m} - 1 \right) t \quad (1)$$

Izvjesni autori, ponukani činjenicom da se u radnim situacijama gdje je pomoćno vrijeme operacije znatno veće od mašinskog prema izrazu /1/, dobijaju različiti rezultati u odnosu na praktične preporuke, traže rješenje ovog problema u uvodjenju pomoćnog vremena u ekvivalentno vrijeme u izrazu za specifičnu proizvodnost noža. Tako na primjer prof. Dr Stanković u svom radu [3] polazi od svog izraza za specifičnu proizvodnost mašine, izraženog srednjom količinom skinute strugotine u jedinici ekvivalentnog vremena utrošenog na mašini, koji glasi:

$$Q_i = \frac{d \cdot s \cdot v \cdot \gamma_0 \cdot t_{ig} \cdot z}{1000 (z \cdot t_{ig} + z \cdot t_{ip} + t)} \quad (5)$$

gdje je:  $d$  - dubina rezanja /mm/,  $s$  - posmak /min/o/,  $z$ -broj komada izradjen u nekom periodu postojanosti,  $t_{ig}$  - mašinsko vrijeme za  $i$  prolaza,  $v$  - brzina rezanja /m/min/,  $\gamma_0$  - specifična težina /kg/dm<sup>3</sup>/,  $z$  - broj komada u nekom periodu postojanosti,  $t_{ip}$  - pomoćno vrijeme za  $i$  prolaza.

Vršeci pogodne zamjene autor dolazi do izraza

$$q_i = K'' \left( \frac{X-1-K_2}{X} \right)^m \quad (6)$$

gdje je:  $K''$  - konstanta,  $X$  - posebna promjenljiva,  $K_2$  - odnos pomoćnog vremena prema mašinskom za i prolaza uzet kao konstanta.

Uzimajući izvod  $q_i$  po  $X$  i izjednačujući ga sa nulom dobija izraz za  $X$  i uzimajući u obzir ranije učinjene zamjene konačno dobija izraz /2/.

$$T = \left( \frac{1}{m} - 1 \right) \frac{t}{T+K_2} \quad (2)$$

Na osnovu toga autor zaključuje da se uzimanjem u obzir pomoćnog vremena, tamo gdje je ono značajno, dobija prema izrazu /2/ manji  $T$  te da treba raditi sa većom brzinom rezanja.

Do istog zaključka ali drugim pristupom dolazi i kand. tehn. nauka N.I. Tašlički [4].

Autor tvrdi da pri izvršenju operacija kod kojih je pomoćno vrijeme relativno veliko, proizvodnost mašine ne treba mjeriti količinom skinutog metala već brojem izvršenih operacija u nekom periodu postojanosti alata  $T$ .

Tako dobija da je proizvodnost mašine izmjerena srednjom količinom operacija, izvršenih u ekvivalentnom vremenu zauzetom na mašini jednaka:

$$q = \frac{Q}{T+T_v+t} = \frac{k_1 \cdot v \cdot T}{T+k_1 \cdot v \cdot T \cdot \tau_v+t} = \frac{k_1 \cdot C_T \cdot T^{1-m}}{T+k_1 \cdot C_T \cdot \tau_v \cdot T^{1-m}+t} \quad (7)$$

Gdje je:  $Q = \frac{\eta}{\tau_m} = k_1 \cdot v \cdot t$  - broj izvršenih operacija,

$\tau_m$  - mašinsko vrijeme operacije,  $\tau_v$  - pomoćno vrijeme operacije,  $T_v = Q \cdot \tau_v = k_1 \cdot v \cdot T$ .  $\tau_v$  - pomoćno vrijeme izvršenih operacija,  $k_1$ ,  $C_T$  - konstante. Zatim N.I. Tašlički uvodi uslov da je  $\tau_v / \tau_m = \text{const}$ , i pri tom uslovu zavisnost /7/ daje izrazom:

$$q = \frac{k_1 \cdot C_T \cdot T^{1+m}}{T(1 + \frac{T}{T_m}) + t} \quad (8)$$

Uzimajući izvod  $\frac{dq}{dT}$  zavisnosti /8/ pri uslovu  $\frac{Tv}{T} = \text{const}$  i izjednačujući ga sa nulom dobija ekonomsku postojanost koja treba da odgovara maksimumu  $q$  a koja glasi:

$$T = \left(\frac{1}{m} - 1\right) \frac{t}{1 + \frac{T}{T_m}} \quad (2)$$

Na osnovu toga, između ostalog, izvlači zaključak analogan zaključku koji daje prof. Dr Stanković u svom radu.

Interesantno je ovdje pomenuti da izraz /2/ u izvjesnim radnim situacijama daje tačnije vrijednosti od izraza /1/ u odnosu na praktično dobijene normative [6] za period ekonomične zamjene alata.

### 3. Kritička razmatranja izraza $K_2 = \text{const}$ .

Iz pregleda datih načina proračuna perioda ekonomične zamjene alata uočljivo je da se u izrazu /3/ pomoćno vrijeme operacije ne pojavljuje, u izrazu /4/ ono egzistira ali se pri izvodu gubi jer je konstantna veličina, dok se u izraze /5/ i /6/ posebno i namjerno ubacuje. Postavlja se pitanje da li je potrebno uvoditi  $Tv$  tj.  $\tau_v$  u izraze /5/ i /6/, i dalje, ako je već uvedeno zašto se uvijek ne uzima kao konstanta. Ovdje ćemo se posebno osvrnuti na problem koji nastaje posebnim korišćenjem uvedenog pomoćnog vremena operacije.

Izvjescni autori u svojim radovima [3], [4] tvrde da odnos  $\frac{Tv}{T} = \frac{\tau_v}{\tau_m} = K_2$  ne zavisi od  $T$ , već ga u proračunu uzimaju približno konstantnim. Postoji tvrdnja [4] da se uslov o konstantnom pomoćnom vremenu pojavljuje neželjenim, jer se pri smanjenju mašinskog vremena u slučaju povećanja brzine rezanja koeficijent iskorišćenja mašine po mašinskom vremenu smanjuje a opterećenje radnika raste. Prema tome rasudjivanju se radi toga u praksi teži da se odnos pomoćnog vremena prema

mašinskom održi približno konstantan na račun mehanizacije pomoćnih radnji.

Posebno uvedeni uslov  $K_2 = \text{const}$  zaslužuje pažnju i kritički osvrt. Za vjerovati je da možda pomoćno vrijeme operacije na neki način može da utiče na period ekonomične zamjene alata. Međutim, način na koji se taj uticaj iskazuje u radovima [3] [4] ima niz manjkavosti.

Pokušajmo prvo razmotriti poseban uslov  $\frac{T_v}{T} = \frac{\tau_v}{\tau_m} = K_2 = \text{const}$  u slučaju izvodjenja jedne iste operacije ali sa različitim udjelom mehanizacije u pomoćnom vremenu operacije. Iz uslova proizlazi, da za koliko puta se mehanizacijom smanji pomoćno vrijeme za isto toliko puta se mora smanjiti i mašinsko vrijeme tj. za toliko puta se mora povećati broj obrta odnosno brzina rezanja. Prema tome bi pri bušenju otvora na nekom kućištu pri zamjeni mehaničkog stezača pneumatskim trebalo mašinsko vrijeme da bude za onoliko puta manje za koliko puta se smanjilo pomoćno vrijeme. Nije li stoga, tim uslovom u opštem slučaju prejudicirano mašinsko vrijeme u operaciji a time također brzina rezanja i period ekonomične zamjene alata, mada pri tome nisu uzeti u obzir ostali faktori koji definišu veličinu perioda ekonomične zamjene alata. Ako se već uzima da je  $\frac{\tau_v}{\tau_m} = K_2 = \text{const}$ . onda se postavlja pitanje zašto se iz tog odnosa odmah ne računa odgovarajuća vrijednost za  $T$  - postojanost već se opet traži  $\frac{dq}{dT} = 0$  i tim složenijim putem dobija izraz /2/ za postojanost. Naime, veličina  $\tau_v$  je uvijek poznata u konkretnoj operaciji, pa ako navodno uvijek znamo veličinu  $K_2$ , onda se lako može izračunati  $T$  prema izrazu /10/.

$$\tau_m = \frac{L \cdot i}{S \cdot n} = \frac{L \cdot \pi \cdot D \cdot d_f}{1000 \cdot S \cdot d} \cdot \frac{1}{v} = \frac{1}{k_f} \cdot \frac{1}{v} = \frac{1}{k_f \cdot C_T} \cdot T^m$$

$$K_2 = \frac{\tau_v}{\tau_m} = \frac{\tau_v \cdot k_f \cdot C_T}{T^m} \quad (9)$$

$$T = m \sqrt{\frac{C_v \cdot k_1 \cdot C_T}{k_2}} \quad (10)$$

To se može potvrditi na slijedećem primjeru. Uzmimo struganje [4] prečnika  $d = 6,4$  mm, dužine  $L = 10$  mm iz taline K470BMIT sa alatom iz BRČ PL8, posnakom  $s = 0,2$  mm/o i  $d' = 1$  mm.

Konstante u formuli /10/ su onda  $C_T = 10$ ,  $m = 1/11$  i  $k_1 = 1$ . Ekvivalentno vrijeme zamjene alata je  $t = 6$  min, a neka je  $C_v = 0,388$  min.

Ako bi se, pretpostavimo, znalo da je za tu operaciju

$$\frac{C_v}{C_m} = K_2 = 3 \quad \text{onda je prema /10/:$$

$$T = m \sqrt{\frac{C_v \cdot k_1 \cdot C_T}{k_2}} = \frac{1}{11} \sqrt{\frac{0,388 \cdot 10}{3}} = \frac{1}{11} \sqrt{1,28} \approx 15 \text{ min}$$

a što je jednako rezultatu prema /2/

$$T = \left(\frac{1}{m} - 1\right) \cdot t \cdot \frac{1}{1+K_2} = (11-1) \cdot 6 \cdot \frac{1}{1+3} = 60 \cdot \frac{1}{4} = 15 \text{ min}$$

Naizgled proizlazi da je za proračun  $T$  jedini dovoljan uslov  $K_2 = \text{const}$ , uz pretpostavku da se zna veličina te konstante u konkretnoj situaciji.

To se ne bi moglo prihvatiti kao mjerodavno, jer veličinu  $K_2$  unaprijed ne znamo. Ta veličina je općenito funkcija niza faktora:

$$K_2 = f(C_v, L, D, s, d', d, T, C_T, m)$$

a u konkretnoj situaciji preko Taylorove zavisnosti:

$$K_2 = f(T)$$

jer su ostali faktori konstantni i poznati.

Osim toga, takav pristup bi isključivao traženje  $T$  obzirom na minimum troškova odnosno maksimum specifične proizvodnosti.

Prema tome, pri proračunu perioda ekonomične zamjene alata treba uzeti da je  $\tau_v = \text{const}$ . To potvrđuje i praksa jer radnik radeći normalnim tempom prema određjenom metodu rada na univerzalnoj opremi, odnosno automatizovana mašina, pomoćne radnje u određjenoj operaciji izvrše u prosjeku u istom vremenu, bez obzira na promjenu brzine rezanja. /Izuzetak izvjesno čine automati sa fiksnim nosiocem programa/. Pošto je  $K_2 = f/T$  to je očigledno da je  $K_2 \neq \text{const}$ .

Interesantno je pomenuti da i N.I.Tašlickij u svom radu kada uvodi pomoćno vrijeme u izraz za specifičnu proizvodnost mašine, uz uslov  $\tau_v = \text{const}$ , dobija za T izraz /1/. Medjutim, on docnije uzima da je  $\tau_v \neq \text{const}$ . tj, da je  $K_2 = \text{const}$ . što ga dovodi do već pomenutog izraza /2/ za T.

Bez bilo kakvih pretenzija da se uzmu u odbranu pristupi za proračun T analogni Taylor-ovom, a još manje da se podcijene radovi izvjesnih autora [3], [4], mora se za sada reći da postojeći problem tim radovima nije potpuno rasvijetljen, te da i dalje ostaju teoretski više jasniji pristupi prema Taylor-u. Medjutim, značaj radova [3] [4] svakako leži u tome što je zahvaljujući autorima po prvi put naznačen i teoretski razmatran problem uticaja pomoćnog vremena na period ekonomične zamjene alata.

#### 4. Z a k l j u č a k

Iz datih analiza proizlazi da se pravilnim tretmanom veličine  $\tau_v$  i  $K_2$  a primjenjujući Taylor-ovu zavisnost brzine od postojanosti, uvijek dolazi do Taylor-ovog izraza /1/, te se na osnovu toga može dati slijedeći zaključak:

Uvodjenjem pomoćnog vremena operacije u imenitelj izraza za specifičnu proizvodnost mašine ne može se iskazati uticaj tog vremena na period ekonomične zamjene alata, kada se primjenjuje Taylor-ova zavisnost brzine od postojanosti.



## 5. L i t e r a t u r a

- [1] Taylor F.: - Iskustvo rezat metale 1909.
- [2] Pankin V.A.: - Obrabotka metallov rezanieom, Mašgiz, Moskva, 1961.
- [3] Stanković P.: - Specifična proizvodnost tehnološkog procesa i broj prolaza kao funkcije osnovnog vremena pri mašinskoj obradi, Zbornik mašinskog instituta Srpske Akademije nauka knj.br.8, 1958.
- [4] Tašlickij N.I.: - Rasčet ekonomičeskoj stojkosti režućih instrumentov, Vestn. mašinostroit. 47 /1967/ br.7 str.70.
- [5] Stanković P.: - Mašinska obrada, Beograd, 1967.
- [6] - Spravočnik normirovščika - mašinostri telja t, II, Mašgiz, 1961.

### A.Perić

Ein Rückbluck auf die Einführung der Nebenzeit der Operation in der Formel der spezifische Produktivität der Maschine bei der Berechnung des wirtschaftlichen Standzeit

In diesem Artikel der Verfasser erwähnt das die Einführung des Nebenzeit der Operation in der Formel der spezifischen Produktivität der Maschine, hat keine Einfluss auf die Berechnung der wirtschaftlichen Standzeit.

Daher die Taylor-Formel für T bleibt noch immer einzige teo-  
rethische Lösung für Berechnung der wirtschaftlichen Standzeit, wenn die Taylor-Formel  $v = f/T$  verwendet ist.



Z. Nikić ^

PROBLEMI OBRADJE SFERNIH POVRŠINA NA PROGRAMSKIM ALATNIM  
MAŠINAMA ^^

1. Uvod

Programske alatne mašine obzirom na visoku cenu i na relativno veliko vreme pripreme zahtevaju precizno poznavanje veze između brzine rezanja i postojanosti, odnosno održavanje konstantnog perioda rezanja između dva oštrenja alata.

Kako se na programskim kopir- strugovima vrlo često alat nalazi u vrlo promenljivim uslovima rezanja u toku izvodjenja samo jedne operacije (obrada predmeta sa više prečnika po kopiru, obrada konusa, obrada sfernih površina i sl.) to je problem određivanja i održavanja određene postojanosti alata znatno složeniji u odnosu na operacije koje se izvode na drugim vrstama alatnih mašina.

Poseban problem održavanja konstantne postojanosti alata i projektovanje odgovarajućih režima predstavlja obrada sfernih rukavaca JUS-M.N1.231 koji su centralni i najodgovorniji deo mehanizma za upravljanje vozila.

U saopštenju koje sledi autor pokušava da ukaže na sva izvorišta problema ekonomske obrade sfernih površina na programskim kopirnim strugovima i da predloži neka moguća rešenja.

---

^ Zoran Nikić, dipl.ing., predavač VTŠ Čačak, spoljni saradnik Laboratorije za obradu metala i tribologiju Mašinskog fakulteta u Kragujevcu.

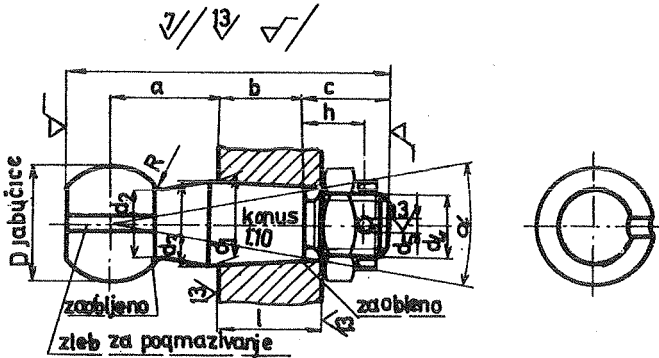
^^ Saopštenje je proizašlo iz rada na rešavanju problema proizvodnje spona za teretna u putnička vozila.

## 2. Osnovi tehnološkog procesa obrade sfernih rukavaca

Upravljački mehanizam - spona većine motornih vozila sadrži u sebi sferni rukavac koji je standardnog oblika i čije dimenzije zavise od tipa vozila.

Na slici 1 prikazan je oblik centralnog elementa spone - sfernog rukavca i osnovne dimenzije predviđene standardom.

Dh8	18	19	20	22	24	25	27	30	35	40	50	65
d3	12,2	12,2	12,2	16,2	16,2	18,3	18,3	20,3	22,3	26,4	38,5	45,6



Sl. 1 Sferni rukavac - JUS - M.n.l. 231

Karakteristike tehnološkog procesa izrade sfernih rukavaca zavise su od izbora osnovne koncepcije obrade. moguće je, u principu, tehnološki proces izrade sfernih rukavaca zasnovati na obradi deformacijom (hladno sabijanje), ili na obradi rezanjem pri čemu kao polurabrikat može da bude otkovak ili šipkasti materijal.

u savremenoj proizvodnji automobila prisutne su obe vrste obrade ovog veoma važnog i odgovornog elementa.

u ovom saopštenju prikazuje se postupak izrade sfernih rukavaca zasnovan na korišćenju obrade metala rezanjem dok će postupci obrade zasnovan na hladnoj deformaciji biti predmet posebnog saopštenja koje treba da proizađe kao posledica sistematskih ispitivanja koja su u toku. Kao problematična operacija izrade sfernih rukavaca javlja se operacija u kojoj se vrši

OR.03.02.

obrada sferne površine.

reznici alat u toku obrade nailazi na različite dubine rezanja a koje su uslovljene oblikom predmeta i dimenzijom polufabrikata, a takodje što je posebno problematično nailazi pri obradi sfere na promenu napadnog ugla rezne ivice  $\alpha$ , pomocne rezne ivice  $\alpha_1$  i na promenu posmaka  $s$ .

Ako bi se kompletna obrada sfere vršila sa konstantnim režimom rezanja ( $n=\text{const.}, s=\text{const.}$ ) onda bi intenzitet habanja reznog dela alata bio različit u toku rezanja što znači da bi samo jedan deo predmeta bio obradjivan ekonomičnom brzinom rezanja dok to sa drugim delovima predmeta ne bi bio slučaj. Ovakvi uslovi rezanja nastaju zbog pomenute promene napadnih uglova u procesu rezanja.

Pored ove promene u toku procesa rezanja sfere nastaje i promena dužine puta vrha noža po jednom obrtu tj. posmaka.

Ova promena uglova i posmaka pri obradi sfernih rukavaca utiče na promenu intenziteta habanja i nije moguće eliminisati je jer za to bi bilo potrebno raspolagati sa **kontinualnom** promenom broja obrta.

### 3. Veza između brzine rezanja, postojanosti, napadnih uglova i posmaka pri obradi sfernih površina

Veza između brzine rezanja  $v$  i postojanosti alata  $T$  definisana je poznatim Tajlorovim izrazom

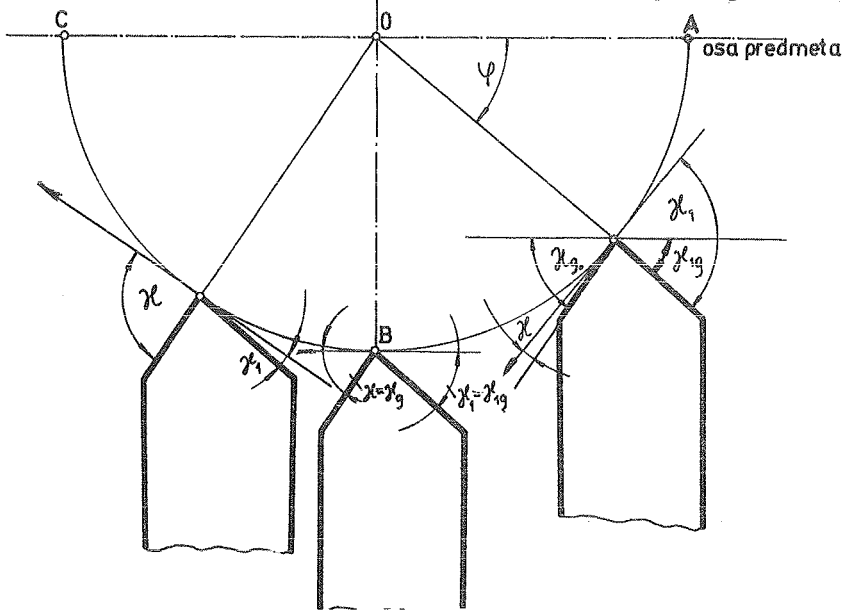
$$v = \frac{C}{T^m}$$

Konstanta  $C$ , pored ostalog, zavisi i od napadnih uglova  $\alpha$  i  $\alpha_1$ . Istraživanja koja su do sada obavljena pokazuju da napadni ugao nema uticaja na veličinu eksponenta  $m$  već samo na veličinu konstante  $C$ . Ovo je verovatno aproksimacija stvarnog stanja jer se može pretpostaviti da bi pri rezanju sa različitim napadnim uglovima veza između brzine rezanja i postojanosti bila predstavljena u duplogaritamskom koordinatnom sistemu sa familijom paralelnih pravih linija nego jednom grupom pravih linija koje imaju različite koeficijente pravca.

U daljim razmatranjima, medjutim, prihvata se pretpostavka da  $m \neq f(\alpha)$ .

Na slici 2 može se videti nekoliko trenutnih položaja noža u procesu rezanja sferne površine. U daljem tekstu trenutni položaj

vrha noža u odnosu na osu predmeta biće određen uglom  $\varphi^\circ$



Sl.2 Položaj vrha noža u toku rezanja sferne površine

Iz slike se može videti da promena ugla  $\varphi$  izaziva promenu napadnih uglova  $\alpha$  i  $\alpha_1$  po zakonu:

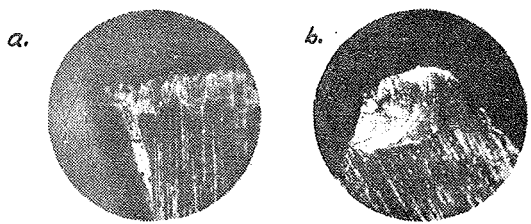
$$\begin{aligned} \alpha &= \alpha_g - (90 - \varphi) & \alpha_g, \alpha_{1g} &- \text{geometrijski napadni ugao} \\ \alpha_1 &= \alpha_{1g} + (90 - \varphi) & \alpha_e, \alpha_{1e} &- \text{efektivni napadni ugao, ugao} \\ & & & \text{između rezne ivice i pra-} \\ & & & \text{vca kretanja alata} \end{aligned}$$

Pri porastu ugla  $\varphi$  za  $\Delta\varphi$  ugao  $\alpha$  ima isti priraštaj za koliko ugao  $\alpha_1$  opada. Vrednosti napadnih uglova  $\alpha$  i  $\alpha_1$  imaju realne vrednosti od veličina  $\alpha = 0$  i  $\alpha_1 = 0$ .

Naime, u slučaju da je  $\varphi = 0$  tada bi bilo  $\alpha < 0$ . Ugao  $\alpha_{1g}$  mora da je veći od 0 jer se u procesu rezanja smanjuje pa bi za  $\varphi > 90$  bilo  $\alpha_1 < 0$ . Zavisno od definisanja geometrije vrha noža (ugao  $\epsilon$ ) i geometrijskih, osnovnih napadnih uglova može se definisati vrednost  $\varphi_{\max}$  za koje je  $\alpha_{1e}$  jednako nuli i posle čega je  $\alpha_{1e}$  manje od nule. Taj položaj nastaje kada je pomoćna rezna ivica tangenta na krug na delu BC a za vrednost  $\varphi = 90 + \alpha_{1g}$ .

Takvo stanje, pored poznatih posledica dovodi do odstupanja od sfere. Vrh pipka kopira kreće se po šablonu a vrh noža kopira deformisanu sferu. Pored problema što se pri smanjenom uglu  $\alpha_1$  na nutu BC dobija neka površina koja nije omotač lopte, na ovom delu OR.03.04.

puta nastaje intenzivno trenje između ledjne površine rezne ivice i predmeta. To trenje dovodi do povišenja temperature vrha noža, smanjuje se tvrdoća reznog dela a time je smanjena otpornost alata na habanje i postojanost. Na slici 3 se vide tragovi intenzivnog habanja ledjne površine pomoćne rezne ivice (sl.3a) i vrha noža (sl.3b) i to naročito sa strane pomoćne rezne ivice. Odstupanje od kalote na delu BC koje nastaje iz spomenutih razloga prouzrokuje još jedan problem. Kugla rukavca se podvrgava postupku gasne cementacije. Dubina cementacionog sloja zavisi od tipa sfernog rukavca. Pri operaciji brušenja kugle da bi se došla tražena tačnost mora se brušenjem ispraviti greška na delu BC a što pored povećanih dodataka za obradu, većeg vremena brušenja, većeg vremena cementacije zbog potrebe veće debljine cementacionog sloja ima za posledicu i neravnomernost debljine cementacionog sloja na gotovom predmetu.



Sl.3 Habanje ledjne površine PRI(a) i vrha noža (b)

Rezultati dosadašnjih istraživanja obavljenih u SSSR-u doveli su do sledeće veze između konstante C i napadnog ugla  $\alpha$  i napadnog ugla pomoćne rezne ivice  $\alpha_1$ .

Iz Tajlorovog izraza  $vT^m=C$  može se derinisati vrednost konstante C u runkciji od pomenutih napadnih uglova za trenutni položaj u obliku:

$$C_{\alpha\alpha_1} = C \cdot K_{\alpha} \cdot K_{\alpha_1} \dots \dots \dots 1$$

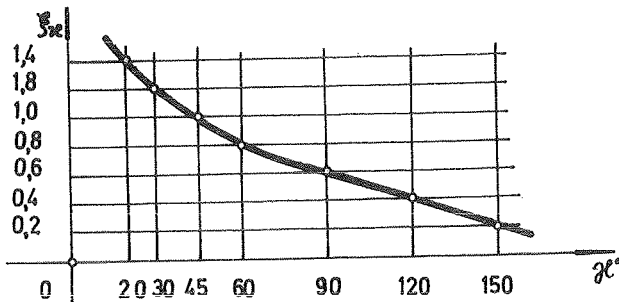
gde je za date uslove C = const.

Iz izraza (1) se vidi da se pri promeni faktora  $K_{\alpha}$  i  $K_{\alpha_1}$  menja  $C_{\alpha\alpha_1}$  pri čemu su:  $K_{\alpha}$  - korekcionni faktor usled promene ugla  $\alpha$  i  $K_{\alpha_1}$  - korekcionni faktor usled promene ugla  $\alpha_1$ .

Pri rezanju legiranog konstrukcionog čelika (materijal sfernog rukavca) sa nožem sa pločicom od tvrdog metala na bazi WC sa dodatkom TiC i  $C_0$ , sa hladjenjem vrednost korekcionnog faktora se deriniše:

$$K_{\alpha} = \left(\frac{45}{\alpha}\right)^{0,3} \dots \dots \dots 2$$

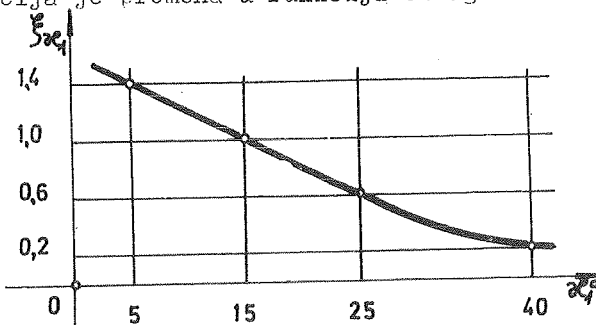
Na slici 4 data je zavisnost korekcionnog faktora  $K_{\alpha}$  u zavisnosti od ugla  $\alpha$ .



Sl.4 Promena korekci-  
onog faktora  $K_{\alpha}$   
u zavisnosti od  
napadnog ugla  $\alpha$

Fri rezanju istog materijala pomenutim alatom uticaj napadnog ugla pomoćne rezne ivice na vrednost konstante C definiše se preko korekcionog faktora  $K_{\alpha} = \left(\frac{15}{\alpha}\right)^{0.09}$  .....

čija je promena u funkciji od ugla  $\alpha$  data na slici 5.



Sl.5 Promena korekci-  
onog faktora  $K_{\alpha_1}$   
u zavisnosti od na-  
padnog ugla  $\alpha_1$

4. Promena otpora rezanja u zavisnosti od promene napadnog ugla i posmaka s izražena u funkciji ugla položaja

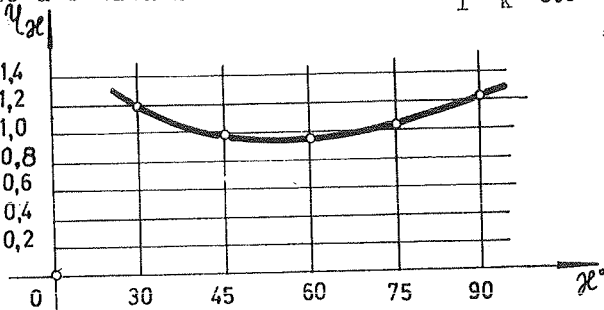
Promenom vrednosti napadnog ugla stalno se menja specifično opterećenje rezne ivice noža i veličina otpora rezanja zbog promene odnosa veličina koje definišu presek strugotine.

Izraz za glavni otpor rezanja  $F_1$  se definiše u obliku

$$F_1 = C_k \cdot d^{x_1} \cdot s^{y_1}$$

Zbog promene napadnog ugla vrednost otpora rezanja  $F_1$  se definiše u obliku izraza

$$F_1 = C_k \cdot K_{\alpha} \cdot d^{x_1} \cdot s^{y_1}$$



gde je  $K_{\alpha}$  korekcionni faktor koji obuhvata promenu otpora rezanja  $F_1$  u zavisnosti od napadnog ugla  $\alpha$  (Sl.6)



Ako sa  $C_{k_{\alpha}}$  obeležimo veličinu  $C_k$  za ugao dobija se izraz

$$C_{k_{\alpha}} = C_k \cdot \gamma_{\alpha}$$

Na isti način definiše se i promena otpora  $F_2$  i  $F_3$  u zavisnosti od ugla  $\alpha$  sa napomenom da

	$\alpha^{\circ}$	$(F_2)$	$(F_3)$
korekcionni faktori ( $F_2$ ) i	30	1,63	0,7
( $F_3$ ) menjaju se prema pri-	45	1,00	1,0
loženoj tabeli.	60	0,71	1,27
	75	0,54	1,51
	90	0,44	1,8

Medjutim pri rezanju sferne površine menja se i posmak u zavisnosti od ugla položaja  $s = s' \cdot \sin \varphi$ . Pri rezanju vrh noža kreće se po luku  $R \cdot \varphi$  za to vreme nosač alata se kreće pravoliniski za veličinu programiranog posmaka  $s'$ . Na slici 7 se vidi kako se povećava hrapavost obradjene površine u zavisnosti od promene ugla položaja.

Sl. 7 Povećanje hrapavosti prouzrokovano promenom ugla položaja  $\varphi$



Zbog promene posmaka u zavisnosti od položaja vrna noža u izraz za otpor rezanja uvodi se novi korekcionni faktor pa izraz za otpor rezanja glasi

$$F_1 = C_k \cdot d^{\alpha_1} \cdot s^{\alpha_2} \cdot \gamma_{\alpha} \cdot \gamma_{\varphi} \dots \dots \dots \cdot \gamma_4$$

gde je  $\gamma_{\varphi} = (\sin \varphi)^{\alpha_3}$

Za otpore rezanja  $F_2$  i  $F_3$  se na isti način uvode odgovarajući korekcionni faktori.

### 5. Proračun ekonomične brzine rezanja

Pri radu na programskim mašinama na kojima se vrši obrada sfernih rukavaca mora se težiti ka maksimalnom vremenskom iskorišćenju mašine. Zbog velike cene koštanja koje se kreću oko 600 hiljada novih dinara logično je da je svaki zastoj veliki i nepoželjan gubitak. Iz tog razloga potrebno je raditi sa ekonomičnom brzinom rezanja koja se dobija ako se u izraz za brzinu rezanja uvrsti vrednost ekonomične postojanosti  $T_e$ .

Ekonomična postojanost  $T_e$  nastala iz uslova da se obrada vrši sa minimalnim troškovima i njena vrednost je:

$$T_e = \frac{1-m}{m} \cdot \frac{nK_1 t_1 + K_2 t_2 + \frac{C_a}{1+1}}{nK_1 + \frac{C_m \cdot p}{F \cdot \gamma \cdot 100 \cdot 60}},$$

gde su: m - faktor zavistan od vrste materijala,  $K_1, K_2, K_3$  - lični dohoci proizvodnog radnika, oštrača i brigadira izraženi u dinarima po minuti u bruto iznosu,  $t_1$  - vreme koje se troši na skidanje zatupljenog i nameštanje oštrog alata,  $t_2$  - vreme oštrenja alata u minutima, n - koeficijent koji obuhvata uticaj ličnog dohotka brigadira ili reglera na troškove obrade jedne operacije

$$n = 1 + \frac{K_3 \cdot 1}{K_1 \cdot N},$$

N - broj mašina koje opslužuje jedan brigadir,  $C_a$ , i-vrednost alata izražena u dinarima i mogući broj oštrenja,  $C_m$ , p - vrednost mašine izražena u dinarima i procentna amortizaciona stopa,  $F, \gamma$  - godišnji fond časova mašine i vremenski stepen iskorišćenja,  $\gamma = \gamma_{max}$

Ako se u prošireni izraz za brzinu rezanja zamene vrednosti korekcionih faktora  $K_{3e}$  i  $K_{3e1}$ , koje su analizirane u prethodnom poglavlju i ako se izvrši zamena vrednosti stvarnog posmaka zavisnog od ugla položaja  $\psi$  dobiće se izraz:

$$v = \frac{C_v}{K_1 \cdot K_2 \dots K_{i-3} \cdot K_{3e} \cdot K_{3e1} \cdot K_p \dots \dots 5}$$

gde je  $K_{3e} = \sin^{\psi} \psi$  korekcionni faktor usled promene ugla  $\psi$  koji proizvodi promenu posmaka kako je to objašnjeno ranije.

Krajnji izraz za brzinu rezanja pri obradi sferne površine definisan je u obliku:

$$v = K \left(\frac{45}{32}\right)^{0.3} \left(\frac{15}{32}\right)^{0.09} \cdot \sin^{\psi} \psi \dots \dots 6$$

gde veličina K obuhvata sve konstantne vrednosti iz izraza (5).

Pošto se brzina rezanja v menja u dijapazonu  $\psi = \psi_1$  i  $\psi = \psi_2$  to se mora naći srednja brzina rezanja  $v_m$ ,

$$v_m = \frac{K \int_{\psi_1}^{\psi_2} \left(\frac{45}{32}\right)^{0.3} \left(\frac{15}{32}\right)^{0.09} \cdot \sin^{\psi} \psi \cdot d\psi}{\int_{\psi_1}^{\psi_2} d\psi} \dots \dots 7$$

Ovaj izraz se može uspešno aproksimirati sa izrazom za aritmetičku sredinu pet položaja vrha noža, dva srednja i tri ekstremna,

$$v_m = \frac{K \sum_{i=1}^5 \left(\frac{45}{32}\right)^{0.3} \left(\frac{15}{32}\right)^{0.09} \cdot \sin^{\psi_i} \psi_i}{5} \dots \dots 8$$

Kako se prečnik obrade menja sa promenom ugla  $\psi$  to je

$$D_{ob} = 2R / \sin^{\psi-1} \psi, \text{ tj. broj obrta } n \text{ se nalazi iz izraza}$$

$$n_m = \frac{1000 v_m \sin^{\psi-1} \psi}{\pi \cdot 2R}$$

Zamenom vrednosti  $V_m$  iz izraza (7) dobija se konačni izraz za srednji broj obrta

$$n_m = \frac{1000}{2 R \bar{a}} K \frac{\sum_{i=1}^{i=5} \left(\frac{45}{2\bar{a}}\right)^{0,3} \cdot \left(\frac{15}{2\bar{a}}\right)^{0,09} \cdot \sin \varphi_i^{y-1}}{5}$$

## 6. Zaključci

Izložena razmatranja uticaja napadnih uglova i koraka na ekonomičnu brzinu rezanja i broja obrta pri obradi sfere navode na sledeće zaključke:

(i) Složenost uslova pod kojima rezni deo alata vrši rezanje pri obradi sfere zahteva, naročito pri korišćenju programskih mašina visoke cene koštanja, pažljivu analizu izbora optimalnih režima rezanja.

(ii) Kako se pri obradi sfere (BC) javlja intenzivno habanje pomoćne rezne ivice što ima za posledicu izrazito nepovoljne uslove rezanja to se jedno od mogućih rešenja nalazi u uvodjenju dodatnog profilnog prizmatičnog noža koji bi vršio poprečnu obradu. Primena ovoga rešenja čini se naročito neophodno pri obradi sfera većeg prečnika.

(iii) Obrada sfera (sfernih rukavaca) manjeg prečnika moguća je, međjutim, i korišćenjem jedne vrste obrade deformacijom (hladno sabijanje). Međjutim pri donošenju odluke o napuštanju postupka obrade sfere rezanjem na programskim mašinama neophodno je na sistematski način uporediti postojeći i novi postupak i to posebno sa gledišta troškova obrade i proizvodnje u celini.

Autor se nada da će u periodu koji sledi biti u mogućnosti da iznese i rezultate sistematskih ispitivanja ove vrste.

## 7. Literatura

1. Spravočnik mašinstroitelja, tom 5, knjiga II, (1964) str. 481.
2. P. Stanković, Mašinska obrada, I knjiga, Gradjevinska knjiga, Bg. (1965) str. 61.
3. B. Ivković, Alati u obradi metala glodanjem, Tehnička knjiga, Bg. (1967) str. 66.
4. Weller F.J. Gowanlock Thomas W., Selection of singlepoint tools for contour turning. Mach. and Product. Eugug (1969), 114 (654)
5. Sauer L., Draghici G., Die aequivalente Drehzahl und Standzeit der Werkzeugs beim Drehen mit wechselnder Beanspruchung.

Werkstattstechnik (1969) br. 2. str. 69.

Z. Nikić

Problem of Sphere Machining by Program Tool Machines

When machining spheric surfaces by cutting there appears a problem of magnitude of accessory motion change and side cutting edge angles and

As a result of this phenomenon there appears a change of wear intensity in the course of cutting, what greatly hinders choice of economic velocity by cutting i.e. keeping economic tool life.

In this paper the author tries to point at the possible solutions and gives an analysis of sphere machining problem.

S. Margić<sup>+</sup>

OKSIDNO KERAMIČKE REZNE PLOČICE<sup>++</sup>

Kratki pregled rezultata jednog naučnoistraživačkog rada s područja primjene keramičkih reznih pločica

Uvod

U našoj zemlji upoznati smo s keramičkim reznim alatom od početka njegove pojave na tržištu, a u posljednjih 10 godina vršena su i povremena ispitivanja tog alata u našim industrijskim poduzećima. Međutim, pored svih pohvala i preporuka u našoj i stranoj stručnoj literaturi u našoj industriji se ne koriste keramičke rezne pločice.

Upravo taj raskorak između literature i primjene keramičkih reznih pločica u našoj industriji posebno me je zainteresirao i to iz dva razloga:

1. Primjenom keramičkih reznih pločica povisiti produktivnost obrade i time smanjiti troškove proizvodnje.
2. Osnovni sastav čistih oksidnih keramičkih pločica čini aluminijski oksid (98,5...99,8 %  $Al_2O_3$ ). S obzirom da je naša zemlja bogata kvalitetnom aluminijском rudačom (boksitom), to se je pokazala mogućnost da vlastitom proizvodnjom novog reznog alata zamijenimo uvoz skupih metala kao W, Ti, Ta čiji karbidi čine 80...95 % sastava tvrdog metala.

Da bi se dobio vjerodostojan odgovor na prednja pitanja i da bi naša industrija dobila što tačnije informacije o tom alatu, izvršen je opsežan naučnoistraživački rad na tom području. Ovdje je iznesen samo jedan mali dio rezultata tog istraživačkog rada.

1. Rezultati ispitivanja na probnim valjcima
- 1.1 Skraćeni postupci za određivanje kvalitete keramičkih reznih pločica

Institut za ispitivanje strojeva i obrade u Pragu (VUOSO) razradio je skraćene postupke za utvrđivanje kvalitete

---

+ Slavko Margić, dipl.inž.stroj., izv.prof.Strojarskog fakulteta u Rijeci

++ Autor je više godina radio na naučnoistraživačkom radu s područja primjene keramičkih rez. pločica. Po tom zadatku boravio je više mjeseci u Institutima NRP i ČSSR i najveći dio laboratorijskih ispitivanja obavio je u ČSSR. Pod gornjim naslovom izradio je svoj vrlo opsežan habilitacioni rad

pločice. Prema spomenutom prijedlogu ispitivanja se sastoje u slijedećem:

### 1. Ispitivanje rezne sposobnosti pločice

Kod režima rada  $v = 400$  m/min,  $s = 0,2$  mm/okr,  $a = 2$  mm i kutevima  $\alpha = 6^\circ$ ,  $\gamma = -6^\circ$ ,  $\lambda = 4^\circ$  i  $\chi = 60^\circ$  smije kod obrade čelika Č.0645 nakon  $T = 5$  min + (4x5 sek) = 6 min širina pojasa habanja ledne površine oštrice iznositi najviše  $a_h = 0,15$  mm, a dubina kratera na grudnoj površini  $h = 0,02$  mm.

### 2. Ispitivanje izdržljivosti pločice na naprezanje

Kod režima rada  $v = 140$  m/min,  $s = 0,5$  mm/okr,  $a = 5$  mm, materijal i kutovi alata kao naprijed, mora oštrica alata izdržati  $T = 3$  min, a da ne dođe do njenog loma.

Prema iznesenim uputstvima izvršena su ispitivanja i dobiveni su rezultati:

#### 1.1.1 Rezultati ispitivanja rezne sposobnosti keramičkih pločica

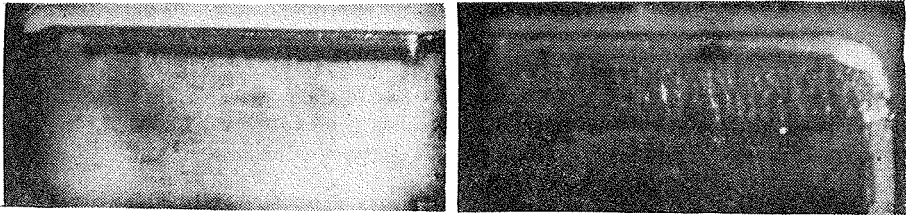
Tabela 1

Oznaka pločice	Dobiveni rezultati		Primjedba
	$a_h$ [mm]	$h$ [mm]	
SL 1.5.2	0,13	ispod 0,01	Pločica zadovoljila, vidi sliku 1
SL 1.8.1	0,22	-	Pločica nije zadovoljila. Obradena površina loša
T2.11.5	-	-	Nakon 34 s rad prekinut radi jake trešnje stroja
T2.11.6	0,20	-	Pločica nije zadovoljila uslov $a_h < 0,15$ mm, ali je obradena površina nakon završenog ispitivanja bila dobra. Rad stroja miran.
Cerog Cl.5	0,42	-	Pločica nije zadovoljila. Obradena površina loša.
Pirokor LC 96.1.7	0,17	-	Obradena površina dobra. Stroj je radio mirno

Napomena: Dubina kratera  $h$  na grudnoj površini noža bila je toliko mala da se radioničkim mikroskopom Carl Zeiss-Jena, čija najmanja mjerna vrijednost dosiže 0,01 mm, nije mogla izmjeriti.

Na temelju gornjih rezultata samo je pločica SL 1.5.2 ispunila uslov. S obzirom na dobivenu površinu obrade i miran rad stroja treba usvojiti da je i pločica Pirokor LC 96.1.7 is-

punila uslov. Ostale pločice nisu ispunile postavljene uslove.



Sl.1 - Istrošenje ledne i grudne površine oštrice pločice SL1.5.2 nakon ispitivanja  $T = 5 \text{ min} + 4 \times 15 \text{ sek}$ . Povećanje 20x. Pločica je zadovoljila postavljene uslove.

1.1.2 Rezultati ispitivanja izdržljivosti pločica na naprezanje

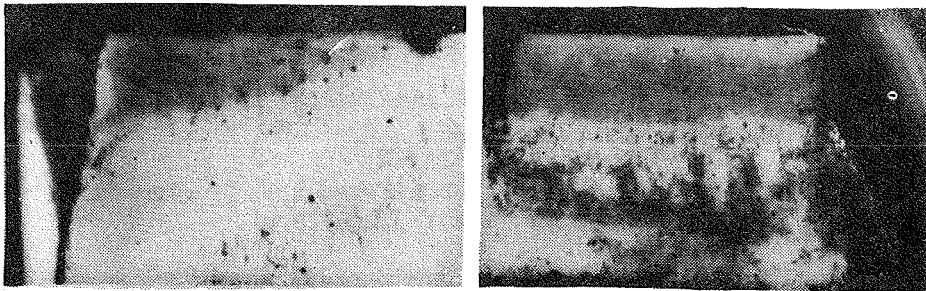
Prema postavljenim uslovima ispitane su pločice SL1.2.2, Pirokor LC 96.1.1 i T2.13.1.

Pločice SL 1.2.2 i Pirokor LC 96.1.1 izdržale su vrlo dobro. Na oštricama koje su bile u radu nisu zapažena nikakva oštećenja. Pločica T2.13.1 nije izdržala ovo ispitivanje. Nakon  $T = 1 \text{ min} + 13 \text{ s}$  oštrica je puknula.

Nakon ispitivanja izdržljivosti pločice na naprezanje može se utvrditi slijedeće:

Bez obzira što su neke pločice ispunile postavljene uslove one nisu sposobne za dulji rad pod takvim uvjetima.

Opisana obrada spada u područje grube obrade s površinom presjeka strugotine  $s \cdot a = 2,5 \text{ mm}^2$ , a to su presjeci na granici mogućnosti keramičkih pločica. Osim toga je zbog negativnog kuta  $\gamma$  i male brzine rezanja  $v = 140 \text{ m/min}$  znatno porasla sila rezanja i time uticala na pojačanu trešnju stroja.



Sl.2 - Izgled ledne i grudne površine oštrice na pločici T2.13.1 nakon  $T = 1 \text{ min} + 13 \text{ sek}$ . Povećanje 20x. Pločica nije zadovoljila postavljene uslove

1.2 Skidanje vanjske površine na valjcima od čelika i sivog lijeva

1.2.1 Skidanje vanjske površine na čeličnim valjcima

Ispitivanje je vršeno tokom obrade triju čeličnih

valjaka  $\varnothing$  180x900 mm od materijala ČSN 12060.1 ( $\approx$  Č.0645) i dvaju valjaka od materijala ČSN 11370 ( $\approx$  Č.0345). Kod svih valjaka je zapaženo da u kori imaju veće količine pijeska i drugih uključaka nejednake tvrdoće. Ispitivanje je vršeno na tokarilici TOS-SU 63 alatom s keramičkim reznim pločicama T2 i kutevima alata  $\alpha = 5^\circ$ ,  $\beta = -5^\circ$ ,  $\lambda = -4^\circ$ ,  $\beta_1 = 45^\circ$ ,  $\epsilon = 90^\circ$  i pločicama SL 1 i Cerog s kutevima alata  $\alpha = 6^\circ$ ,  $\beta = -6^\circ$ ,  $\lambda = -4^\circ$ ,  $\beta_1 = 60^\circ$  i  $\epsilon = 90^\circ$ .

Ispitivanje keramičkih pločica izvršeno je kod različitih režima rada, a postignuti rezultati pokazani su u tabelama 2 i 3.

Tabela 2

Postojanost keramičkih pločica kod obrade vanjske površine na materijalu ČSN 12060.1

Oznaka pločice	Režim rada	Postojanost alata T [min]
T2.101.6	v = 140 m/min s = 0,219 mm/okr. a = 5 mm	Oštrica pukla nakon 5 s
T2.105.2	v = 140 m/min s = 0,219 mm/okr. a = 3 mm	Izdržala 5,3 min ali je obrađena površina vrlo loša
T2.105.3		Izdržala 2,5 min ali je obrađena površina vrlo loša
T2.105.5 SL 1.3.1	v = 155 m/min s = 0,281 mm/okr. a = 5 mm	Izdržala oko 5 min ali je obrađena površina samo u početnom dijelu bila dobra, a kasnije loša s mnogo risa i "zamašćenom površinom"
Nekoliko oštrica ispitano je kod v = 155 m/min, s = 0,219 mm/okr, a = 5 mm, ali ni jedna nije izdržala dulje od 5 min.		

Tabela 3

Postojanost keramičkih pločica kod obrade vanjske površine na materijalu ČSN 11370

Oznaka pločice	Režim rada	Postojanost alata T [min]
SL 1.3.7	v = 155 m/min s = 0,219 mm/okr. a = 5 mm	Oštrica pukla nakon 5 s
C2.1		Oštrica pukla nakon 5 min

Kod svih pločica je ustanovljeno da odlazeća spiralna strugotina vrlo naglo izjeda rezni brid izvan zone rezanja i često upropasti rezni brid suprotne oštrice.



Na temelju prednjih ispitivanja može se zaključiti da keramičke rezne pločice nisu sposobne za skidanje tvrde pjeskovite kore na čeličnim komadima.

### 1.2.2 Skidanje vanjske pjeskovite površine s valjaka od sivog lijeva

Ispitivanje je izvršeno prilikom obrade dvaju probnih valjaka od sivog lijeva kvalitete Meehanite GC, dimenzije  $\varnothing$  201...205 mm x 700 mm.

Prilikom obrade valjaka jasno je uočeno da je površina kore do visine oko 160 mm, mjereno od kraja koji je kod lijevanja valjaka u vertikalnom položaju bio okrenut prema dolje, prekrivena naslagom zapečenog pijeska, a iznad te visine pijesak se ne može zapaziti. Izmjerena tvrdoća materijala u toj zoni iznosila je HB = 203...228 kp/mm<sup>2</sup>.

Ispitivanje obrade započeto je upravo na pjeskovitoj strani valjaka, a dobiveni rezultati pokazani su u tabeli 4.

Tabela 4

Postojanost keramičkih reznih pločica kod obrade vanjske pjeskovite površine na sivom lijevu Meehanite GC

Oznaka pločice	Režim rada	Postojanost alata T [min]
SL1.21.1	v = 150 m/min s = 0,2 mm/okr. a = 3...5 mm	U svim slučajevima ispitivana oštrica je pukla u roku par sekundi
SL1.21.2	v i s isto a = 1...3 mm	
SL1.21.3	v = 106 m/min s = 0,2 mm/okr. a = 3...5 mm	
SL1.21.4	v = 76 m/min s = 0,2 mm/okr. a = 3...5 mm	
Isti neuspjeh ponovio se je kod obrade pjeskovite zone na drugom valjku s tim da su polomljene oštrice SL1.23.1 i SL1.23.2		

### 1.3 Postojanost alata s keramičkim reznim pločicama i hrapavost obrađene površine kod obrade čelika i sivog lijeva nakon skinute vanjske površine

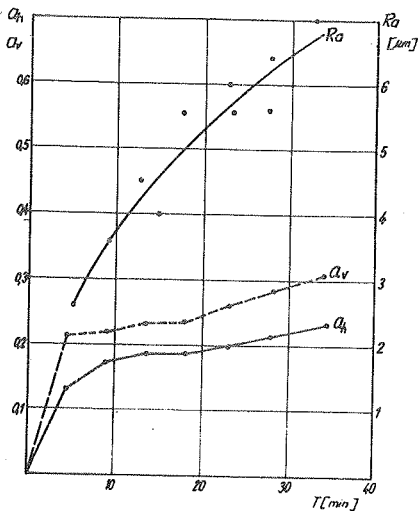
#### 1.3.1 Usvojeni kriteriji za mjerenje postojanosti alata

Na temelju vlastitog iskustva i analize rezultata u ovome radu je postojanost alata s keramičkim reznim pločicama kod obrade čelika određena na temelju kriterija habanja ledne površine oštrice alata, a kod obrade sivog lijeva na temelju najveće dozvoljene hrapavosti obrađene površine za odgovarajuću vrst obrade. Smatram da je za keramičke rezne pločice, pogotovo kod polugrube obrade, kriterij na osnovu Ra realniji jer se pločice na taj način iskoriste do krajnje mogućnosti i poslije odbacuju.

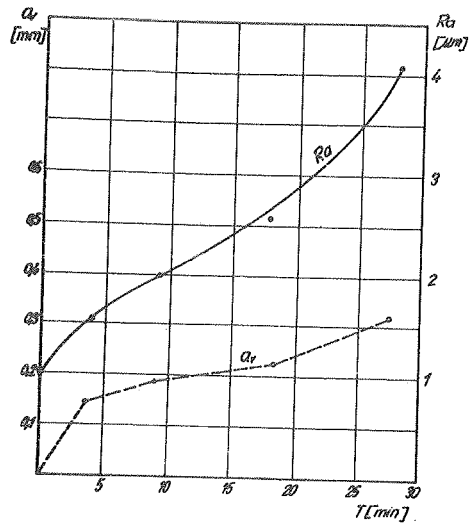
To ne vrijedi kod alata koji se nakon zatupljenja ponovno oštiri jer se tamo mora voditi računa o maksimalnoj širini pojasa habanja koja još dozvoljava ekonomično brušenje.

Ispitivanja kod polugrube obrade čelika izvršena su kod brzina  $v = 150, 200, 250, 350$  i  $450$  m/min uz posmak  $s = 0,219$  mm/okr. i dubinu rezanja  $a = 2$  mm i kod fine obrade  $v = 150, 250$  i  $400$ , posmak  $s = 0,05$  mm/okr, dubina reza  $a = 0,3$  mm, odnosno kod  $v = 200, 320, 360$  i  $425$  m/min, posmak  $s = 0,109$  mm/okr, i dubina  $a = 0,3$  mm.

Kod polugrube obrade sivog lijeva ispitivanje je izvršeno kod  $v = 150, 250, 350$  i  $400$  m/min uz posmak  $s = 0,2$  mm/okr. i dubini  $a = 2$  mm, a fina obrada kod  $v = 200, 250, 300, 400$  i  $500$  m/min uz  $s = 0,05$  mm/okr. i dubini  $a = 0,3$  mm. Osim toga su radi uspoređivanja postojanost alata s keramičkim reznim pločicama i alatom s pločicama od tvrdog metala snimljena još 7 dijagrama kod istih uslova rada kao i kod keramičkih pločica i dobiveni rezultati uneseni su u iste dijagrame. Radi ograničenja u prostoru ovdje je pokazano samo 5 dijagrama iz ove serije.



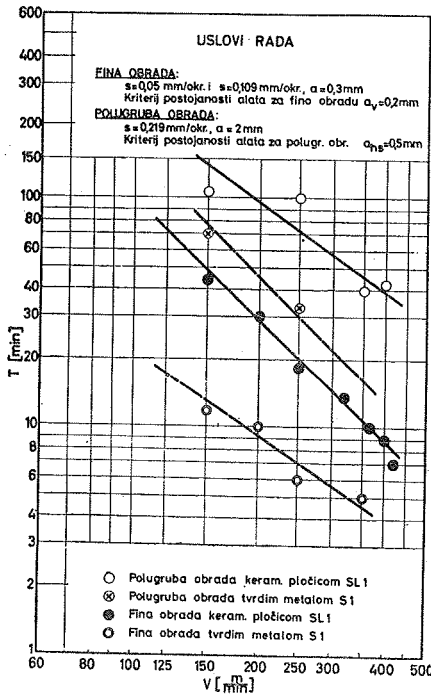
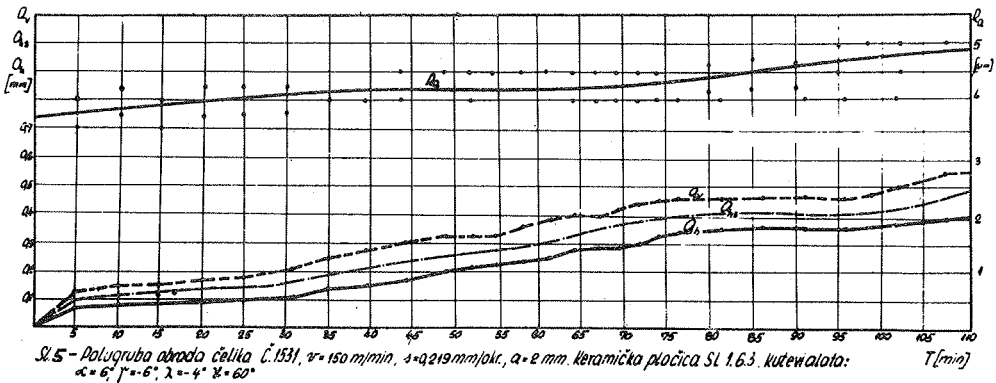
S3- Polugruba obrada sivog lijeva  $v = 400$  m/min  
 $s = 0,2$  mm/okr,  $a = 2$  mm Keramička pločica S1187  
 Kuteni alati  $d = 6; 8; 10; 12; 14; 16$



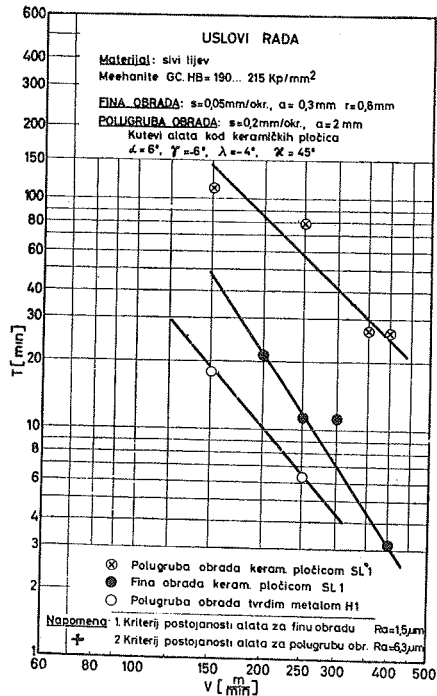
S4- Fina obrada sivog lijeva  $v = 400$  m/min  
 $s = 0,05$  mm/okr,  $a = 0,3$  mm Keramička pločica  
 S1187.  $r = 0,9$  mm. Kuteni alati  $d = 6; 8; 10; 12; 14; 16$

## 2. Rezultati ispitivanja na praktičnim primjerima

Tokom ovih ispitivanja vršena je obrada keramičkim reznim pločicama na velikom broju izradaka iz redovite proizvodnje nekih riječkih tvornica. Upravo su ovi praktični primjeri potvrdili da postoji, ali usko područje na kojem se keramičke rezne pločice mogu uspješno upotrijebiti, a daleko šire područje na kojem one daju vrlo slabe rezultate.

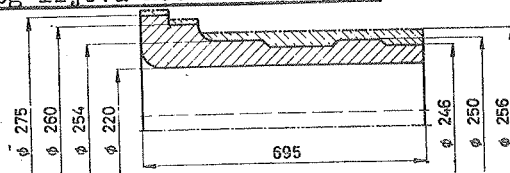


Sl.6 - T-v dijagram za finu i polugrubu obradu čelika keramičkim reznim pločicama SL 1 i tvrdim metalom S1



Sl.7 - T-v dijagram za finu i polugrubu obradu sivog lijeva keramičkim reznim pločicama SL 1 i polugruba obrada tvrdim metalom H1.

2.1 Završna obrada vanjskog oblika cilindarske košuljice motora od sivog lijeva Meehanite tip GB.

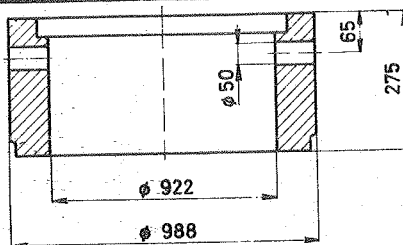


Sl. 8 - Košuljica cilindra

Košuljica je u prijašnjim operacijama obrađena na označene vanjske mjere i termičkom obradom normalizirana i dovedena na tvrdoću  $HB = 220 \text{ kp/mm}^2$ . Nakon toga dolazi na ovdje opisanu završnu obradu vanjskog promjera tokarenjem.

Ispitivanje je započeto keramičkom pločicom SH.11.1 s kutevima alata  $\alpha = 6^\circ$ ,  $\gamma = -6^\circ$ ,  $\lambda = -4^\circ$ ,  $\kappa = 60^\circ$  i režimom rada  $n = 377 \text{ okr/min}$ ,  $v \approx 300 \text{ m/min}$ ,  $s = 0,15 \text{ mm/okr}$ ,  $a = 1...5 \text{ mm}$ . Svaka pločica izdržala je 8...10 kom. To je provjereno daljnjim ispitivanjima upotrebom oštrica 2, 3 i 4 iste pločice. Vrijeme izrade na ovoj operaciji prema prijašnjem radu s tvrdim metalom smanjeno je za 44 %.

2.2 Obrada unutarnjeg i vanjskog promjera na međuprstenu od čelika Č.0450



Sl. 9 - Čelični međuprsten

Zbog dvije rupe  $\phi 50 \text{ mm}$  koje se nalaze jedna nasuprot druge na udaljenosti 65 mm od čela prstena nije bilo moguće obraditi unutarnji i vanjski promjer keramičkim pločicama. Čim se je obradom došlo u područje rupa pločica je pukla ili je jako oštećena te je hrapavost obrađene površine toliko porasla da je obrada morala biti prekinuta. Prilikom ispitivanja upotrijebljene su pločice dviju kvaliteta i dva razna nosača alata s kutevima  $\alpha = +5^\circ$ ,  $\gamma = -5^\circ$ ,  $\lambda = -4^\circ$ ,  $\kappa = 45^\circ$  odnosno  $\gamma = -6^\circ$ ,  $\alpha = 6^\circ$ ,  $\lambda = -4^\circ$ ,  $\kappa = 60^\circ$ . Pokus je vršen kod raznih brzina rezanja u području 120...200 m/min i posmaka  $s = 0,34...0,5 \text{ mm/okr}$ .

+ Prema JUS M.A0.065 i JUS M.A1.021 ranija oznaka za oznaku obrade sa 2 trokuta približno odgovara 10 do 8 klasi kvalitete sa najvećom vrijednosti  $Ra = 1,6...6,3 \text{ }\mu\text{m}$ , a ranija oznaka obrade sa 3 trokuta približno odgovara sadašnjoj 7 i 6 klasi kvalitete sa najvećom vrijednosti hrapavosti  $Ra = 0,8 \text{ }\mu\text{m}$ . Međutim, u našim poduzećima kontrole primaju kao finu obradu postignutu tokarenjem do  $Ra = 1,5 \text{ }\mu\text{m}$ .

### 2.3. Obrada vanjskih promjera na prstenu od čelika Č.1530.54

Kod ispitivanja obrade na ovom prstenu upotrebljena je pločica trokutastog oblika kvalitete SL1 sa kutovima  $\alpha = 6^\circ$ ,  $\gamma = -6^\circ$ ,  $\lambda = -4^\circ$ ,  $\beta = 90^\circ$ , a režim obrade kod prvog ispitivanja bio je  $v = 135$  m/min,  $s = 0,1$  mm/okr.

Kod ovih uslova rada stroj je tresao, a nastao srh nakon tokarenja  $\varnothing 26$  mm bio je visok oko 8 mm. Nakon



Sl.10 - Čelični prsten sa srhom

3...4 pokušaja smanjena je brzina rezanja  $v = 104$  m/min. Međutim i pri ovim uslovima nastao je veliki vijenac od srha i obrađena površina bila je vrlo gruba. Osim toga pojedina oštrica trokutaste keramičke pločice izdržala je 8...10 izradaka, dok je oštrica od tvrdog metala izdržala 200...300 izradaka između dva brušenja.

Keramičke pločice namještene s pozitivnim kutom  $\gamma$  sigurno bi dale bolje rezultate, ali držača pločica s pozitivnim kutom  $\gamma$  i  $\beta = 90^\circ$  u proizvodnim programima glavnih evropskih proizvođača keramičkih pločica nema.

#### Z A K L J U Č A K

Na temelju izvršenih laboratorijskih ispitivanja na probnim valjcima i praktičnih ispitivanja u proizvodnji donosi se slijedeći zaključak:

Oksidno keramičke rezne pločice nisu ispunile nade koje su se od njih očekivale prije 10...15 godina.

Ovim alatom postignuti su vrlo dobri rezultati u području fine i polugrube obrade kod neisprekidanog reza na izracima kod kojih je vanjska površina prethodno skinuta, a obrada se obavlja na snažnim alatnim strojevima bez vibracija u cijelom sistemu stroj-alat-izradak. Takvi uslovi ostvareni su redovito samo kod laboratorijskih ispitivanja na posebno odabranim strojevima i na probnim valjcima čije su dimenzije obično  $\varnothing 160$ ...200 mm i duljine 800...1000 mm, a skidanje vanjske površine ne uključuje se u rezultate. Kod takvih uslova rada keramičke pločice kod svih režima obrade nadmašuju tvrdi metal.

Vlastita ispitivanja su pokazala da se i pri takvim laboratorijskim uslovima rada ne može postići ekonomična obrada čelika i sivog lijeva kod brzina iznad 400 m/min, kako to često literatura preporuča. Keramičke rezne pločice mogu rezati te materijale brzinama 400...600 m/min, ali se postojanost alata sveđe na nekoliko minuta. Vrlo opsežna autorova ispitivanja su pokazala da se najpovoljniji uslovi za finu obradu kreću u granici  $v = 250$ ...350 m/min,  $s = 0,05$ ...0,1 mm/okr,  $a = 0,3$ ...0,5 mm, a kod polugrube obrade  $v = 150$ ...250 m/min,  $s = 0,2$ ...0,3 mm/okr,  $a = 2$ ...3 mm.

Kod ispitivanja na izracima u proizvodnji moraju se prije spomenute brzine rezanja još smanjiti za 20...30%, ovisno o stanju stroja na kojem se vrši obrada. Ispitivanjima je utvrđeno da se postojanost oštrice u manjuje kratkočom reza, tj. čestim ulaganjem i izlaženjem iz zahvata. U ovoj činjenici nalazi se dio objašnjenja zašto keramičke pločice u praktičnoj primjeni imaju manju postojanost nego kod obrade eksperimentalnih dugačkih valjaka.

Ispitivanja fine obrade čelika kod  $v = 500$  m/min,  $s = 0,05$  mm/okr,  $a = 0,3$  mm dala su vrlo slabe rezultate. Odmah nakon prve minute obrade hrapavost obrađene površine naglo raste od početne veličine  $Ra \approx 1,8 \mu\text{m}$  na  $2,15 \mu\text{m}$  i dalje, da bi nakon 5 min obrade toliko porasla da se to više ne može primati kao fina obrada.

Sva izvršena ispitivanja kod uslova za finu obradu pokazuju da najmanja vrijednost hrapavosti obrađene površine iznosi  $Ra = 1,5 \mu\text{m}$ , dakle u području 8 klase obrade. Vrijednosti  $Ra = 1,5 \mu\text{m}$  dobivene su samo kod uslova  $v = 150...250$  m/min,  $s = 0,05$  mm/okr,  $a = 0,3$  mm i to u toku prvih 10 min obrade.

Kod polugrube obrade čelika brzinom  $v = 400$  m/min temperatura odlazeće strugotine je vrlo visoka i strugotina leti od alata kao vrući projektili i predstavlja opasnost za radnika. U konkretnom slučaju radnik je morao raditi s prozirnom zaštitnom maskom ispred cijelog lica. Podešavanjem položaja lomača strugotine nije se moglo spriječiti izlijetanje strugotine.

Keramičke rezne pločice nisu sposobne za isprekidani rez. Isto tako nisu sposobne za poprečno tokarenje neravnih čeonih površina kod kojih dolazi do većih bočnih udara. Postojanost oštrice jako se smanjuje kod obrade površine s većom promjenom u dubini reza.

Keramičke rezne pločice nisu sposobne za skidanje velikih presjeka strugotine, dakle za grubu obradu. Prema literaturi one se smiju koristiti do presjeka strugotine  $0,5 \times 5 = 2,5$  mm<sup>2</sup> ali su praktična ispitivanja pokazala da je postojanost oštrice kod presjeka strugotine većih od  $1,5$  mm<sup>2</sup> tako kratka da primjena keramičke pločice iz ekonomskih razloga ne dolazi u obzir. U stvari, mala čvrstoća na savijanje - približno 3...4 puta manja od tvrdog metala - je najveći nedostatak keramičkih reznih pločica i uzrok je čestih lomova oštrica.

Keramičke rezne pločice s negativnim prednjim kutom ne preporučuju se za obradu mekih čelika čvrstoće do  $50$  kp/mm<sup>2</sup>, jer se pri takvoj obradi ne dobije čisti rez već stvaranje srha i loša površina obrade. Isto tako negativan prednji kut, zbog većih sila rezanja, izaziva veće vibracije kod obrade tankih čahura, prstenova i sličnih dijelova, te je često obrada takvih izradaka nemoguća negativnim kutom.

Zbog povećanih sila rezanja kod obrade keramičkim pločicama sa negativnim kutom  $\gamma$  vitkost osovine od čelika ne smije

preći  $\frac{l}{a} = 8 \dots 10$  jer kod veće vitkosti dolazi u srednjem dijelu osovine do pojačanih vibracija i hrapavost obrađene površine znatno poraste.

Keramičke pločice mogu se brušenjem leđne površine pripremiti da u odgovarajućem držaču zauzmu pozitivan kut. Praksa je međutim pokazala da su sve oštrice koje su bile izbrušene na  $\beta = 78 \dots 80^\circ$  toliko oslabljene da se postojanost oštrice naglo smanjila. To je razlog da se keramičke pločice s kutom  $\beta < 90^\circ$  vrlo malo proizvode, a mnogi proizvođači takvih pločica nemaju u svojim proizvodnim programima.

Posebni nedostatak za širu primjenu keramičkih pločica je u tome što keramičkih pločica ima u suviše malom asortimanu. Veliki broj operacija u proizvodnji ne može se izvršiti jer ne postoji odgovarajući oblik pločice. Postojeći oblici pločica mogli bi se brušenjem dotjerati na traženi oblik ali to odmah zahtijeva i izradu odgovarajućeg držača alata. Mogućnost okretanja pločice bi otpala, a time primjena keramičke pločice gubi svoje ekonomsko opravdanje.

Keramičke rezne pločice raznih proizvođača pokazuju veliki rastur u postojanosti i samo najkvalitetnije pločice daju rezultate koji se približavaju onima objavljenim u literaturi.

Uzimajući u obzir sva navedena ispitivanja i problematiku u vezi s primjenom keramičkih reznih pločica može se dati konačan zaključak:

Oksidno keramičke rezne pločice mogle bi se kod postupaka tokarenjem uspješno upotrijebiti kod najviše 5% radova i to u području i uslova kako je u ovom zaključnom dijelu navedeno i pri tome bi se moglo očekivati smanjenje tehnološkog vremena obrade za 15...25%. Obzirom da u sadašnjem trenutku naši tehnolozi i radnici ne poznaju dovoljno ovaj alat, moralo bi se u svakom konkretnom slučaju ispitati mogućnost primjene ovog alata i radnicima dati detaljna uputstva za rad. To je izvedivo samo u poduzećima sa serijskom proizvodnjom i razvijenom tehnološkom službom.

Očito je da ovaj zaključak daje nešto oštriju ocjenu za keramičke rezne pločice nego što se općenito nailazi u literaturi. Razlog za slabije rezultate ne leži u tome što bi ovdje opisana ispitivanja bila slabije pripremljena, već u tome što se u literaturi opisana ispitivanja vrše u laboratorijama na odabranim, tačnim i vrlo dobro ukrućenim strojevima bez vibracija u sistemu stroj-izradak-alat, a ekstremno slabi rezultati se ne uključuju u pregled. Zbog toga imamo uvodno iznesenu situaciju da stručna štampa iznosi vrlo dobre postignute rezultate, a u industriji se keramičke rezne pločice vrlo malo upotrebljavaju. Autoru je dobro poznato da se keramičke rezne pločice također vrlo malo koriste u industriji ČSSR i NR Poljske. Nakon 10-godišnjeg ispitivanja i proizvodnje nekoliko vrsta vlastitih keramičkih pločica (ČSSR: KDB8, M5-2, Safir S 25, Safir S 40-NR Poljska:T1,T2)

obje zemlje napustile su vlastitu proizvodnju keramičkih reznih pločica, a njihova primjena u industriji pala je na minimum.

#### L I T E R A T U R A

1. C.Agte: Schneidkeramik, Akademie-Verlag-Berlin 1959
2. J.Buda: Obrábene keramičkými doštičkami SVTL-Bratislava 1959
3. V.Šolaja: Keramički alati, Tehnika br. 7/1957
4. F.Vintner: Obrábene keramičkými destičkami, SNTL;Praha 1962
5. F.Vintner: Opotrebení keramičkových rezných materiálu při soustružení
6. J.Goč: K procesom otupovania keramičnych rezných materiálov Vysokej školy technickej v Košiciach Zv.1-1963
7. P.P.Grudow, M.P.Zyganowa: Keramikbestückte Schneidwerkzeuge B.G.T.V-Leipzig 1954
8. G.Fahlitzsch, D.Semmler: Feindreihen von Stahl mit oxydkeramischen Werkzeugen 1,2 und 3 Teil Degussit-Technische Information Nr 10/66-75, Nr 11/61-75, Nr 12/62-75
9. G.Pahlitzsch, G.Kamiske: Untersuchungen und Vergleich von keramischen Drehwerkzeugen verschiedener Herkunft und Zusammensetzung Werkstatt und Betrieb Heft 9/1960
10. G.Pahlitzsch, G.Kamiske: Über das Verhalten keramischer Werkzeuge beim Drehen, W.u.B. Heft 7/1961
11. G.Pahlitzsch, R.Dornhöfer: Feindreihen mit keramischen Werkzeugen, W.u.B. Heft 2/1963
12. G.Pahlitzsch, R.Dornhöfer: Feindreihen von unlegierten Kohlenstoffstählen mit Keramik- und Hartmetallwerkzeuge, E.u.B. Heft 3/1964
13. W.Dawidl, E.Klingler: Fortschritte beim Drehen mit Aluminiumoxydschneidplatten, W.u.B. Heft 5/1959
14. ....: Čijeli broj časopisa Fertigungstechnik und Betrieb, Heft 7/1964 posvećen je keramičkim pločicama. U ovom broju objavljeno je 19 stručnih članaka raznih autora istočno-evropskih zemalja.
15. S.Margić: Oksidno keramičke rezne pločice, 1969.god.

#### ZUSAMMENFASSUNG

#### Die Metallbearbeitung durch Drehen mittels keramischer Schneideplatten

In seiner umfangreichen Arbeit "Oxydkeramische Schneideplatten" hat der Verfasser über die Ergebnisse wissenschaftlicher Forschungsarbeiten auf dem Gebiete der Bearbeitung von Stahl und Grauguss mittels oxydkeramischer Schneideplatten berichtet.

Die Untersuchungsergebnisse weisen auf eine grosse Anzahl von Schwierigkeiten hin, die sich bei der Bearbeitung mittels keramischer Schneideplatten einstellen. Daraus ergibt sich die Folgerung, dass keramische Schneideplatten nur bei



cca 5% von Dreharbeiten mit Erfolg zu gebrauchen wären, u.zw. auf dem Gebiet und unter den Bedingungen, die im letzten Teil des Berichtes angeführt werden, dabei sei eine Verringerung der technologischen Bearbeitungszeit von 15-25% zu erwarten.

Eine derartige Bewertung der realen Leistungsmöglichkeiten keramischer Schneideplatten weist bedeutende Unterschiede auf in Hinsicht auf eine grosse Anzahl der Bisher erschienenen Arbeiten aus diesem Gebiet. Dadurch stellt diese Arbeit einen bedeutenden Beitrag auf diesem Gebiet dar, der die realen Anwendungsmöglichkeiten dieses Schneidewerkzeugs erkennen lässt.



Ž. Marković<sup>x</sup>

UPOREDNA ANALIZA TROŠKOVA REZNIH ALATA SA MEHANIČKI  
PRIČVRŠĆENIM I ZAVARENIM PLOČICAMA<sup>xx</sup>

1. Uvod

Elektronskom obradom podataka pri definisanju strukture troškova proizvodne operacije u Fabrici automobila utvrđeno je da se po veličini učešća u troškovima obrade, troškovi alata nalaze na drugom mestu ( 20 %-30 % ).Ovako visoko procentualno učešće troškova alata u ukupnim troškovima proizvodne operacije navelo je veliki broj ljudi da razmišlja o načinu i merama za smanjenje tih troškova. Tako tehnolozi nastoje da u proizvodnju uvedu što više alata sa mehanički pričvršćenim pločicama, smatrajući da je to ekonomično, obzirom da ove alate visoko razvijene zemlje upotrebljavaju već desetak godina i da je njihov asortiman rapidno povećan.

U daljem tekstu učinjen je pokušaj da se praktično utvrdi za koliko se smanjuju troškovi proizvodne operacije uvođenjem alata sa mehanički pričvršćenim pločicama.

---

<sup>x</sup> Živadin D. Marković, dipl.ing., Zavodi "Crvena zastava" Kragujevac, saradnik laboratorije za obradu metala i tribologiju Mašinskog fakulteta Odeljenje u Kragujevcu.

<sup>xx</sup> Saopštenje je proizašlo iz rada na projektu za smanjenje troškova proizvodnje u pogonu mehaničke obrade Fabrike automobila Zavoda "Crvena zastava" u saradnji sa Mašinskim fakultetom Odeljenje u Kragujevcu

## 2. Definisanje izraza za proračun troškova reznih alata sa mehanički pričvršćenim i zavarenim pločicama

Okretne pločice se bitno razlikuju od pločica namenjenih za lemljenje jer umesto jedne rezne ivice istovremeno imaju nekoliko reznih ivica. Broj reznih ivica lemljene pločice zavisi od broja mogućih oštrenja a broj reznih ivica okretne pločice zavisi od oblika i ledjnog ugla pločice. Pri prelasku na alate sa pločicama od tvrdog metala koje se mehanički pričvršćuju menja se deo troškova obrade koji se odnosi na rezni alat. Promene se javljaju zbog promena u ceni alata, kao i zbog nestajanja potrebe za oštrenjem.

Uzimajući navedene promene u obzir mogu se izvesti sledeći izrazi za proračun troškova:

$$U_1 = \left( n k_1 t_1 + k_2 t_2 + \frac{C_A}{i+1} \gamma_R + \frac{C_T}{Z_o} + \frac{A_{mo}}{Z_{go}} \right) \frac{1}{Z_p}$$

$$U_2 = \left( n k_1 t_1' + \frac{C_{pl}}{i_1} \gamma_R + \frac{C_{NA}}{i_1 Z_{pl}} \right) \frac{1}{Z_p}$$

Oznake u navedenim izrazima imaju sledeće značenje:

- $U_1$  - troškovi reznog alata sa zavarenom pločicom,
- $U_2$  - troškovi reznog alata sa mehanički pričvršćenom pločicom,
- $n$  - faktor koji uzima u obzir učešće brigadira i reglera u opterećenju proizvodne operacije,
- $k_1$  - lični dohodak proizvodnog radnika u bruto iznosu u din/min,
- $k_2$  - lični dohodak oštrača alata u bruto iznosu u din / min,
- $t_1$  - vreme promene alata u min,
- $t_1'$  - vreme zaokretanja ili okretanja pločice u min,
- $t_2$  - vreme oštrenja alata u min,
- $C_A$  - cena alata u din,
- $i$  - broj mogućih oštrenja alata,
- $C_T$  - cena tocila u din,
- $i_1$  - broj okretnih reznih ivica,

- $\eta_R$  -  $\eta_R = 1,05 - 1,1$ , koeficijent koji uzima u obzir troškove vezane za minimalni stok alata na koji se plaća kamata ( izračunava se prema  $\eta_R = 1 + R f_g k/100$  l2, gde je k-procentna kamatna stopa,  $f_g$  - faktor sigurnosti koji uzima u obzir povećanu potrošnju reznog alata zbog mogućih promena u uslovima eksploatacije i R - rok isporuke alata u mesecima ),
- $Z_o$  - broj naoštrenih alata na jednom tocilu (računa se prema  $Z_o = T'/t_2$ , gde je T'- vremenska ukupna postojanost tocila ili prema  $Z_o = Z_{go}/n_T$ , gde je  $n_T$  - broj potrešenih tocila u toku godine ),
- $Z_{go}$  - broj alata koji se u toku godine naoštiri na mašini ( računava se prema  $Z_{go} = F 60/t_2$ , gde je F - godišnji fond časova mašine i - stepen iskorišćenja mašine ),
- $A_{mo}$  - godišnja amortizacija mašina za oštrenje u din/god,
- $C_{pl}$  - cena pločice u din,
- $C_{NA}$  - cena nosača alata u din,
- $Z_{pl}$  - broj pločica sa kojima se amortizuje jedan držač pločica.

### 3. Primer proračuna

Analizirajući izmene koje je Služba tehnologije Fabrike automobila izvršila, uzeto je nekoliko primera proizvodnih operacija gde su strugarski noževi sa zavarenim pločicama zamenjeni alatima sa mehanički pričvršćenim pločicama. Za ove operacije izvršen je samo proračun troškova reznog alata i to pre i posle usvajanja predloženih izmena. Uporedni pregled troškova po strukturi, dat je u tablici br.1.

Kao što se iz tablice vidi, troškovi reznog alata smanjuju se u proseku od 30 % do 70 %. Rezultati ubedljivo govore o svrsishodnosti ovakve zamene, jer je, kao što se vidi, njen uticaj na troškove alata daleko veći nego što se očekivalo.

Visoko učešće troškova koji se odnose na tocila sa kojima se vrši oštrenje noževa može se objasniti visokom cenom dijamantskih tocila čija vrednost prelazi 6000,00 din po komadu.

## VREDNOSTI U DIN

TABLICA 1

Operacija	$n \cdot k_1 \cdot t_1$	$k_2 \cdot t_2$	$\frac{C_A}{Z \cdot T} \eta_R$	$\frac{C_T}{Z_0}$	$\frac{A m_0}{Z_{g0}}$	$U_1$
	$n \cdot k_1 \cdot t_1'$	$\frac{C_{MA}}{i_1 \cdot Z_{pl}}$	$\frac{C_{pl}}{i_1} \eta_R$			$U_2$
1	0,517	0,854	6,510	3,510°	0,235	0,058
	0,086	1,475	6,540			0,040
2	0,450	0,854	11,400	3,510	0,235	0,149
	0,090	0,555	3,270			0,035
3	0,598	1,220	7,640	5,000	0,350	0,247
	0,149	1,475	6,820			0,141
4	0,550	1,220	8,320	5,000	0,350	0,386
	0,137	1,475	6,540			0,204
5	0,642	1,220	8,320	5,000	0,350	0,388
	0,137	1,475	6,820			0,211
6	0,360	0,854	9,260	3,510	0,235	0,088
	0,090	1,475	6,820			0,052
7	0,284	0,854	1,820	3,510	0,235	0,036
	0,071	1,050	3,700			0,024

Zamenom reznih alata sa zavarenim pločicama alatima sa mehanički pričvršćenim pločicama, treba očekivati još veće ekonomske efekte od prikazanih iz sledećih razloga:

- (i) U proračunu je uzeta ista vrednost za broj uradjenih komada ( $Z_p$ ), mada su ispitivanja pokazala da je taj broj veći kod alata sa mehanički pričvršćenim pločicama.
- (ii) Zbog malog učešća (0,5%–1,8%), pri proračunu nije uzeta u obzir električna energija koju utroše mašine na kojima se vrši oštrenje noževa.

- (iii) Kod alata sa mehanički pričvršćenim pločicama, ne samo da je smanjeno vreme promene alata već je ta promena znatno olakšana i pojednostavljena što smanjuje škart zbog podešavanja noža.
- (iiii) Pored svih navedenih prednosti smanjuje se i pojednostavljuje manipulacija u magacinu alata obzirom da se u jedan isti držač mogu smestiti pločice različite vrste, radijusa i debljine.

Sdruge strane, prikazani rezultati proračuna pokazuju da oštrenju alata treba posvetiti znatno veću pažnju. Izradom tehnološke dokumentacije za oštrenje reznih alata znatno bi se smanjili troškovi proizvodnih operacija kod kojih se još koriste noževi sa pločicama koje su zavarene za držač.

#### 4. Literatura

1. J. Stanić, Uticaj dodatka za oštrenje na ukupnu postojanost i broj oštrenja reznog alata, Saopštenje IAMA, 1 (1966)
2. B. Ivković, S. Smiljanić, Razgraničenje troškova proizvodnje i raspodela prema radu, DIREKTOR, (1970)
3. V. Milačić, V. Šolaja, Ekspresna metoda za određivanje postojanosti strugarskih noževa sa pločicama od tvrdog metala, Saopštenje IAMA, 1 (1966).

Ž. Marković

Parallel Analysis of Cutting Tool Costs with Mechanically Fastened and Welded Carbide Tips

Analysing modifications made by Department of Technology within Car Factory "Crvena Zastava" at Kragujevac, the author has taken several examples of production operations where the turning tools with carbide tips were replaced by tools with mechanically fastened carbide tips. The calculation of cutting tool costs was made

OR.05.05.

for these operations both before and after adoption of recommended modifications.

Results show that the cutting tool costs on an average reduce from 30 % to 70 %.



R.Mitrović, S.Zahar\*

EKSCENTRIČNOST SEČIVA ZUBA GLODALA U ODNOSU NA SOPSTVENU OSU  
ROTACIJE I NJEN UTICAJ NA POSTOJANOST GLODALA\*\*

### 1. Uvod

Moderna serijska i masovna proizvodnja zahtevaju studioznu analizu prisutnosti kako subjektivnih tako i objektivnih faktora, čije dejstvo i te kako utiče na kvalitet i kvantitet proizvodnje. Višegodišnjim radom na obradi glodanjem došlo se do interesantnih zaključaka vezanih za dejstvo nekih uticajnih faktora na postojanost alata. Eksperimentalna ispitivanja podstiču autore članka na analizu uticaja ekscentričnosti sečiva zuba glodala na njegovu postojanost. Naime, jasno je uočljiva neravnomernost amplituda dinamičkih i toplotnih karakteristika pojedinih zuba glodala koje se perijodično pojavljuju za svaki zub, a posle svakog obrtaja radnog vretena. Razlike u amplitudama dinamičkih i toplotnih karakteristika pojedinih zuba glodala posledica su uticaja mnogih subjektivnih i objektivnih faktora koji utiču na ekscentričnost sečiva. Kako su odstojanja od pojedinih sečiva zuba do ose rotacije različita, to će i trajektorije svih sečiva biti različite. Kao posledica nepoklapanja trajektorija svih sečiva javljaju se razlike u presecima strugotine a samim tim i razlike u otporima i temperaturi rezanja.

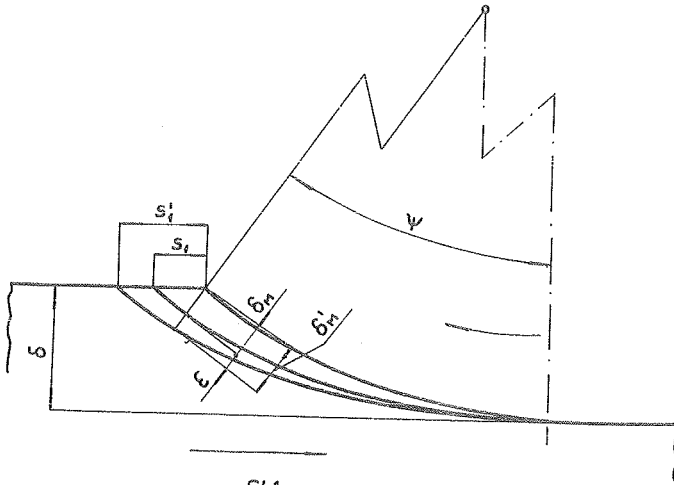
Interesantan je primer, da za jedan slučaj obrade glodanjem pri koraku  $S_1=0,1$  mm/z i pri bacanju od zuba do zuba za  $10 \mu\text{m}$

---

Ratko V.Mitrović, dipl.ing., asistent Mašinskog fakulteta u Beogradu, Odeljenja u Kragujevcu. Svetislav Z.Zahar, dipl.ing., asistent Mašinskog fakulteta u Beogradu, Odeljenja u Kragujevcu.

\*\* Saopštenje bazira na rezultatima dobijenim u Laboratoriji za obradu metala i tribologiju Mašinskog fakulteta Odeljenja u Kragujevcu.

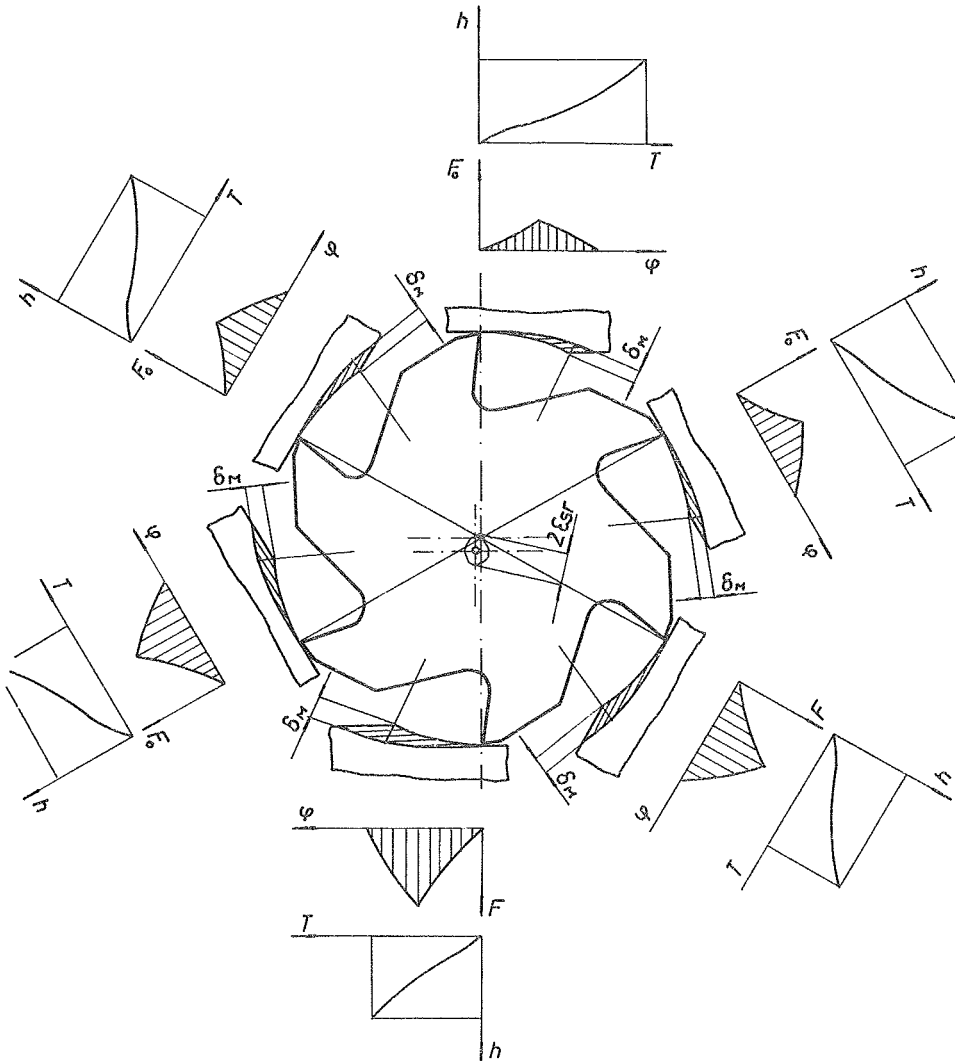
nastaje povećanje maksimalne debljine strugotine i koraka po zubu za oko 25% što prouzrokuje povećanje maksimalnog otpora rezanja za 22%. Na sl.1 dat je prikaz povećanja maksimalne debljine strugotine  $\delta_n$  i koraka po zubu  $S_1$  pri povećanju eksce-



Sl.1

ntričnosti od zuba do zuba za veličinu  $\epsilon$ . Medjutim, kako je  $\epsilon$  funkcija niza parametara, to će osa rotacije svih sečiva zuba biti van ose glodala što ima za posledicu nejednak presek strugotine od zuba do zuba. Dakle, može se reći da osa glodala kruži oko ose rotacije po nekoj zatvorenoj krivoj koja je funkcija mnogo poznatih i nepoznatih parametara. Ispitivanja su pokazala da pri rezanju, naročito sa manjim presecima strugotine, zubi koji imaju najkraće rastojanje od ose rotacije i ne vrše rezanje, dok zubi sa najvećim rastojanjem od ose rotacije skidaju veće preseke strugotine od onih koji se očekuju pri zauzetim elementima na mašini. Tako neravnomerno opterećenje pojedinih zuba povlači za sobom i neravnomerno habanje istih. Pri ovako neravnomernom habanju sečiva zuba, kriterijum potpune zatupljenosti glodala definiše se prema najopterećenijem zubu, dok ostala sečiva nisu dovoljno iskorišćena. Uticaj ekscentričnosti sečiva zuba glodala na presek strugotine, otpore rezanja i postojanost šematski je dat na sl.2.

Kako serijska i masovna proizvodnja zahtevaju što je moguće duži vek trajanja alata, to problem ekscentričnosti glodala treba smatrati kao važan i koji svakako treba više da zainteresuje konstruktore alatnih mašina.

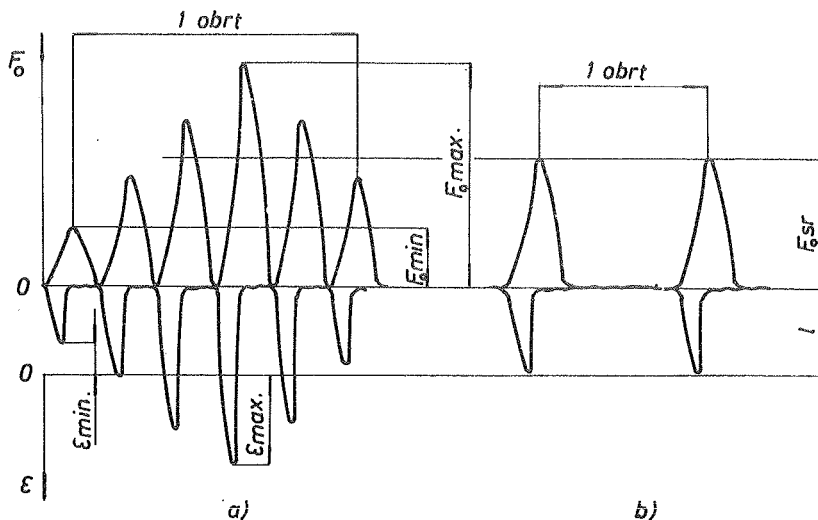


Sl. 2

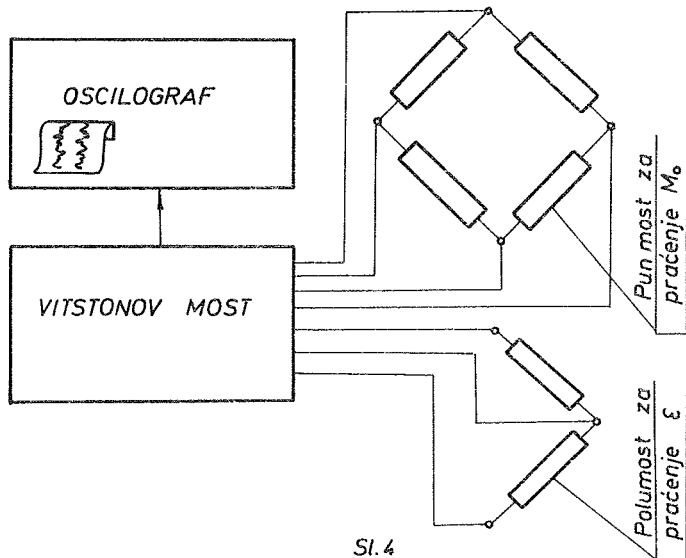
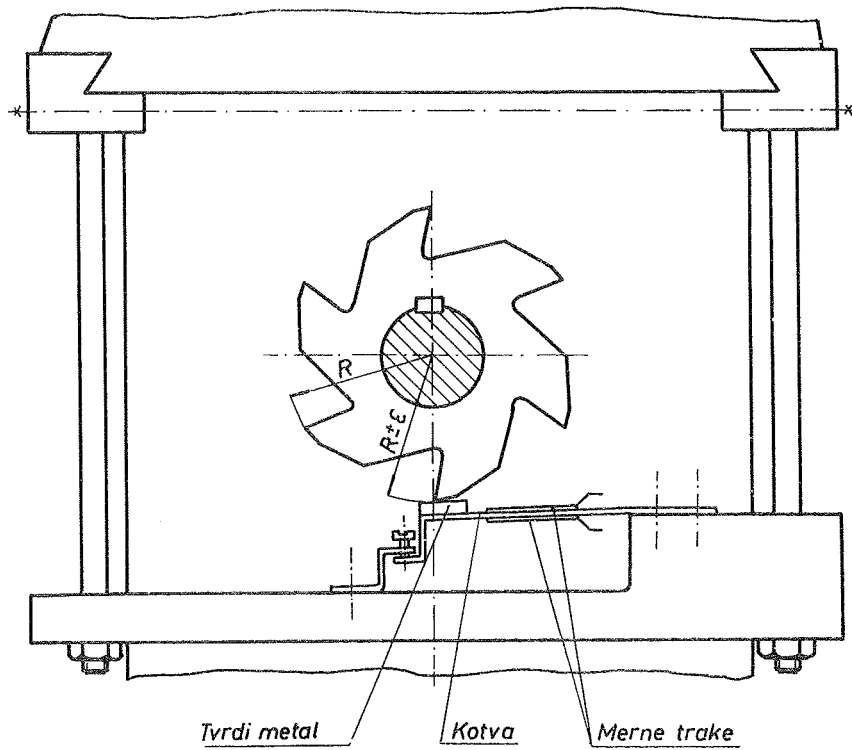
## 2. Program, uslovi ispitivanja i instrumentacija

Programom ispitivanja težilo se uočavanje zavisnosti izmedju postojanosti ekscentričnog glodala, odnosno glodala čija su sečiva zuba nejednako opterećena i postojanosti centričnog glodala sa ravnomerno opterećenim zubima. Program je izveden sa sledećim elementima režima rezanja: brzina rezanja  $v=35$  m/min, korak po zubu  $S_1=0,071$  mm/z i dubina rezanja  $\delta=2$  mm. Eksperiment je izveden valjkastim glodalom JUS.K.D2.020,  $63 \times 32 \times 27$  N sa istovetnom geometrijom svih zuba.

Obzirom na dubinu i širinu glodanja u zahvatu je bio samo je dan zub tako da je bilo moguće pratiti opterećenja svakog zuba od ulaska do izlaska iz zahvata. Maksimalna ekscentričnost pojedinih sečiva zuba u odnosu na osu rotacije u statičkom stanju nije prelazilo  $30 \mu\text{m}$ . U toku glodanja paralelno je praćena obimna sila kao i radijalno bacanje svakog zuba ponaosob. Radijalno bacanje praćeno je u toku samog rezanja. Fazna pomerenost ekstrema amplituda radijalnog bacanja od ekstrema amplituda obimne sile, pokazuje samo u kom momentu je registrovana najveća udaljenost sečiva od ose rotacije. Na sl. 3 dat je izgled dijagrama registrovane obimne sile i ekscentričnosti glodala pri rezanju a/ sa šest i b/ sa jednim zubom.



Sl.3



Sl. 4

Pored nejednakosti amplituda obimne sile pojedinih zuba, uočava se još jedna interesantna pojava, odnosno, svaki zub u toku svakog obrtaja radnog vretena trpi uvek istu obimnu silu i da mu je trajektorija od centra obrtanja za svaki obrtaj ista. Dakle, svaki zub za sebe ciklički ulazi i izlazi iz zahvata uvek pod istim uslovima.

Ukoliko se pet zuba glodala oslobode rezanja tako da posle svakog obrtaja samo jedan zub dolazi u zahvat, praćenjem amplituda obimne sile kao i trajektorije svakog zuba u odnosu na osu obrtanja, dolazi se do zaključka da su uslovi u pogledu ekscentričnosti za svaki obrtaj isti te su i amplitude obimne sile iste. U pogledu toplotnog opterećenja glodala pri rezanju sa svih šest ili pri rezanju sa jednim zubom, razlike su neznatne obzirom da je masa glodala samo neznatno promenjena.

Pri ispitivanju vršeno je suprotnosmerno glodanje na univerzalnoj glodalici PGU 3 sistema "HECKERT" proizvodnje Prvomajske iz Zagreba. Sistem mašina, alat, radni predmet bio je dovoljno krut.

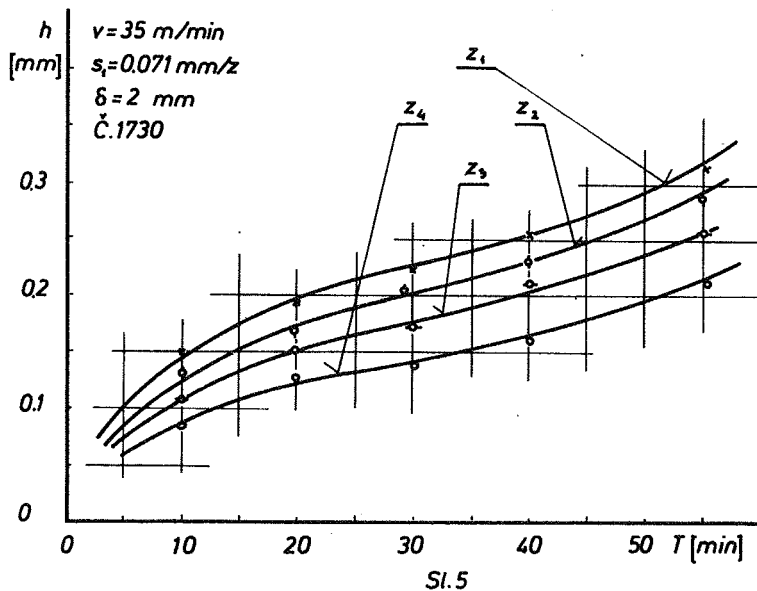
Kao merna instrumentacija korišćen je dinamometar za praćenje obrtnog momenta i uređjaj za merenje radijalnog bacanja zuba u toku rada, oba na principu mernih traka napravljeni u Zavodima Mašinskog fakulteta Odeljenja u Kragujevcu. Kao pojačavač korišćen je Vitstonov most KWS/T-5 čiji je izlazni signal bio priključen na mehanički pisac. Praćenje pohabanosti sečiva zuba glodala vršeno je na univerzalnom alatnom mikroskopu sovjetske proizvodnje.

Uređjaj za praćenje radijalnog bacanja kao i šematski prikaz ostale merne instrumentacije dat je na sl.4.

### 3. Rezultati ispitivanja

U toku rezanja šestozubim glodalom praćena je i širina pojasa habanja svih šest zuba na ledjnoj površini sečiva. Merenje širine pojasa habanja bilo je za svaki zub na polovini širine zahvata zuba. U toku rada glodala, na mehaničkom pisacu, registrovano je radijalno bacanje svakog zuba.

Posmatranjem snimljenog dijagrama vidi se da su amplitude radijalnog bacanja svakog zuba, za vreme svake periode od jednog obrtaja, jednake. Ista konstatacija sledi i za dijagram obimne sile. Na osnovu dobijenih podataka moguće je konstruisati  $h - T$  krive za svaki zub pojedinačno sl.5.



Pod pretpostavkom da je kriterijum zatupljenja glodala ograničen kvalitetom obradjene površine i kao merodavan usvojena širina pojasa habanja na ledjnoj površini sečiva zuba  $h=0,3 \text{ mm}$ , na osnovu  $h - T$  krivih ima se pregled postojanosti svakog zuba.

Na osnovu dosadašnje analize dolazi se do zaključka da se postojanost glodala ceni prema postojanosti najopterećenijeg zuba, odnosno zuba koji skida veći presek strugotine od diktiranog zauzetim elementima režima na mašini.

Koristeći ranije dobijeni izraz za obimnu silu [3] pri obradi C.1730

$$F_0 = 115 \delta^{0,7} S_1^{0,69} B Z D^{-0,68}$$

može se proračunati obimna sila po zubu ako su koraci po zubu konstantni. Međutim, kao posledica radijalnog bacanja, koraci

svih zuba su različiti i variraju oko srednje vrednosti koraka  $S_1$  koji je zauzet na mašini. Primenom izraza za obimnu silu po zubu pri čemu su koraci  $S_1$  korigovani za veličinu radijalnog bacanja na  $S_1^i$ , dobijaju se vrednosti obimne sile date u tablici 1.

Tablica 1.

Elementi režima rezanja:		$v = 18 \text{ m/min}$ $s_f = 0.112 \text{ mm/z}$	$\delta = 2 \text{ mm}$ $b = 20 \text{ mm}$			
Zub	$\epsilon$ $\mu\text{m}$	$s_f^i$ $\text{mm/z}$	$F_0^*$ $\text{kp}$	$F_0^{**}$ $\text{kp}$	$\Delta F_0$ $\%$	
$z_1$	+3	0.120	130	130	0	
$z_2$	+29	0.197	184	202	+8.9	
$z_3$	+35	0.215	196	252	+22	
$z_4$	+8	0.135	142	177	+19.7	
$z_5$	-31	0.021	40	30	-25	
$z_6$	-40	0	0	13	-	

\* ) Računska

\*\* ) Na pisaču

Korekcija koraka po zubu u zavisnosti od radijalnog bacanja daje, obzirom na početnička ispitivanja u ovom pravcu, sasvim zadovoljavajuće rezultate, što se jasno vidi prema upoređenju proračunate i stvarno očitane obimne sile. Naime, sa dovoljnom tačnošću može se pisati:

$$S_1^i = S_1 \pm \frac{\epsilon}{\sin \psi}$$

Preoštravanjem i oslobadjanjem pet zuba od zahvata, rezanje je vršeno sa jednim zubom. Režim rezanja i ostali uslovi rada bili su kao u predhodnom slučaju. Za vreme rezanja, dinamometar za merenje obimne sile i uredjaj za registrovanje radijalnog bacanja pokazivali su konstantne amplitude za vreme svakog obrtaja radnog vratila. Konstruisane krive habanja pokazuju povećane postojanosti, zbog malog broja izvedenih eksperimenata nepouzdanost se može reći, do 30 pa i više proce-



nata a pri kriterijumu zatupljena  $h=0,3$  mm. Na osnovu izvedenih eksperimenata može se očekivati da će kako dinamička tako i toplotna opterećenja zuba potpuno centričnog glodala biti jednaka opterećenju korišćenog jednozubog glodala jer su preseci strugotine za svaki zub jednaki.

Konačno, činjenica je da sa poboljšanjem centričnosti glodala, povećanje postojanosti makar i za 5%, naročito u serijskim i masovnim proizvodnjama, ima dosta veliko značenje.

#### 4. Zaključci

1. Udanašnjim proizvodnim uslovima kao i u uslovima ispitivanja nepobitno je da se kriterijum za ocenu potpune zatupljenosti glodala formira na bazi najopterećenijeg zuba.
2. Dinamička i toplotna opterećenja sečiva zuba glodala u strogoj su zavisnosti od poprečnog preseka strugotine koji se menja za svaki zub i sa promenom rastojanja sečiva zuba od ose rotacije. Dosadašnjom analizom može se uspostaviti veza između koraka po zubi i radijalnog bacanja sečiva zuba od ose rotacije sledećom relacijom:

$$S'_1 = S_1 \pm \frac{\epsilon}{\sin \nu}$$

3. Sa poboljšanjem centričnosti glodala, odnosno kad  $\epsilon \rightarrow 0$ , dobija se ravnomernije opterećenje svih zuba a samim tim i znatno povećanje postojanosti glodala.

#### 5. Literazura

- [1] P. Stanković, Mašinska obrada, I knjiga, Gradjevinska knjig, Beograd, 1967.
- [2] A. M. Rozenberg, Dinamika frezerovanja, Mažgiz, Moskva 1945.
- [3] R. Mitrović, Uticaj režima obrade na efektivnu snagu pri glodanju valjkastim glodalima, Saopštenja IAMA, 8 1968.

R.Mitrović,S.Zahar

Milling Cutter Tooth Eccentricity with Regard to its own Rotation Axis and its Influence on Milling Cutter Life

In perennial work on machining by milling, one came to the interesting conclusions related to the effects of influential, subjective and objective factors on tool life. It is known that critical point on the wear curve is formed on the base of the most burdened cutter teeth. Dynamic and heat burdenings of cutter tooth cutting edge are under strong dependence of section of scrapings that is changed for each tooth, and this with the change of tooth edge distance from the rotation axis. With the improvement of cutter centricity one gets even burdening of all teeth and with it a considerable increase of tool life.

M. Bogdanović <sup>x</sup>

OSVRT NA NEKE ELEMENTE EKSPLOATACIJE ODVALNIH GLODALA PRI  
IZRADI CILINDRIČNIH ZUPČANIKA METODOM PFAUTER <sup>xx</sup>

### 1. Uvod

Problemi smanjenja troškova proizvodnje u metaloprerađivačkoj industriji iskrsavaju sve više u prvi plan. Veoma retko, međutim ovi problemi zaokupljaju tehnologe od čijeg rada najviše zavisi veličina troškova obrade. Realizacija projekta za definisanje strukture troškova obrade za proizvodne operacije koje se izvođe obradom metala rezanjem u Fabrici automobila Zavodi "Crvena Zastava" izvedeni pomoću elektronskog računara, omogućavala je izvodjenje čitavog niza interesantnih zaključaka o pravim izvorima troškova proizvodnje.

U ovom saopštenju daje se prikaz nekih elemenata strukture troškova obrade, za izradu cilindričnih zupčanika na mašinama PFAUTER, kao i neke po mišljenju autora, interesantne informacije o eksploataciji odvalnih glodala.

### 2. Kinematika procesa rezanja i geometrija alata

Obrada dela, odnosno izrada zupčanika vrši se sprežanjem alata i radnog komada pri čemu se ostvaruje relativno kotrljanje.

---

<sup>x</sup> Miodrag B. Bogdanović, dipl.ing., Zavodi "Crvena Zastava" Kragujevac,

<sup>xx</sup> Saopštenje je proizašlo iz rada na projektu za smanjenje troškova proizvodnje u prvom pogonu Fabrike automobila Zavoda "Crvena Zastava" radjenog u saradnji sa Mašinskim fakultetom u Beogradu - Odeljenje u Kragujevcu.

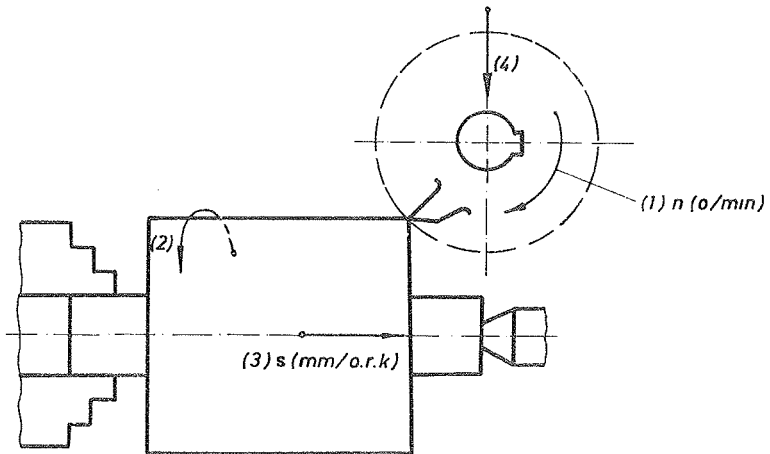
Pri tome alat izvodi obrtno kretanje kao i radni komad. Postoje još dva kretanja koja može izvoditi radni komad ili alat. Jedno od njih je radijalno primicanje pri početku rezanja a drugo je aksijalno koje se izvodi za vreme procesa rezanja. U zavisnosti od toga dali alat ili radni komad izvodi aksijalno kretanje razlikuju se dva tipa gradnje PFAUTER mašina- horizontalne i vertikalne. Znači u oba slučaja glavno kretanje izvodi alat i definiše se sa  $n$  (o/min) glodala.

Kod horizontalnog tipa PFAUTER mašine pomoćno kretanje izvodi radni komad, koji se kreće kružno i aksijalno prema alatu. Radijalno primicanje vrši alat. Kod vertikalne PFAUTER mašine, aksijalno kretanje izvodi alat a radijalno radni komad. Radni komad istovremeno vrši i kružno kretanje. Kako vidimo kod ovog tipa mašine pomoćno kretanje delimično izvodi alat a delimično radni komad. Pomoćno kretanje se definiše sa  $s$  (min/o) radnog komada. Na slici 1a, 1b dat je šematski prikaz kinematike procesa rezanja horizontalnog i vertikalnog tipa PFAUTER mašine, a na slici 2a, 2b opšta geometrija alata i geometrija reznog dela alata.

### 3. Oblik habanja reznog dela alata i kriterijum zatupljenja

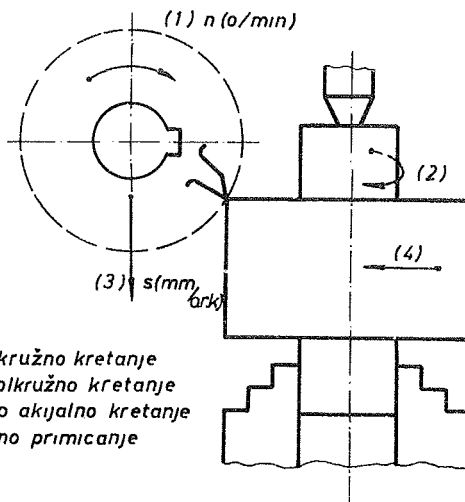
U procesu rezanja alat i radni komad su u neprekidnom kontaktu usled čega nastaje trenje na dodirnim površinama. Normalna posledica trenja je atheziona habanje alata. Dodir alata i radnog komada je pod najvećim pritiskom na delu ledjne površine koji je najbliži vrhu sečiva, pa je zato tamo habanje i najintezivnije. Habanje je izraženo delom i na grudnoj površini usled dodira strugotine i grudne površine. Ovo habanje na grudnoj površini nije tako izraženo kao na ledjnoj pošto je pritisak tarućih površina manji jer je jedan deo strugotine već slobodan.

Pri posmatranju alata posle odredjenog vremena rezanja mogu se uočiti tri karakteristične zone habanja. Prva zona koja se pojavljuje najvećim delom širine ledjne površine, druga koja se javlja u vidu koncentrisanog habanja na ivici ledjne površine prema bočnoj strani zuba alata i treća zona se javlja na grudnoj površini zuba alata i to celom širinom.



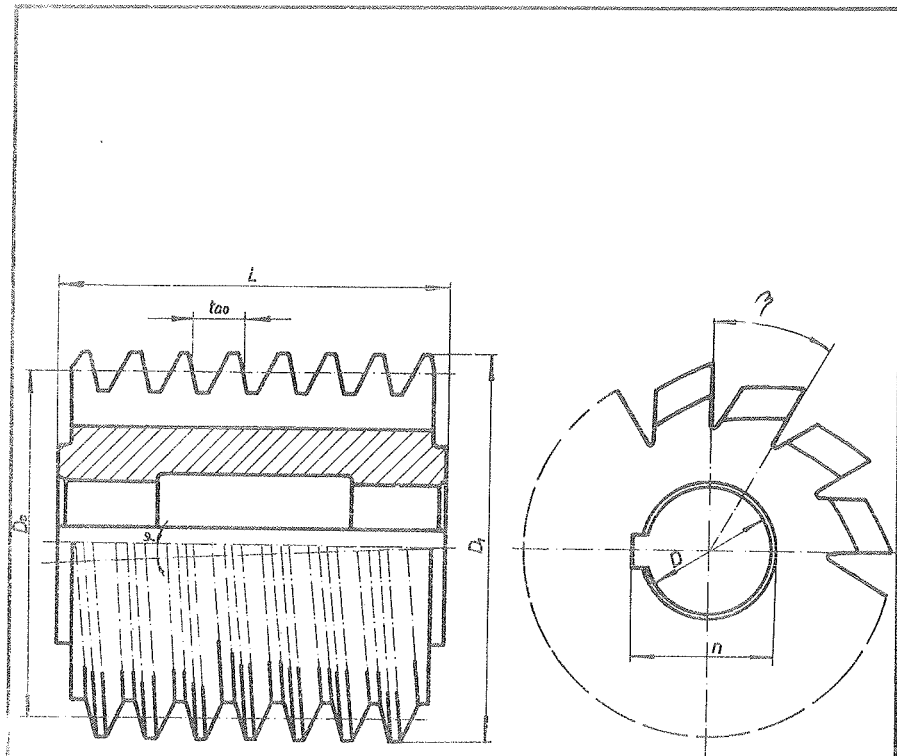
- 1.- Glavno kružno kretanje
- 2.- Pomoćno kružno kretanje
- 3.- Pomoćno aksijalno kretanje
- 4.- Radijalno primicanje

a. Kinematika procesa rezanja horizontalne mašine PFAUTER

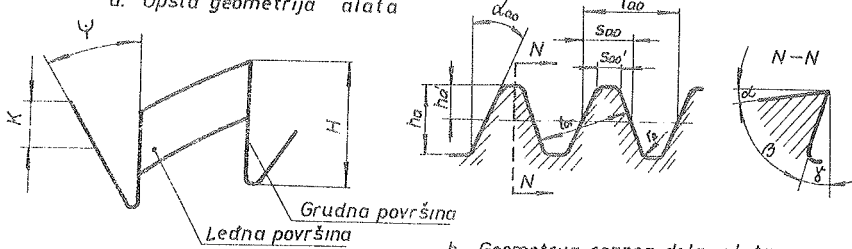


- 1.- Glavno kružno kretanje
- 2.- Pomoćno kružno kretanje
- 3.- Pomoćno aksijalno kretanje
- 4.- Radijalno primicanje

b. Kinematika procesa rezanja vertikalne mašine PFAUTER



a. Opšta geometrija alata



b. Geometrija reznog dela alata

- $D_p$  - Padeoni prečnik
- $D_s$  - Spoljni prečnik
- $D$  - Prečnik otvora
- $L$  - Dužina glodala
- $t_{ao}$  - Aksijalni korak
- $\alpha$  - Ledni ugao
- $\beta$  - Ugao klina
- $\gamma$  - Grudni ugao

Na slici 3a, prikazan je oblik habanja sa svim zonama i parametrima koji karakterišu svaku od zona.

Navodeći uslove rada pod kojima se sada vrši izrada cilindričnih zupčanika metodom PFAUTER u Fabrici automobila mogu se izvući neki zaključci za kriterijum zatupljenja.

Uslovi sa kojima se radi u sadašnjoj fazi su sledeći:

Režim rada:  $s = 2(\text{mm}/\text{o})$  radnog komada - korak

$v = 35-40 (\text{m}/\text{min})$  - brzina rezanja

Rad se obavlja na horizontalnim i vertikalnim PFAUTER mašinama sa odvalnim glodalima od brzoreznog čelika proizvodnje nemačke firme KLINGENBERG sa dva početka, modula 0,5-2,5 mm. i  $z=10-14$ . Kao sredstvo za hladjenje koristi se ulje HIDROL 40.

Prateći rad alata od oštrenja na dalje može se zapaziti da porastom parametara habanja raste i hrapavost obradjene površine, odnosno bokovazubaca. Da bi se povećala postojanost alata vrši se njegovo aksijalno pomeranje radi što ravnomernijeg habanja zuba po dužini alata. Sa druge strane sa porastom parametara habanja dolazi i do povećanja otpora rezanja usled povećanja tarućih površina što dovodi do većih deformacija radnog komada, naravno elastičnih usled čega se povećava netačnost izrade zupčanika.

Rezanje sa alatom se i prekida zbog ove pojave netačnosti izrade radnog komada. Drugi manje odlučujući faktor je kvalitet obradjene površine. Iz svega gore navedenog vidi se da je kriterijum zatupljenja diktiran tačnošću izrade zupčanika. Zadovoljavajuća tačnost se postiže sve dok parametar  $h_3$  raste do 0,5-0,6 mm. Niže vrednosti se odnose na alata sa manjim modulom do 0,75mm. a veći na module 0,75-2,5mm. Veličina parametra usvojenog kao kriterijum zatupljenja direktno diktira broj mogućih oštrenja alata. Oštrenje se obavlja po grudnoj površini što je i prikazano na slici 3b. Znači broj mogućih oštrenja može se predstaviti kao odnos između raspoložive dužine zuba za oštrenje i dodatka za oštrenje.

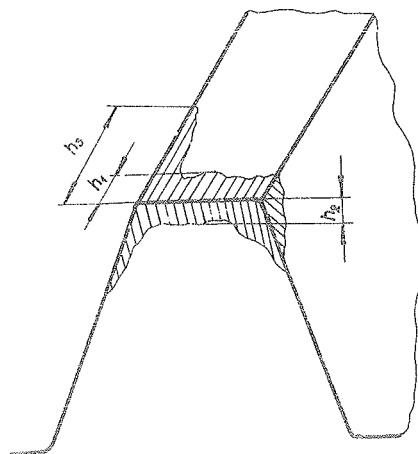
B- dodatak za oštrenje (0,60-0,80) mm

$l_0$  - raspoloživa dužina za oštrenje

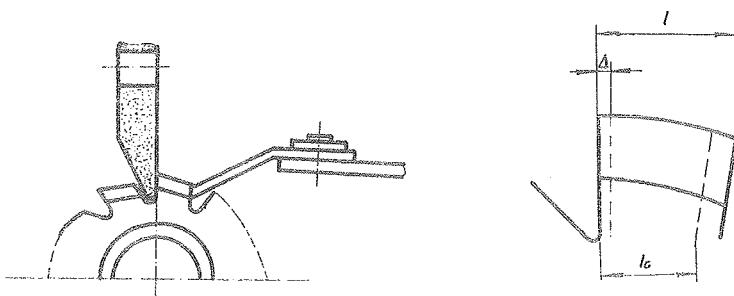
U praksi se najčešće ne može postići ovoliki broj oštrenja zbog pojave krzanja alata te ga i smanjuje najčešće za oko 15%.

$$l_{opt} = 0,85 l_0 / B = (1,06-1,42) l_0$$

OR.07.05.



a. Oblik habanja sa parametrima habanja



b. Način oštrenja

- $h_1$  — Pojas habanja na ledenoj površini
- $h_2$  — Pojas habanja na metalnoj površini
- $h_3$  — Koncentrisano habanje na ledenoj površini



#### 4. Troškovi alata

Troškovi reznog alata mogu se definisati izrazom

$$A = (nk_1t_1 + K_2t_2 + Ca/i+1) \frac{1}{Z_p}$$

gde je:

$n$ - faktor koji uzima u obzir učešće brigadira i reglera u opterećenju proizvodne operacije ličnim dohocima,

$k_1$ - lični dohodak proizvodnog radnika u bruto iznosu izražen u novim dinarima po minutu.

$t_1$ - vreme promene alata u toku izrade serije izraženo u minutima

$t_2$ - vreme oštrenja alata izraženo u minutima .

$K_2$ - lični dohodak oštrača u bruto iznosu izražen u novim dinarima u minutu .

$Ca$ - nabavna cena alata izražena u novim dinarima.

$i$  - broj mogućih oštrenja.

$Z_p = \frac{T}{t_g}$  - broj komada koji je alatom moguće opraditi izmedju dva oštrenja.

$T$  - postojanost alata izražena u minutima

$t_g$  - vreme efektivnog rezanja izraženo u minutima.

Sve gore navedene elemente za troškove alata možemo lako i tačno definisati osim broja mogućih oštrenja i postojanosti alata čije definisanje je donekle problematično i ne može se smatrati apsolutno tačnim, pogotovu što se menjaju od slučaja do slučaja pošto zavisi od čitavog niza faktora. Sve ove faktore i njihove promene ne možemo predvideti u svakom trenutku iako smatramo da se uslovi rada ne menjaju, te otuda i nastaju nekontrolisane promene gornjih elemenata.

U sadašnjim uslovima proizvodnje cilindričnih zupčanika PFAUTER METODOM u Fabrici automobila mogu se dati neke okvirne vrednosti za broj oštrenja, postojanost i cenu alata.

Do broja oštrenja se došlo na osnovu ispitivanja na odvalnim globulima a do postojanosti posmatranjem i snimanjem pri radu u postojećim uslovima.

Uobičajene vrednosti kreću se ugranicama:

i-14-18 broj oštrenja

T-300-750 (min) postojanost

Ca-700,00- 2000,00 n. dinara -cena alata

Veće vrednosti za postojenost postižu se uglavnom tamo gde je pooštavanje režima dovodilo do povećanja netačnosti izrade zupčanika usled elastičnih deformacija komada. Navedene vrednosti za broj oštrenja i postojanost se postiže pri radu sa napred navedenim uslovima. Navedeni izraz za troškove alata može se razbiti na troškove promene (A1), održavanja (A2) i amortizacije alata (A3), pri čemu je svaki od njih dat izrazom:

$$A_1 = n k_1 t_1 l/Z_p$$

$$A_2 = K_2 t_2 l/Z_p$$

$$A_3 = Ca/i+1 l/Z_p$$

Kad razmatramo troškove alata ove vrste u Fabrici automobila možemo dati neke pouzdane podatke za njihovu veličinu koji važe za savremene Jugoslovenske uslove.

U tablici 1. data je struktura troškova alata sa procentualnim učešćem pojedinih članova i vrednost tih troškova izraženih u starim dinarima po proizvodnoj operaciji.

Tablica 1.

Troškovi promene	Troškovi oštrenja	Troškovi amortiz. alata
$A_1$	$A_2$	$A_3$
0,8-4%	5-9%	86-94%
0,92-4,6 S.D	5,74-10,4 S.D	98,5-108 S.D

### 5. Zaključci

Analizirajući troškove alata u sklopu troškova obrade (čija je struktura  $U_0 = R+A+M$  gde je  $R=10-15\%$ ,  $A=30\%$ ,  $M=55\%$ ) može se izvući nekoliko zaključaka kako uticati na njihovo smanjenje. Iz tablice 1. se vidi da u strukturi troškova alata najveći deo nose troškovi amortizacije alata. Ovo je uglavnom zbog toga što se radi o skupim alatima.

Interesantno je razmotriti usvajanje strožijeg kriterijuma zatupljenja odnosno povećanja broja mogućih oštrenja.

Parametar koji je usvojen kao kriterijum zatupljenja raste znatno brže pri dostizanju vrednosti ograničene kriterijumom, a da to nije praćeno izradom odgovarajućeg broja komada kao u početku rezanja po oštrenju. Kako vidimo, usvajanjem parametra kriterijuma zatupljenja niže vrednosti imamo manje trošenje alata po, komadu znači alat će u svom veku moći da obradi veći broj komada i time snizi troškove amortizacije alata koji su najuticajni. Međutim, sa druge strane ovo dovodi do povećanja troškova promene ( $A_1$ ) i troškova održavanja ( $A_{n,2}$ ). S obzirom na prikazanu strukturu u tablici 1. ovo možemo dozvoliti.

Razmatrajući ovaj problem u sklopu troškova obrade jasno je da nije pravi put ići na ublažavanje režima da bi se smanjili troškovi alata jer to dovodi do povećanja troškova mašine čije je učešće u troškovima obrade odlučujuće. Pravi put sniženja troškova alata je onaj koji dovodi dopada ukupnih troškova.

Za smanjenje troškova alata ići na standardizaciju alata i upotrebu alata sastavljenog iz segmenata koji se menjaju znatno jeftinije nego što je ceo alat. Ovo dovodi do pada troškova amortizacije alata ( $A_1$ ).

Naročitu pažnju posvetiti kvalitetu oštrenja pošto direktno utiče na postojanost alata. Iz ovog razloga potrebno je apsolutno ukinuti norme za oštrače ali pooštriti kontrolu kvaliteta oštrenja i na neki način stimulisati oštrače koji kvalitetno oštrem. Razmotriti i situaciju pooštrevanja režima ukoliko to dovodi do većeg pada troškova mašina nego što je porast troškova alata. Međutim, ovu mogućnost ne treba razmatrati ukoliko nemamo obezbeđeni obim proizvodnje za ovaj pooštreni režim jer nam to pooštrevanje režima može dovesti do pada vremenskog iskorišćenja mašina. Ovo nam ne ide u prilog pošto se radi o veoma skupim mašinama čiji su troškovi veliki pa bi to dovelo do porasta ukupnih troškova.

## L i t e r a t u r a

1. P. Stanković obrada I, Gradjevinska knjiga ,  
Beograd, (1965.god.)
2. B. Ivković, S. Smiljanić, Razgraničenje troškova proizvodnje  
i raspodela prema radu, Direktor 16 (1970) ,Beograd.
3. D. Vukelja, V. Simonović, Predlog optimizacije obrade  
rezanjem na strugu, Saopštenje IAMA 9 (1969) .

RÜCKBLIK AUF EINIGEN ELEMENTEN DER ABWÄLZFRÄSER-AUSNÜTZUNG BEI  
DER FERTIGUNG DER ZYLINDRISCHEN ZAHNRÄDER NACH PFAUTER-VERFAHREN

M. Bogdanović

Der autor hat aus dem Projekt für die Berechnung von Bearbeitungs-  
spesen die Fertigungsoperationen in den Werken "CRVENA ZASTAVA"  
die Werkzeugkosten hervorgezogen und analysiert. Dabei ist in  
obiger Darstellung ein prozentualer Anteil einzelner Werkzeug-  
spesenskomponenten gegeben sowie die Bemerkungen bezüglich der  
Fräserausnützung.

I KENDJELx)

EKSPLOATACIJA NC-ALATNIH STROJEVA  
EKONOMSKA ANALIZA I RENTABILNOST  
UVODJENJA

I Uvod

Unapredjenja u bilo kojoj oblasti privredjivanja nikada ne prestaje, već su više ili manje intenzivna. U našem slučaju eksploatacije NC-strojeva takodjer nismo prestali razmišljati o svim onim aktivnostima koje nadolaze, kao i one koje je bilo nužno prije instaliranja razraditi. Ovo iz prostog razloga što smo svjesni da u prvoj godini eksploatacije sigurno nismo postigli krajnje moguće efekte produktivnosti, kvalitete i organizacije, pored svih naših velikih želja i nastojanja.

Radi lakšeg praćenja navest ću aktivnosti koje su bile bitno istaknute u vrijeme uvođenja NC-strojeva a koje bi ovom prilikom htio prezentirati:

- Izbor izradaka za opterećenje NC-strojeva
- Izbor alata za potrebe obrade na NC-strojevima
- Funkcija i oblik cjelokupne dokumentacije
- Organizacija svih aktivnosti
- Ekonomska interpretacija
- Razvoj na području eksploatacije NC-strojeva

Kako su u mojem saopćenju na VI Savjetovanju o Proizvodnom Strojarsstvu, OPATIJA, 1970, bile obradjene tačke prema redoslijedu 3 i 4, to ih ovom prilikom neću spominjati, već ću se detaljnije zadržati na preostalim aktivnostima.

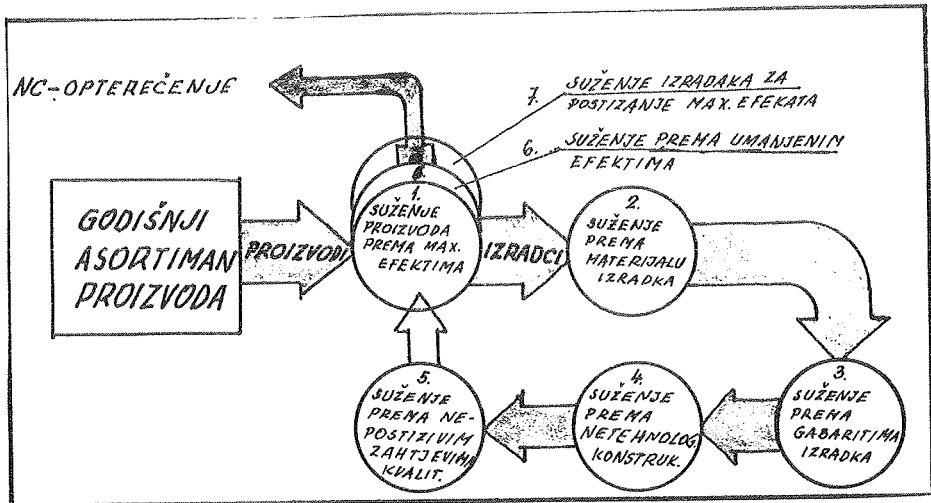
-----  
x) Ivan Kendjel, dipl. ing., Šef Centra za numeričku obradu  
u tvornici alatnih strojeva "PRVOMAJSKA" Zagreb, Žitnjak, b.b.  
-----

## II Izbor izradaka za opterećenje NC-strojeva

1. Izbor izradaka s obzirom na godišnju ukupno potrebnu količinu, kao i veličinu serije.

U polaznom razmatranju, kako ne bismo izgubili najveće efekte koje možemo dobiti eksploatacijom vrlo skupih NC-strojeva, korisno je između većeg broja mogućnosti izbora izradaka za opterećenje NC-strojeva odabrati jedan koji bi bio najprihvatljiviji za tehnologe projektante iz direktne proizvodnje. Potrebna je jednostavnost kod problema izbora, ali da se količina izradaka što prije svede u uže interesantne granice. U našoj praksi ja sam počeo od godišnjeg asortimana proizvodnje koji mi je omogućio takav izbor izradaka preko proizvoda koji ih sadrži.

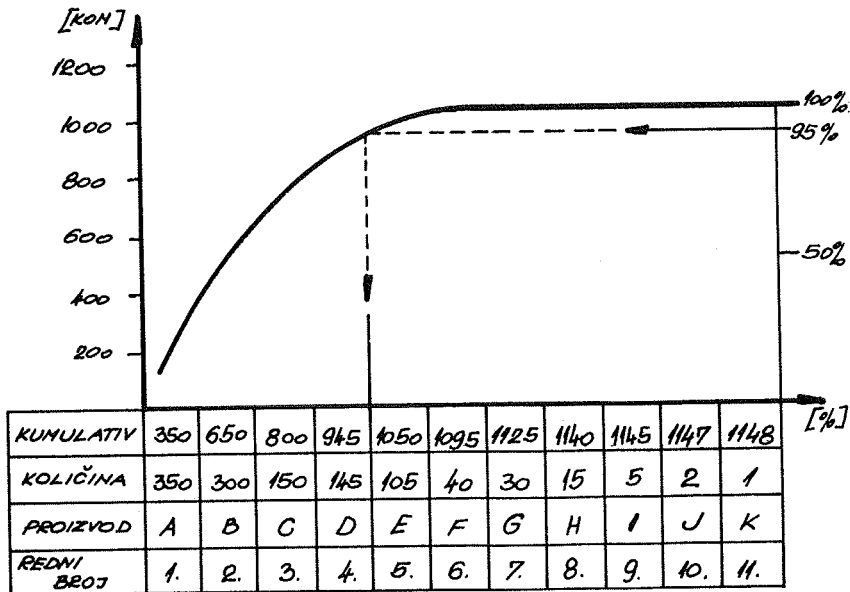
Na slici br. 1., prikazan je ciklus izbora izradaka šematski, a u daljnjem tekstu objašnjen je postupak.



Sl. 1

CIKLUS IZBORA IZRADAKA

Na slici br. 2., proizvode sam poredao po padajućoj godišnjoj količini, pri tome sam njima u prikazu umjesto naziva pridodao slova abecede. U spomenutom grafu proizvodi su prikazani u skraćenom asortimanu što u biti ništa ne utječe na kvalitetu obrazloženja.



Sl. 2

Iz grafičkog prikaza možemo konstatirati da 95% ukupnih godišnjih količina čine prva četiri proizvoda, pa je stoga potrebno iz njih crpiti izratke za opterećenje NC-strojeva. Ukoliko smo zainteresirani i za druge proizvode možemo ovaj izbor proširiti i na 99,7% ukupnih god.količina za koje još uvijek možemo pretpostaviti, da će biti ekonomski opravdano njihovo preuzimanje za obradu na NC-strojve.

## 2. Izbor izradaka s obzirom na materijal izratka.

U daljnjem razmatranju izbora izradaka iz suženog asortimana prema tački 1., potrebno je odrediti; da li će NC-stroj kojeg naručujemo ili smo ga već naručili imati sistem

hladjenja ošttrice noža ili neće. Ako je stroj bez hladjenja, tada smo problem u daljnjem razmatranju suzili, ako hladjenje postoji, onda o vrsti materijala izratka ne trebamo voditi računa.

### 3. Izbor izradaka prema njihovoj veličini tj. gabaritima.

Normalan put za izbor NC-stroja (opreme) u koju se želi investirati treba biti prethodni izbor izradaka, a zatim na temelju izradaka odrediti gabarite stroja i ostale tehničke karakteristike.

Iz naprijed šećenog slijedi:

- a) Ako preko izradaka definiramo gabarite stroja, onda se prilikom izbora izradaka uopće nećemo opterećivati njegovim gabaritima
- b) Ako posjedujemo NC-stroj određenih gabarita radnog stola i koordinata  $x$ ,  $y$ ,  $z$  ili smo ga zaključili sa isporučiocem, tada definiramo sve tri dimenzije koje izradak smije imati da bi mogao biti preuzet na NC-stroj i vršimo klasifikaciju izbora iz proizvoda prema tački 1. (Ako izbor vršimo prema tački 2a), poslije definiranja gabarita NC-stroja, ponovno vršimo selekciju prema tački 2b).

### 4. Izbor izratka s obzirom na tehnologičnost konstrukcije i broj provrta i ploha koje će se obradivati.

U načelu potrebno je kod izbora težiti da izradak ima za obradu više od dva provrta. Pri tome što je više takvih provrta i ploha, to je ekonomičnije i produktivnije preuzimanje takvih izradaka na NC-strojeve.

Kod razmatranja tehnologičnosti konstrukcije izradaka potrebno je obraditi naročitu pažnju, da li konstrukcija ispunjava određene uvjete koji garantiraju potrebnu kvalitetu u izradi i produktivnost uz optimalne troškove proizvodnje.



Uvjeti tehnološkičnosti konstrukcije:

- a) najprikladniji oblik izratka jeste kutijasti oblik s ravnim vanjskim obradjenim plohama
- b) gabariti kutijastog oblika, da se kreću u granicama koje omogućuju obradu na NC-strojevima koji su instalirani ili su u planu instaliranja.

Uslovi pod a) i b), nisu uvjet da se izradak ne preuzme na NC-stroj, ali je neispunjavanje tih uvjeta vezano uz troškove za izradu radne stezne podloge ili pod b) da je moguća samo parcijalna obrada na takovom izratku.

- c) bliskost medjustijenki (pregradnih stijenki), prednjoj odnosno stražnjoj stijenki, ako izradak imade više od dvije pregradne stijenke. Ukupni ispon reznog sa nosećim alatom ne preporuča se veći od 300 mm dužine.
- d) da su svi provrti u osi, ako idu kroz više stijenki prolazni kroz izradak radi mogućnosti napada u toku obrade s obih strana.
- e) da su svi provrti na izratku jednakog promjera ili u jednoj osi jednakih promjera.
- f) da su provrti koji prolaze kroz više stijenja većih promjera, ako su dužine tokarenja većeg ispona od 300 mm.
- g) da su svi provrti, koji se konstruktivno ne mogu izvesti jednakog promjera, izvedu padajućeg promjera u jednoj osi, tj. da od prednje stijenke do zadnje idu sa padajućim promjerima.
- h) ako zbog funkcionalnosti nije moguće u jednoj osi izvesti padajuće provrte kroz izradak, onda je potrebno to postići, od prednje stijenke do središta izratka kao i od zadnje stijenke do središta izratka. Ovo isto vrijedi i za bočne stijenke kada one dolaze u poziciju napada za obradu.
- i) da su svi sitni ili sporedni provrti sa ili bez nareza istih promjera, odnosno nareza i dužine.
- j) na izracima, ako imadu natražna zaravnavanja nije preporučljivo to izvoditi na NC-stroju. Pored toga što su to preveliki gubici u produktivnosti, rad je

posve nesiguran.

(u ovakovim slučajevima nužno je izmijeniti konstrukciju)

- k) ako prolazni provrti nisu glatki, već posjeduju stepenice (misli se na jedan provrt), ovo treba konstruktivno izbjegavati na kapitalnim dijelovima (ubacivanje konstruktivno, stepenaste puškice ili utora za zeger osigurač), a provrt ostaviti gladak i prolazan.

Pored nabrojanih uvjeta koje bi trebala tehnologična konstrukcija posjedovati, postoji još čitav niz sitnijih preporuka za bolju tehnologičnost. Zbog skućenog prostora u ovom saopćenju nisam u mogućnosti dati opširniju problematiku.

5. Izbor izradaka s obzirom na visinu zahtjevanje kvalitete pojedinačnih provrta i međusobnih odnosa osi provrta i važnih baznih ploha.

Kod izbora izradaka za opterećenje NC-strojeva vrlo je bitno, kakovi su zahtjevi od strane konstrukcije postavljeni u crtežu detalja izratka. Za provrt je to: klasa tačnosti, dozvoljena ovalnost, konusnost, hrapavost površine. Kod međusobnih odnosa između osi i baznih ploha to je: paralitet, smosnost, kutnost.

Ovdje nam se ponovo nameće dilema s obzirom na NC-stroj, da li ga posjedujemo ili ga želimo definirati za narudžbu.

- a) ako posjedujemo NC-stroj, onda izbor izradaka vršimo prema parametrima kvalitete koje NC-stroj može dati i selektiramo crteže detalja iz asortimana proizvoda prema tački 1.
- b) ako je stroj predviđen za narudžbu, tada izratke preuzimamo na NC-strojeve ne vodeći računa o zahtjevanoj kvaliteti. Kada se preko takovih izradaka definiraju parametri kvalitete NC-strojeva u koje želimo investirati, pristupamo ponovnoj selekciji prema tački 5a).

6. Selekcija preuzetih izradaka na NC-strojeve, uz parametar godišnjeg opterećenja u (NS) za postojeću tehnologiju.

Ako smo solidno izdvojili izratke prema danim preporukama tada možemo smanjiti njihov broj, posluživši se ponovo grafom kao u tački 1. Ovdje ćemo umjesto godišnjih količina uvrstiti vrijednosti godišnjeg opterećenja u (NS) za odabrane izratke (godišnja količina proizvoda iz kojeg je izvadjena pozicija, pomnožena sa (NS) operacije, koja će se ubuduće izvoditi na NC-stroju, ali po dosadašnjoj tehnologiji).

Rubrika kumulativa ostaje prama padajućoj vrijednosti. Ovime dobivamo ponovno manji broj izradaka, ali uz sačuvane sve najveće efekte koje smo naprijed spomenuli. Ovako izdvojene izratke sada programiramo.

Ako po završenom programiranju imademo preveliko opterećenje NC-strojeva, poslužimo se još jednom istim grafom, ali sada uvrstimo umjesto godišnjeg opterećenja razliku u (NS) između klasičnog i NC-stroja umnoženu sa godišnjom količinom. Sve ostalo postupimo kao i prije i dobit ćemo one izratke čiji su efekti veći od odbočenih.

Posve je normalno da postoji veći broj i drugih mogućnosti za postizanje istih rezultata kod izbora izradaka za opterećenje NC-strojeva. Ja sam međjutim iznio ovu mogućnost po kojoj je vršena selekcija u našoj tvornici, a da uspjeh nije izostao.

### III Izbor alata za NC-alatne strojeve

1. Odredjivanje nazivnog promjera glavnog radnog vretena, prihvata alata u glavno vreteno, pomičnost ili nepomičnost glavnog radnog vretena horizontalne NC-bušilice.

Prije nego što pristupimo projektiranju programske tehnologije na izdvojenim izracima iz poglavlja II, izvršimo još jednu analizu koja će nam omogućiti, da lakše definiramo sve parametre koje smo sebi zadali u poglavlju III/1.

Listanjem detaljnijih crteža i upisivanjem promjera provrta koji se pojavljuju na izdvojenim izracima a zatim množenje količinom u kojoj se javlja proizvod u godišnjem planu proizvodnje, dolazimo do vrlo korisnih podataka koji su prikazani na sl. 3.

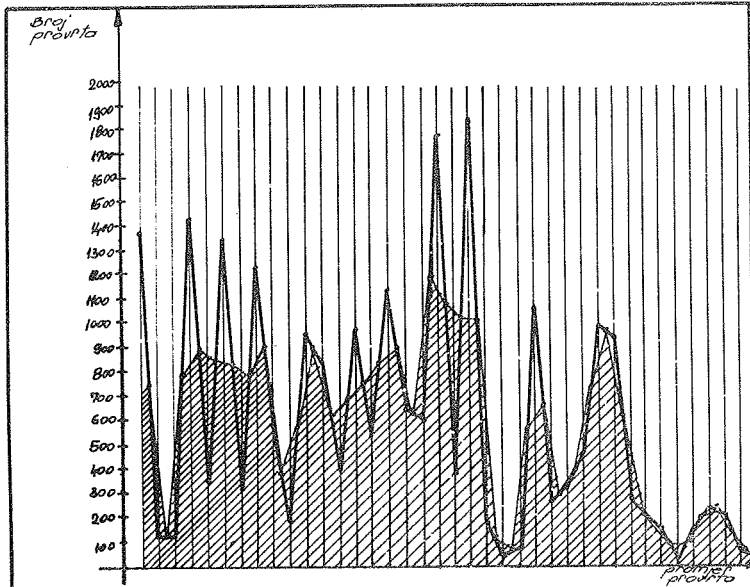
Izbor prihvata alata u radno vreteno stroja obično se izvodi sa MORZE ili ISO konusnim prihvatom. Stezanje alata izvedeno je motorski, pneumatski, hidraulično ili običnim ručnim učvršćivanjem kod MORZE-prihvata.

Modernije, funkcionalnije, kvalitetnije rješenje jeste sa ISO-prihvatom, jer takav prihvata daje povoljniju krutost sistema STROJ-ALAT-IZRADA.

Neki standardni alati izvedeni su isključivo sa MORZE prihvatom ali njih je moguće bez problema reducirati sa nastavcima i ulošcima, jer ne služe za postizanje završne kvalitete obrade.

Ovdje je nužno napomenuti, da se kod NC-strojeva u principu ne koriste razvrtači za postizanje završnog promjera provrta, već se svaki kvalitetniji provrt završno fino tokari bez razvrtavanja.

Što se tiče izbora veličine ISO-prihvata sigurno je u odnosu na krutost alata i stroja bolje, što je taj ISO-prihvata veći. Kod određenog nazivnog promjera glavnog radnog vretena konstruktivno je sasvim određena veličina ISO-prihvata za alat.



EVIDENTIRANI PRONJERI		PROIZVODI / KOLIČINU											SUMA:		
		K/1	J/R	I/S	Ø/30	F/40	E/105	D/145	C/150	B/300	A/350				
Ø 18		4	30												
Ø 17		5					105	105	300	600					
Ø 18		5					105								
Ø 20		4	90					240	450	600					
Ø 22		1								300					
Ø 25		2	75	30				145	750	300					
Ø 27		2								300					
Ø 30		2	30					725	450	300					
Ø 32		3	30					90	60						
Ø 34			30						300	600					
Ø 35		4	30					145							
Ø 38															
Ø 40		2	15	30				145	450	300					
Ø 42		2								350					
Ø 45		2							60	300					
Ø 47			30	30											
Ø 50		1							600						
Ø 52		2						240	300						
Ø 55		2	60					300	750						
Ø 60		2	30	40				725	300	750					
Ø 62			10						240	1800					
Ø 65		1	5							350					
Ø 68		2													
Ø 70		2	30												
Ø 72		1	15					60	315						
Ø 75		1	5					60	105	145					
Ø 80		1						60							
Ø 90		4	5					405	585						
Ø 92		4	5	75				1650	1950	300					
Ø 94		4	5	15				145	160						
Ø 96															
Ø 98		11	5	30				105							
Ø 100		2													
Ø 105		4	5					40	105						
Ø 110		4	15					40		150					
Ø 115		1	15												
Ø 120		1	15												
Ø 125		1													
Ø 130		1													
Ø 135		1													
Ø 140		1													
Ø 145		1													
Ø 150		1													
Ø 155		1													
Ø 160		1													
Ø 165		1													
Ø 170		1													
Ø 175		1													
Ø 180		1													
Ø 185		1													
Ø 190		1													
Ø 195		1													
Ø 200		1													
Ø 205		1													
Ø 210		1													
Ø 215		1													
Ø 220		1													
Ø 225		1													
Ø 230		1													
Ø 235		1													
Ø 240		1													
Ø 245		1													
Ø 250		1													
Ø 255		1													
Ø 260		1													
Ø 265		1													
Ø 270		1													
Ø 275		1													
Ø 280		1													
Ø 285		1													
Ø 290		1													
Ø 295		1													
Ø 300		1													

sl. 3.

Pomičnost ili nepomičnost glavnog radnog vretena ovisna je o specifičnostima izdvojenih izradaka, odnosno o veličini željenog ISO-prihvata kao i o željenoj visini krutosti kod obrade vrlo tačnih provrta.

Kod nepomičnog glavnog radnog vretena imademo mogućnost postizanja većeg ISO-prihvata, uležištenje glavnog vretena znatno je solidnije izvedeno, programiranje je jednostavnije a kvaliteta obrade površine i geometrija provrta viša je obično od tražene za ovu vrstu operacije.

Iz ovog kratkog izlaganja možemo zaključiti da je određivanje nazivnog promjera glavnog radnog vretena vezano uz više faktora tj. nije samo ovisno o promjerima provrta koji će se obradivati.

Diskusija sl. 3

- a) Gradnja NC-stroja za horizontalno bušenje tako je konceptijski rješena, da ne posjeduje linetu (konjić), već se obrada vrši tačnim okretanjem stola uz pozicioniranje  $4 \times 90^\circ$ . Ovo rješenje znatno potiskuje potrebu za pomičnim glavnim vretenom.
- b) Napominjem, da cijena NC-stroja vrlo naglo raste sa povećanjem nazivnog promjera glavnog radnog vretena, o čemu kod izbora stroja treba posebno voditi računa.
- c) Iz dijagrama na sl. 3 tj. iz pogleda na dijagram mogli bi konstatirati da nam je u odnosu na max. krutost potreban nazivni promjer cca  $200\phi$  mm pri čemu bi se svi provrti bez problema mogli obradivati.
- d) Glavno vreteno nazivnog promjera  $200\phi$  mm može prolaziti kroz obradjene provrte veće od  $200\phi$  mm do  $320\phi$  mm prema sl.3, a to je svega 101 provrt ili 0,45% od ukupnog broja provrta, za što nam nije potrebno pomično glavno radno vreteno NC-stroja.
- e) Ako se pokušamo odlučiti, radi niže cijene NC-stroja za nazivni promjer glavnog radnog vretena  $100\phi$  mm, onda to vreteno može prolaziti kroz 666 provrta ili 3% od ukupnog broja provrta. Ovim smo narušili krutost sistema za obradu većih promjera provrta prema sl. 3.

Kod nazivnog promjera  $75\phi$  mm imademo 5108 provrta ili 23,2% od ukupnog broja provrta kroz koje može proći takovo radno vreteno, pri čemu je krutost sistema ozbiljno narušena za obradu većih provrta. Očito je, da nećemo moći sniziti cijenu stroja izborom manjeg nazivnog promjera glavnog radnog vretena, stoga se odlučujemo za fiksno - nepomično glavno vreteno čiji je nazivni promjer  $75\phi$  mm za izbor NC-stroja dimenzionalno, ali je pri tome vanjski promjer glavnog radnog vretena  $125\phi$  mm, a prihvat alata ISO-50.

Cijena takovog stroja niža je za cca 10 do 15% od stroja sa nazivnim promjerom 100 $\phi$  mm uz pomično glavno vreteno.

Ovakovim načinom izbora dobili smo vrlo krut stroj. Možemo obradivati sve provrte prema sl. 3, a sačuvali smo i sve prednosti koje daje nepomično radno vreteno.

f) Pregled na sl. 3 može poslužiti kod izbora alata kojim je potrebno opremiti NC-stroj za potrebe obrade.

## 2. Izbor nosećeg, reznog i mjernog alata

Kod bušnih motaka pored kvalitete materijala bušne motke, noža i rezne oštrice, potrebno je veću pažnju posvetiti prihvatu alata i sistemu podešavanja alata na mjeru.

Pošto je riješen prihvata alata tj. donijeli smo odluku za ISO-prihvata, preostaje nam da analiziramo prednji dio bušne motke koji služi za stezanje reznog alata (noža).

Do sada najčešće upotrebljavane bušne motke konstruirane su tako, da se uz pomoć vijka koji je u osi motke vršilo pritezanje noža. Podešavanje noža na neki željeni promjer tokarenja vršio se grubo otpuštanjem vijka i ručnim izvlačenjem do željene mjere (uz pomoć kljunastog pomičnog mjerila). Fino podešavanje vrši se udarcima čekića po nožu, kada je ovaj polustegnut uz probno tokarenje i mjerenje postignutog promjera.

Očito je, da takav sistem zahtjeva mnogo prakse od strane poslužioca, truda pa da se postigne željeni rezultat, pri čemu su visoka pomoćna vremena. Kvalitet obradivanih provrta isključivo je ovisan od poslužioca stroja i varira od izratka do izratka. Udarci čekića oštećuju nož a posredno i dosjeda alata u glavnom radnom vretenu stroja.



Zaključak koji možemo izvući jeste, ovakav sistem alata ne odgovara za NC-horizontalne i vertikalne strojeve za bušenje.

Druga mnogo povoljnija konstrukcija posjeduje vijak za pritezanje noža i drugi vijak za potiskivanje noža na više. Ova konstrukcija je uklonila udaranje čekićem, ali nam nije mnogo pomogla za fino podešavanje, kod kojeg i dalje moramo vršiti probno tokarenje.

Najnovije vrlo funkcionalne konstrukcije bušne motke posjeduju mikro-vijke za podešavanje rezne oštrice na potrebnu mjeru.

Ovakove bušne motke uz zaseban uređaj za pripremanje tj. fino podešavanje alata unaprijed izvan stroja (radnog mjesta) omogućuju postizanje visokih rezultata, pa su pripremno-završna i pomoćna vremena znatno niža a kvalitet obrade naglo raste dok dorade padaju na zanemarlivo nisku vrijednost. Ovako kvalitetan alat proizvodi više svjetski poznatih firmi među koje spadaju i "KEISER"-SCHWEIZ, "MICROBORE" - Z. Njemačka.

Izbor reznog alata (noževa) ovisan je o izdvojenim izracima tj. problematici provrta, njihovoj kvaliteti, materijalu. Alat se proizvodi u zemlji a moguće ga je poručiti zajedno sa bušnim motkama.

Kontrolu na radnom mjestu od strane poslužioca prikladno je vršiti sa mjernim satovima (subitom) koji se dostavljaju na radna mjesta zajedno sa mjernim prstenovima (kalibrirani prstenovi) uz sav ostali alat. Subito se podešava na mjeru u izdavaoni alata, a kalibrirani prsten šalje se zajedno na radno mjesto, kako bi se prilikom upotrebe provjerila ispravnost mjere.

### 3. Katalog alata

Pošto tehnolozi prilikom projektiranja tehnoloških postupa rada propisuju kompleksni alat potrebno je i obavezno, da posjeduju upravo tako razradjen katalog alata.

Katalog treba sadržavati:

- vodeći alat
- noseći alat
- rezni alat
- mjerni alat
- stezni alat
- pomoćni alat

Alat je u katalogu šifriran i za sve one koji dolaze u doticaj sa alatom šifrom je jednoznačno određeno o kojem se alatu radi. Postoji i znatno vrši stepen razrade kataloga alata o kojem će biti riječi drugom prilikom.

### IV Razvoj na području eksploatacije NC-strojeva

U pogledu produktivnosti, zbog toga što nije stigao naručeni alat, još nismo iskoristili sve mogućnosti koje pružaju instalirani NC-strojevi. Nismo bili u mogućnosti lansirati u proizvodnju novu programsku dokumentaciju u kojoj smo projektirali oštrije režime rada.

Prilikom preuzimanja izradaka na NC strojeve kod starijih proizvoda nije moguće konstruktivno bitno utjecati na tehnologičnost konstrukcije jer to suviše košta i dovodi do nove koncepcije, na tom području postoji također dio rezervi povećane produktivnosti.

Kod usvajanja nove proizvodnje, oštrije se ulazi u konstrukciju koja treba da ispuni zahtjeve tehnologa-programera. Zauzeto stanovište tehnologije jeste i dalje investiranje u NC-alatne strojeve sa time da se širi krug zastupljenih strojnih operacija na koordinatno bušenje, glodanje, tokarenje.

Prilikom programiranja moguće je birati nekoliko puteva za zauzimanje željenih koordinata kod bušenja i tokarenja, ali u načelu postoji samo jedan najoptimalniji i ujedno najproduktivniji put, kojeg često nije moguće odmah pronaći. Ovo je moguće uvidom u obradu naknadno korigirati, pa i tu stoji dio rezerva za unapredjenje.

Primjer:

Na jednoj strani napada između većeg broja provrta u prvoj stijeni imademo i 3 provrta istog promjera.

Tehnolog-programer može redom programirati koordinate provrta od jedne strane prema drugoj strani

U drugom slučaju tehnolog-programer može programirati redom provrte ali kada dodje do prvog od 3 jednaka provrta dalje programira ostala dva u slijedu pri tom preskoče neke provrte ali ne mijenja alat.

Ovdje je potrebno sada uvidom i mjerenjem konstatirati, koji put daje veću uštedu i njega primijeniti.

Prema projektima i elaboratima u narednim godinama vršit ćemo i daljnje ulaganje u NC strojeve sa ciljem da u 1974. godini posjedujemo cca 6 + 7 strojeva za različite operacije obrade. U 1975. godini smatramo, da ćemo biti u mogućnosti numerički obradivati neke cijelokupne izratke, što će biti značajan korak u korištenju NC-strojeva kao i porastu produktivnosti rada.

V Ekonomska interpretacija postignutih rezultata na NC-strojevima

Izraci koji su preuzeti na NC-horizontalnu bušilicu kreću se u godišnjim potrebnim količinama od 120 do 350 kom/god.

Kako ne bi imalo smisla zbog opširnosti materijala prikazivati rezultate svakog od preuzetog izratka izdvojio sam jedan reprezentant u godišnjoj količini od 200 kom/god.

			BORWERK "SCHARMANN"	
			NC	KLASICNI
			950x1100 mm	950x1100 mm
1.	Jačina motora	KW	13	13
2.	Cijena stroja	DM	350.300	187.500
3.	Cijena pribora	DM	62.011	40.610
	Ukupno (2+3)	DM	412.311	228.110
4.	Protuvrtna jednost u	N.D.in	1,408.166	779.064
5.	Carina, tr.car. i porez (36+4) = 40%		563.266	311.626
6.	Troškovi transporta, montaže i td. 5%		70.408	38.953
	NABAVNA VRIJEDNOST (4-6) u N.D.		2,041.840	1,129.643
7.	Stopa otkisa po odluci RS-a %		11,5	11,5
8.	Roč eksploatacije	god.	8,7	8,7
9.	Amortizacija	ND/god	234.912	129.909
10.	Troškovi kamata i odr.	ND/god.	142.929	79.075
11.	Troškovi energije	ND/god.	12.096	12.096
12.	Osobni dohodci izrade 2 smj.	ND/god.	65.117	65.117
13.	Opći troškovi izrade	ND/god	65.768	65.768
14.	Ukupno cijena stroja (9-13)		520.822	351.965
15.	Planirani fond E S/god. 2 smj.		3750	3750
16.	CK-a ES (14:15) N.D.in		138,60	93,58
17.	Opći troškovi uprave i pr.po ES		10,12	10,12
18.	Ukupno CK-a sata stroja N.D.in		148,72	103,70
19.	Prosječno normirano vrijeme za odabran uzorak (NS/100m)		5,5	10, $\frac{1}{6}$
20.	Factor proizvodnosti 19/60'		0,088	0,168
21.	Troškovi po kom/NS 20x18		13,09	17,42
22.	Trošk. po kom reprezentantu		817,96 ND	1.054,28 ND

Radi mogućnosti komparacije od istog proizvođača uzeo sam nabavne cijene za klasičnu horizontalnu bušilicu i za NC-horizontalnu bušilicu. Izradak je obradjen na klasičnoj horizontalnoj bušilici istih tehničkih karakteristika koje posjeduje i zamišljena klasična horizontalna bušilica od istog isporučioaca, a drugi puta izradak je obradjen na NC-horizontalnoj bušilici.

Vrijeme izrade reprezentanta na klasičnoj horizontalnoj bušilici iznosi  $10 \frac{1}{6}$  sati, na NC-horizontalnoj bušilici 5,5 sati. Stepenn proizvodnosti iznosi (za ukupni fond sati u 2 smjene 3750 NS/god.)

a) NC-horizontalna bušilica

$$3750:5,5 = 682 \text{ kom/god. reprezentanta}$$

b) Klasična horizontalna bušilica

$$3750:10\frac{1}{6} = 370 \text{ kom/god. reprezentanta}$$

Iz ovog podatka vidljivo je postiziva produktivnost, smanjenje protoka kroz proizvodnju, smanjenje troškova skladištenja, kraći rokovi isporuke. U tabe 1. prikazani su ekonomski efekti investicionog ulaganja u NC-strojeve.

Iz tabele 1 proizlazi da su bila potrebna sredstva za:

- NC-horizontalnu bušilicu	2.041.840 N.D
- Klasičnu horizontalnu bušilicu	1.129.643 N.D

Dakle, bila su potrebna znatno veća investiciona sredstva za NC-stroj i to za 912.197 N.D. ili 80,5% u odnosu na klasičnu horizontalnu bušilicu istih karakteristika.

Analiza pokazuje da je NC-horizontalna bušilica za 90,9% produktivnija od klasične i da je ekonomičnija za 24,8% što donosi godišnju uštedu u troškovima od 149.663,52 N.D. ili u periodu eksploatacije 1,302.072,62 N.D. a to je 115% od ukupne vrijednosti klasične bušilice ili 62% od vrijednosti NC-horizontalne bušilice.

Tabela: 2

ELEMENTI STRUKTURE VREMENA (min.)					
STROJ	$T_{pz}$ (min.)	$t_s + t_{ps}$ (min.)	$t_{po}$ (min.)	$t_o$ (min.)	$\Sigma$ (min.)
NC	6	18,3	3,0	61,75	89,05
KLAS.	12	80,6	2,5	100,75	195,85
RAZLIKA U % VREMENA	+50,0%	+77,3%	-20,0%	+39%	+54,5%

Tabela: 3

STRUKTURA VREMENA u (min.)										
STROJ	$T_{pz}$		$t_s + t_{ps}$		$t_{po}$		$t_o$		$\Sigma$	
	(min.)	%	(min.)	%	(min.)	%	(min.)	%	(min.)	%
NC	6	6,7	18,3	20	3,0	3,4	61,75	69,3	89,05	100
KLAS.	12	6,14	80,6	41,2	2,5	1,28	100,75	51,2	195,85	100

Tabela: 4

STRUKTURA VREMENA u (min.)										
STROJ	$T_{pz}$		$t_s + t_{ps}$		$t_{po}$		$t_o$		$\Sigma$	
	min.	%	min.	%	min.	%	min.	%	min.	%
NC	6	4,7	18,3	14,3	3,0	2,3	100,75	78,5	128,05	100
KLAS.	12	6,14	80,6	41,2	2,5	1,28	100,75	51,2	195,85	100

Iz ovog proizlazi zaključak da je rentabilnije ulagati u NC-horizontalnu bušilicu nego u klasičnu bušilicu.

Ovakav zaključak daju činjenice da se analiza temelji na graničnim troškovima, odnosno graničnoj dobiti koja predstavlja uštedu u troškovima. Naime, cijena NS rada na NC-stroju iznosi 148,72 N.D. a cijena NS na klasičnom stroju iznosi 103,70 N.D.

Cijena obrade iznosi:

a) NC-horizontalna bušilica  $148,72 \times 5,5 = 817,96$  N.D

b) Klasična horizon.bušilica  $103,70 \times 10 \frac{1}{6} = 1.054,28$  N.D.

Obrada reprezentanta jeftinija je za 235,32 ND/kom. tj. za 24,8% na NC-stroju u odnosu na klasičan stroj.

VI Ponašanje strukture vremena izrade prema bitnijim elementima u odnosu na ukupno vrijeme izrade kod klasične i NC-horizontalne bušilice za 1 komad izratka.

Mi bi željeli da udio korisnog rada tj. udio vremena koji se isključivo troši na skidanje strugotine bude najveći, odnosno veći od zbira svih ostalih vremena koja čine vrijeme obrade izratka za spomenutu operaciju.

U tom slučaju, dobivamo potvrdu da smo koristan trud uložili u organizaciju pripreme radnog mjesta i da smo investirali u stvarno produktivniji stroj od postojećih u proizvodnji.

U tabeli bit će riječi o slijedećim vremenima:

$$t_z = t_a + t_s \text{ (min)}$$

$$t_p = t_{pa} + t_{ps} \text{ (min)}$$

$$t_i = t_t + t_p \text{ (min)}$$

$$t_l = t_i (1 + K_d) \text{ (min)}$$

$t_t$  = tehnološko vrijeme

$t_a$  = vrijeme automatike stroja  
(skidanje strugotine)

$t_s$  = vrijeme ručnih radova

$t_p$  = pomoćno vrijeme

$t_{pa}$  = pomoćno vrijeme automatike  
stroja

$t_{ps}$  = pomoćno vrijeme ručnih  
radova

$t_i$  = vrijeme izrade

$t_1$  = komadno vrijeme

$K_d$  = koeficijent dodatnog vremena



U tabeli 2 možemo uočiti da su u strukturi vremena sva vremena niža na NC-stroju u odnosu na klasičan stroj osim ( $t_{pa}$ ) vrijeme koje je normalno više kod NC jer klasičan stroj zauzima automatski samo okretanje stola a sve ostalo se izvodi ručno.

Iz tabele 3 možemo konstatirati da se kod klasične obrade 48,8% vremena troši na sporedne radove a 51,2% vremena na obradu skidanja strugotine ili korisnu obradu.

Kod NC-stroja 30,7% vremena troši se na sporedne radove a 69,3% vremena na obradu skidanja strugotine, dakle 18,1% vremena se gubi manje na sporednim radovima kod obrade na NC-stroju.

Pošto su na NC-stroju primjenjeni znatno oštrij režimi rada to je strojno vrijeme ( $t_a$ ) niže za istu obradu od onog na klasičnom stroju. Kod komporocije tog vremena mora se voditi računa da je za toliko još porasla produktivnost a odnosi su se narušili prividno na štetu NC-stroja.

Ovo je stanje radi sagledavanja prikazano u tabeli 4. U toj tabeli prikazao sam vrijeme ( $t_a$ ) jednako za NC i klasičan stroj, dakle, kao da su svi režimi rada isti, a to su: broj prolaza, dubine rezanja, broj okretaja, brzina posmaka i sada tabela prikazuje koliko smo u strukturi vremena obrade postigli novim NC-strojem u odnosu na postojeći strojni park. Odnos od 18,1% više nije realno poboljšanje kao što sam zaključio iz tabele 3 već je to 27,3% vremena koje se gubi manje na sporednim radovima kod obrade na NC-stroju.

## Kurze Inhaltsangabe

Problemstellung für die Auswahl der Werkstücke zur kapazitiven Ausnutzung von horizontalen NC- Bohr- und Fräswerken. Beispiele über die Möglichkeiten solcher Auswahl aus der unmittelbaren Fertigung. Kurze Beschreibung der Werkzeugauswahl für NC Maschinen.

Ausführliche wirtschaftliche Analyse und Rentabilitätsberechnung beim Einsatz von NC - Bohr - und Fräswerken aufgrund der Bearbeitung von Werkstücken aus der normalen Fertigung.

R. Milisavljević \*

PROBLEMI EKONOMIČNE EKSPLOATACIJE MAŠINA ZA PROVLAČENJE \*\*

### 1. U v o d

Na operacije provlačenja sve češće se nailazi u tehnološkim postupima izrade delova u serijskoj i masovnoj proizvodnji. U savremenoj jugoslovenskoj literaturi, uglavnom, o ovoj vrsti obrade ima veoma malo podataka. Kroz realizaciju projekta za definisanje strukture troškova obrade za proizvodne operacije koje se izvode obradom rezanja u Fabrici automobila Zavodi "Crvena zastava" došlo se i do nekih elemenata eksploatacije alata i mašina za obradu provlačenjem.

U ovom saopštenju prikazuje se, pored ostalog, geometrija alata za provlačenje i struktura troškova obrade proizvodnih operacija ove vrste. Učinjen je i pokušaj da se izvedu neki zak-

---

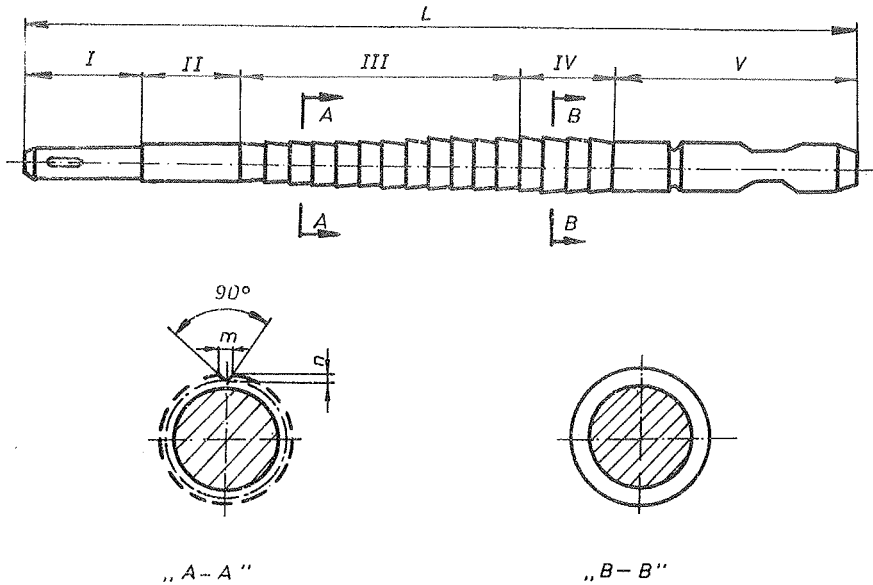
\* Radovan Milisavljević, dipl.inž., Zavodi "Crvena zastava" Kragujevac, saradnik Instituta za alatne mašine i alate iz Beograda.

\*\* Saopštenje je proizašlo iz rada na projektu za definisanje strukture cene troškova obrade u I pogonu Fabrike automobila Zavoda "Crvena zastava" pomoću elektronskog računara. Projekat je izradjen u saradnji sa Mašinskim fakultetom Beograd - Odeljenje u Kragujevcu.

ljučci o pravcima delovanja u cilju poboljšanja rentabilnosti obrade na mašinama za provlačenje.

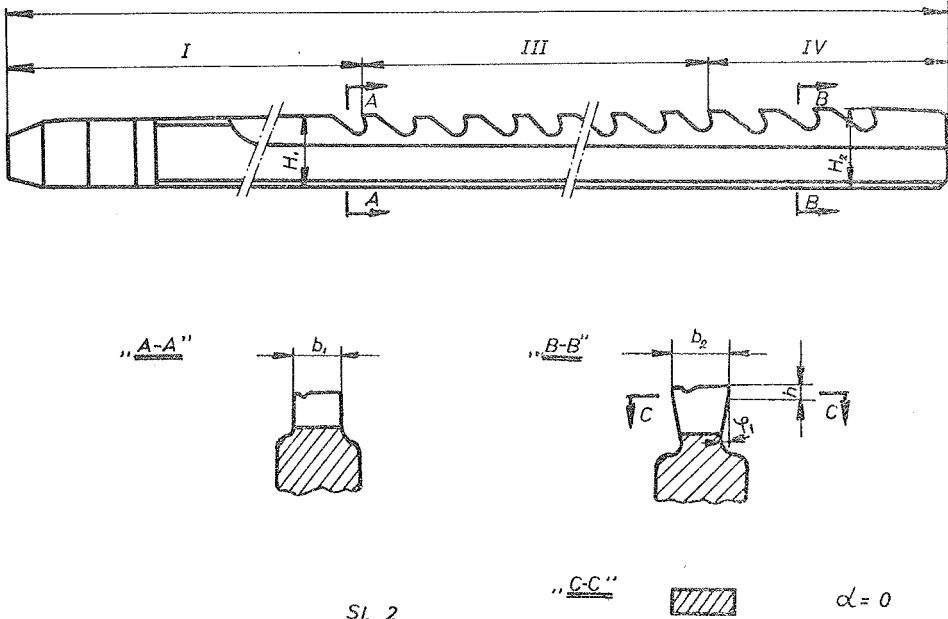
## 2. Kinematika procesa rezanja, geometrija alata i oblik habanja provlakača

Zavisno od postupka za obradu razlikujemo dve vrste provlačenja. Unutrašnje provlačenje je postupak za obradu fazoniranih površina po unutrašnjoj konturi radnog predmeta, dok se kod spoljašnjeg provlačenja obrađuje spoljašnja kontura radnog predmeta. U oba slučaja alat - provlakač izvodi glavno pravolinijsko kretanje, bez pomoćnih kretanja, tako da je po svojim osnovnim kretanjima ovaj način obrade vrlo jednostavan, a isto tako i mašina. Pomoćno kretanje je definisano geometrijom alata, gde se zubi provlakača idući od ulaznog ka izlaznom delu provlakača postepeno povećavaju te zato alat s obzirom na njegovu izradu predstavlja veoma složen element.



SL. 1

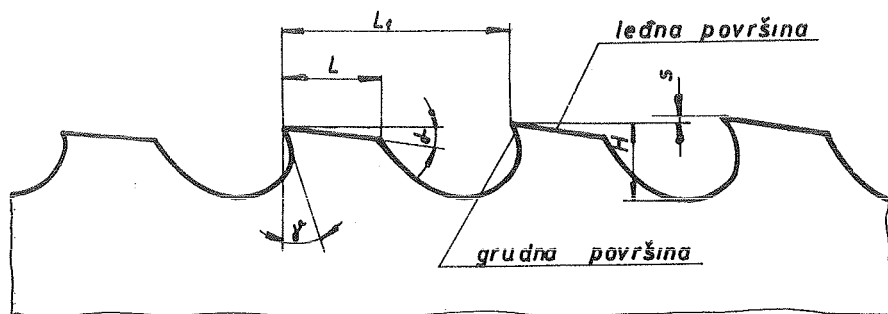
Na slici 1 prikazani su karakteristični delovi alata za unutrašnje provlačenje. Ulazni deo provlakača čini vrat (deo I), i on služi za stezanje u vučni element mašine. Vodjica provlakača (deo II) obezbedjuje centrično vodjenje alata kroz radni predmet. Deo III predstavlja konični, režući deo provlakača, dok deo IV predstavlja kalibrisani deo koji je cilindričan i koji obezbedjuje završni oblik traženog profila. Deo V služi za stezanje provlakača pri povratnom hodu.



Sl. 2

Na slici 2 prikazani su karakteristični delovi alata za spoljašnje provlačenje. Osnovna koncepcija provlakača ista je i za spoljašnje i za unutrašnje provlačenje. Sa slike 2 jasno se uočava povećanje profila zuba provlakača, gde se širina povećala sa vrednosti  $b_1$  na vrednost  $b_2$ , a visina sa vrednosti  $H_1$  na vrednost  $H_2$ . Najvažniji i za izradu najteži je konični, režući

dec. provlakača, bilo da se radi o spoljašnjem ili unutrašnjem provlačenju.



SL.3

Veličine koje karakterišu geometriju zuba režućeg dela provlakača prikazane su na slici 3, gde naznačene veličine predstavljaju:

- $s$  - dubina rezanja po jednom zubu
- $\gamma$  - grudni ugao
- $\delta$  - leđni ugao
- $l_1$  - rastojanje izmedju zuba provlakača
- $l$  - širina leđne površine
- $H$  - visina zuba provlakača

Najvažnije veličine, kako za vek trajanja provlakača tako i za kvalitet obradjene površine, su veličine dubine rezanja, grudnog ugla i leđnog ugla.

Na slici 4 prikazan je oblik habanja provlakača za unutrašnje provlačenje. Veličina odlučujuća za kriterijum zatupljenja je habanje po leđnoj površini. Habanje po grudnoj površini je neznatno jer je dodatak za obradu po jednom zubu mali, a sa-

mm tim i presek strugotine, te je i trenje strugotine po

grudnoj površini nez-

natno. S druge strane

obzirom da je ledjni

ugao režućeg dela pro-

vlakača mali to posto-

ji veliko trenje izme-

dju ledjne površine re-

žućeg dela provlakača i

radnog predmeta pa otu-

da imamo veliko habanje

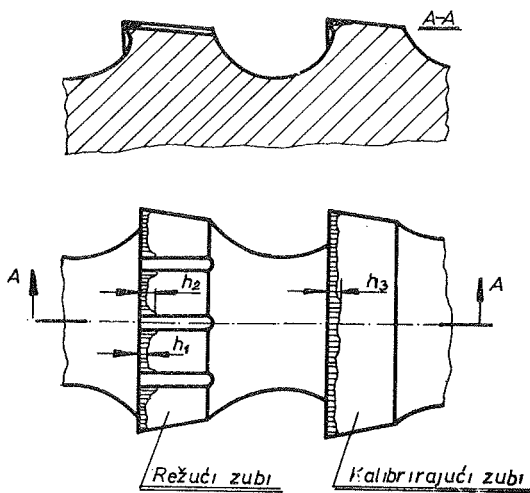
po ledjnoj površini. Pro-

vlakači se oštire po gru-

dnoj površini sve dok je

završna mera radnog pred-

meta zadovoljena, ili dok



sl.4

se zubi ne oslabe toliko da dodje do njihovog loma.

### 3. Struktura troškova obrade

Za definisanje troškova obrade proizvodnih operacija koje se izvode rezanjem koristi se sledeći izraz;

$$U_0 = R + A + M \quad \text{gde su:}$$

$U_0$  - troškovi obrade

$R$  - lični dohod proizvodnih radnika i brigadira

$A$  - troškovi alata

$M$  - troškovi mašine

Opterećenje proizvodne operacije ličnim dohodima proizvodnih radnika i brigadira definisano je izrazom;

$$\bar{n} = n \cdot k_1 \cdot t_k \quad \text{gde je:}$$

$n$  - faktor koji uzima u obzir učešće brigadira i reglera u opterećenju proizvodne operacije ličnim dohocima

$k_1$  - lični dohodak proizvodnog radnika

$t_k$  - vreme izvodjenja operacije

Troškovi reznog alata definisani su izrazom;

$$A = (n \cdot k_1 \cdot t_1 + k_2 \cdot t_2 + \frac{Ca}{i+1}) \cdot \frac{1}{Z_p} \quad \text{gde je:}$$

$t_1$  - vreme promene alata

$t_2$  - vreme oštrenja alata

$k_2$  - lični dohodak oštrača

$Ca$  - nabavna vrednost alata

$i$  - broj mogućih oštrenja alata

$Z_p$  - broj komada koji se alatom može obraditi između dva oštrenja, a određuje se po obrascu;

$$Z_p = \frac{F}{t_g} \quad \text{gde je}$$

$F$  - postojanost alata

$t_g$  - vreme efektivnog rezanja

Pod troškovima mašine podrazumeva se opterećenje svake proizvodne operacije amortizacijom mašine. Ovaj deo troškova obrađe definisan je izrazom;

$$M = \frac{C_m \cdot p}{F \cdot \eta \cdot 100 \cdot 60} \cdot t_k = \frac{A_m}{Z_g}, \quad \text{gde je:}$$

$C_m$  - vrednost mašine na koju se primenjuje amortizaciona stopa

$F$  - godišnji fond časova mašine

$\eta$  - vremenski stepen iskorisćenja mašine

$A_m$  - godišnja amortizacija mašine

$Z_g$  - broj operacija koji se na mašini izradi u toku godine

Troškovi proizvodnje jedne proizvodne operacije sadrže pored



troškova obrade i ostale elemente koji utiču na cenu koštanja operacija, kao naprimer, troškove električne energije, vode, komprimovanog vazduha, amortizacije opreme koja ne pripada proizvodnim mašinama, troškove održavanja, troškove organizovanja proizvodnje. Troškovi obrade, međjutim, učestvuju sa preko 60% u troškovima proizvodnje, te su oni kao najuticaj-niji i uzeti za analizu. Analiziranjem izvesnog broja operacija koje se izvode provlačenjem u savremenim jugoslovenskim proizvodnim uslovima došlo se do strukture troškova obrade koja je prikazana tabelom 1.

Tabela 1.

Uo (din)	R (din)	A (din)	M (din)
0,583	0,083	0,255	0,245
100%	14%	44%	42%

U tabeli 1 su date prosečne vrednosti troškova obrade. Jasno se vidi da lični dohoci učestvuju samo sa oko 14% u troškovima obrade, dok troškovi alata učestvuju sa oko 44%, a troškovi mašine sa oko 42%. Ovako malo učešće ličnih dohodaka u troškovima obrade rezultat je malog vremena potrebnog za izvođenje jedne operacije, jer se radi o visokoproduktivnim mašinama. Alati i mašine imaju vrlo visoke cene te su zato troškovi alata i troškovi mašina relativno visoki u odnosu na lične dohotke proizvodnih radnika u bruto iznosu.

#### 4. Problemi definisanja strukture troškova obrade

U savremenim jugoslovenskim proizvodnim uslovima sve parametre potrebne za obračun troškova obrade možemo svrstati u dve grupe:

- parametri koji su poznati
- parametri čije je definisanje problematično

#### 4.1. Osvrt na parametre koji su poznati u proizvodnim uslovima

Neki parametri ove vrste se nalaze već definisani u pojedinim službama, dok se drugi deo parametara određuje na osnovu podataka koji se dobijaju od odgovarajućih službi. U odseku studije vremena mogu se uzeti iz normativa vremena vrednosti vremena ( $t_k$ ,  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_g$ ). Služba za ekonomiku raspolaže podacima o ličnim dohocima kako proizvodnih radnika tako i oštrača ( $k_1$  i  $k_2$ ) i podatkom o godišnjoj amortizaciji mašina ( $Am$ ). Odsek alata raspolaže sa podacima o nabavnim vrednostima pojedinih alata ( $Ca$ ). Faktor ( $n$ ) koji uzima u obzir učesće brigadira i reglera u opterećenju proizvodne operacije ličnim dohocima izračunava se na osnovu ličnih dohodaka proizvodnih radnika i brigadira i na osnovu broja mašina koje opslužuje jedan regler. Broj operacija ( $Z_g$ ) koji se na mašini izvodi u toku godine određuje se na osnovu plana delova i broja operacija koje se izvode na jednoj mašini.

#### 4.2. Osvrt na parametre čije je definisanje problematično

Jedan od parametara čije je definisanje problematično je postojanost alata. Veza između postojanosti alata pri provlačenju i elemenata koji definišu proizvodne uslove nedovoljno je poznata i kod nas i u svetu. Postojanost, za postojeće proizvodne uslove, je određena na osnovu stvarnog stanja pri eksploataciji provlakača.

Određivanje broja mogućih oštrenja provlakača je takođe problematično. Kriterijum zatupljenja, tj. veličina habanja nije

konstantna veličina, a takodje dolazi i do krzanja i loma provlakača, što problem još više komplikuje. Dodatak za oštrenje je dobijen merenjem dimenzije pre i posle oštrenja. Broj mogućih oštrenja određen je na osnovu dozvoljene veličine za skidanje zuba provlakača i dodatka za oštrenje. Ova vrednost je umanjena za izvestan procenat zbog toga što dolazi do loma i krzanja provlakača u eksploataciji.

## 5. Zaključci

Da bismo proizvodili sa minimalnim troškovima obrade potrebno je najpre sagledati strukturu troškova proizvodnje, a onda delovanjem na najuticajnije troškove svesti ih na minimum. Već smo ranije rekli da troškovi obrade učestvuju sa preko 60% u troškovima proizvodnje, dok ostali troškovi učestvuju sa manje od 40%. Ako su troškovi proizvodnje 1 din. ušteđa na troškovima obrade od 1% iznosila bi 0,0060 din., dok bi ušteđa od 1% na ostalim troškovima iznosila 0,0040 din. Iz ovog primera jasno se vidi da za istu procentualnu ušteđu imamo 1,5 puta veći finansijski efekat na troškovima obrade nego na ostalim troškovima. Sledi zaključak da uvek treba delovati na najuticajnije troškove u strukturi troškova jer je tada i učinak najveći.

U troškovima obrade najuticajniji su troškovi mašine i troškovi alata. Troškove mašina definiše godišnja amortizacija mašina i broj operacija koji se u toku godine izvodi na mašinama, dok su u troškovima alata najuticajniji parametri nabavna vrednost alata, broj mogućih oštrenja i postojanost odnosno broj urađenih komada između dva oštrenja. Troškovi zamene i troškovi oštrenja alata ne učestvuju sa velikim pro-

centom u troškovima alata. Iz dosadašnjeg izlaganja sledi zaključak da su najuticajniji parametri troškova obrade godišnja amortizacija, broj operacija koji se u toku godine izradi na jednoj mašini i nabavna vrednost alata.

Tabela 2.

Parametar	jed. mere	Vrednost parametra
Godišnja amortizacija mašine	din.	11.000 ± 130.000
Nabavna vrednost alata	din.	180 ± 6.800
Broj operacija koji se izvodi u toku godine na jednoj mašini	br.	53.000 ± 400.000

U tabeli 2 date su vrednosti najuticajnijih parametara potrebnih za obračun troškova obrade. S obzirom da se vrednosti najuticajnijih parametara kreću u širokim granicama, to je praktično nemoguće izvesti neke zaključke na osnovu prosečnih vrednosti troškova obrade, te ćemo u cilju pojednostavljenja problema navesti još nekoliko primera.

Primer br.1

Ca (din)	Am (din)	Zg (br.)	Uo (din)	R (din)	A (din)	M (din)
1.100	54.000	87.000	0,764	0,086	0,158	0,520
			100%	11%	21%	68%

Primer br. 2

Ga (din)	Am (din)	Zg (br.)	Uo (din)	R (din)	A (din)	M (din)
500	40.000	400.000	0,236	0,036	0,116	0,084
1000			0,301	0,039	0,178	0,084
1400			0,261	0,058	0,119	0,084
1400			0,290	0,047	0,159	0,084
prosečne vrednosti			0,272	0,045	0,143	0,084
			100%	16,5%	52,5%	31%

Primer br.3

Ga (din)	Am (din)	Zg (br.)	Uo (din)	R (din)	A (din)	M (din)
900	11.000	53.000	0,370	0,044	0,150	0,176
			100%	12%	41%	47%

Iz primera br.1 jasno se uočava da u ukupnim troškovima obrade najveće učešće imaju troškovi mašine oko 68%. Razlog za ovako visoke troškove mašine ležu u nedovoljnom korišćenju kapaciteta ove mašine koja ima i najveću vrednost godišnje amortizacije. Struktura troškova u primeru br.2 bitno se razlikuje od strukture troškova u primeru br.1. Ovde su najuticajni troškovi alata čije je učešće oko 52,5% u ukupnim troškovima obrade. Primerom br.3 prikazana je mašina koja ima najnižu vrednost godišnje amortizacije, a uz to na njoj se izvodi i najmanji broj operacija u toku godine.

Struktura troškova obrade nam govori samo koji su troškovi najuticajni i na koje trebamo delovati u cilju povećanja rentabilnosti poslovanja, dok kao merilo za rentabilnost

pcalcovanja u metaloprerađivačkoj industriji možemo uzeti troškove obrade, čije su vrednosti za navedene primere date u tabeli 3.

Tabela 3.

Primer br.1	$U_0 = 0,764$ din.
Primer br.2	$U_0 = 0,272$ din.
Primer br.3	$U_0 = 0,370$ din.

Najveći troškovi obrade su u primeru br.1. Ako iz analize izuzmemo lične dohotke obzirom da najmanje utiču na troškove obrade, a takodje i troškove alata obzirom da je njihova vrednost u sva tri slučaja približno ista, to u troškovima obrade analiziramo samo troškove mašine. Vrednost godišnje amortizacije  $A_m$ , broj operacija koji se u toku godine izvodi na jednoj mašini  $Z_g$  i troškovi mašine dati su u tabeli 4.

Tabela 4.

Primer	$A_m$ (din)	$Z_g$ (br.)	$M$ (din)
br.1	54.000	87.000	0,526
br.2	40.000	400.000	0,084
br.3	11.000	53.000	0,176

Mašina sa najvećim stepenom iskorišćenja ima najniže troškove mašine, iako je njena godišnja amortizacija više od 3 puta veća nego godišnja amortizacija koja je data u primeru br.3. S druge strane mašina sa najnižom godišnjom amortizacijom nema najniže troškove mašine jer je nedovoljno iskorišćena.

Na osnovu dosad iznetog mogu se jasno sagledati pravci u ko-

jima treba delovati da bi se što jeftinije proizvodilo.

- (i) Pri izboru nove opreme treba analizirati više varijanta u cilju sagledavanja ukupnih troškova obrade i izabrati najpovoljniju varijantu. Zakoni koji važe u zapadnim zemljama, gde se isplati ići na visokoproduktivnu ali i skupu opremu, jer su serije velike, a takodje i lični dohoci, ne važe u našim proizvodnim uslovima.
- (ii) Vreme potrebno za izvodjenje jedne operacije ne treba posmatrati kroz povećanje troškova obrade jer učestvuje u njima samo sa oko desetak procenata, te se u ukupnom bilansu ne gubi mnogo. Daleko je važnije posmatrati iskorišćenje kapaciteta mašina i opreme, jer se amortizacija koja se plaća, bez obzira radili ili ne, deli na veći broj operacija u slučaju većeg stepena iskorišćenja, a samim tim znatno snižavaju troškovi obrade.
- (iii) Troškovi alata takodje znatno opterećuju proizvodne operacije te njima treba posvetiti puno pažnje. Projektovanjem ekonomičnih režima, razradom tehnologije oštrenja alata, optimalnom geometrijom alata i pravilnim izborom sredstva za hladjenje kao elementima koji najviše utiču na vek trajanja jednog alata mogu se takodje sniziti troškovi obrade. Ovo naročito važi za skupe alate čije je učešće u ukupnim troškovima obrade znatno.

## 6. Literatura

- (1) P. Stanković, mašinska obrada, I knjiga, Obrada metala rezanjem, Gradjevinska knjiga, Beograd (1967).
- (2) D. Vukelja, V. Simonović, Prilog optimalizaciji obrade rezanjem na strugu, Saopštenje IAMA, 9 (1969) 1273.

(3) B.Ivkević, S.Smiljanić, Razgraničenje troškova proizvodnje  
i raspodela prema radu, Direktor, 16 (1970) Beograd.

R.Milislavljević

#### Problems for Economical Exploitation of Broaching Machines

Out of the project "Machining Costs Reduction in Cutting" the author has taken the costs of production operations in broaching and made their analysis. This notification gives partial costs of a machine, labour and tools involved as well as their participation in total costs. At the end of the notification a short review has been given on measures to be taken in order to reduce the broaching costs.

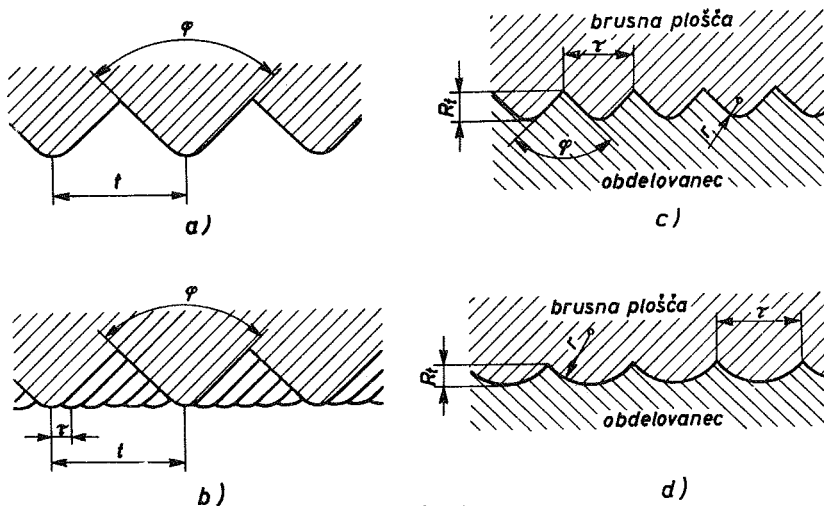


H. Muren\*

VPLIV GEOMETRIJE BRUSNE PLOŠČE NA KVALITETO POVRŠINE \*\*

Na kvaliteto brušenja vpliva vrsta faktorjev, tako npr. hitrosti rezanja in podajanja, oblika in material obdelovanca, hladilno sredstvo, oscilacije itd. Med vplivnimi faktorji je zelo važna geometrijska oblika brusne plošče, ki zajema obliko in premer brusne plošče, material in obliko zrna, vrsto veziva, obrabo zrna itd. Povezavo med geometrijo brusne plošče in kvaliteto površine smo skušali raziskati ločeno od drugih vplivnih faktorjev na osnovi nove hipoteze.

Brusna plošča je orodje z nedefinirano geometrijo rezanja, vendar je število rezalnih vrhov (zrn) tako veliko, da omogoča statistično obdelavo. Zato je bila za nadaljnji proračun namesto dejanske oblike brusne plošče predpostavljena idealizirana oblika, ki ima na površini enaka zrna v obliki piramide z zaokroženim vrhom. Zrna so razporejena po površini v obliki enostopenjske vijačnice. Slika 1a kaže prerez skozi brusno ploščo, slika 1b pa prekritje zrn zaradi vijačnega razporeda. V primeru absolutno



Slika 1

\* dr. Hinko Muren, dipl. ing., izr. profesor Fakultete za strojništvo, Ljubljana

\*\* Obvestilo iz Inštituta za strojništvo pri Fakulteti za strojništvo, Ljubljana

čistega rezanja (brez odtravanja materiala oz. plastične deformacije) bi s takim brusom dobili v smeri pravokotno na rezalno hitrost površino, ki je prikazana na slikah 1c in 1d. Površina po sliki 1c bi nastala samo pri brusih z zelo grobim zrnom in majhnim premerom brusne plošče, v večini primerov bo pa brusila samo zaokrožitev na vrhu in bi zato površina imela obliko po sliki 1d.

Maksimalna hrapavost bo pri  $\tau > 2 r \cos \varphi/2$ :

$$R_t = \frac{\tau}{2 \operatorname{tg} \varphi/2} - \frac{r}{\sin \varphi/2} + r \quad (1a)$$

Če je  $\tau \leq 2 r \cos \varphi/2$  bo hrapavost:

$$R_t = r - \sqrt{r^2 - (\tau/2)^2} \quad (1b)$$

Aritmetična srednja hrapavost bo za  $h > r (1 - \sin \varphi/2)$ :

$$R_a = 2/\tau \cdot \left[ r (1 - \sin \varphi/2) + (\tau/2 - r \cos \varphi/2) \cdot \operatorname{ctg}^2 \varphi/2 - h \right]^2 \cdot \operatorname{tg} \varphi/2 \quad (2a)$$

oziroma za  $h < r (1 - \sin \varphi/2)$ :

$$R_a = 2 r^2/\tau \cdot (\operatorname{arc} \sin \alpha - \sin \alpha \cos \alpha) \quad (2b)$$

pri tem je:  $\cos \alpha = (r-h)/r$

Vrednost  $h$  v enačbah 2a in 2b je:

$$h = r (1 - \sin \varphi/2) + 2/\tau \cdot \left\{ \frac{1}{2} (\tau/2 - r \cos \varphi/2)^2 \operatorname{ctg} \varphi/2 - r^2 \left[ \frac{\pi}{360} (90 - \varphi/2) - \frac{1}{2} \sin \varphi/2 \cdot \cos \varphi/2 \right] \right\} \quad (3)$$

Za  $\tau < 2 r \cos \varphi/2$  je treba računati hrapavost po enačbi:

$$R_a = 2 r^2/\tau \cdot \left[ \operatorname{arc} \cos \gamma - \sin \gamma \cdot \cos \gamma \right] \quad (4)$$

pri tem je  $\cos \gamma = (r-h)/r$

$$h = r \left[ 1 - \frac{1}{2} \cos \beta - \frac{r}{\tau} \operatorname{arc} \sin \beta \right] \quad (5)$$

Navidezna razdalja zrn se lahko izračuna po enačbi

$$\tau = \frac{k_t \cdot t^2}{d_b \cdot \pi} \quad (6)$$

- $t$  ... dejanska razdalja zrn  
 $d_b$  ... premer brusne plošče  
 $k_t$  ... korekturni faktor, ki upošteva razliko med idealizirano in dejansko razporeditvijo zrn.

Hrapavost v smeri rezalne hitrosti je mogoče izračunati na podoben način. Kot rezultat dobimo enačbe, ki so matematično enake enačbam 1 do 5, s to razliko, da je vanje treba vstavljati:

1. namesto  $\tau \longrightarrow s = \frac{v_o}{v_b} \cdot \frac{d_b}{2} \cdot \tau$

( $v_b$  ... rezalna hitrost,  $v_o$  ... hitrost podajanja v smeri rezalne hitrosti,  $d_b$  ... premer brusa)

2. namesto  $r \longrightarrow d_b$  (premer brusa).

S temi vrednostmi dobimo hrapavosti, ki so mnogo manjše od hrapavosti pravokotno na rezalno hitrost in jih zato v nadaljevanju ne bomo podrobneje raziskovali.

Če v enačbe 2 do 5 za srednjo hrapavost  $R_a$  vstavljamo numerične vrednosti dobimo tabelo 1.

Tabela 1. Teoretične vrednosti za srednjo hrapavost  $R_a$  v mm

$\tau$ \ $r$	0,005	0,01	0,02	0,04
0,004	0,00011	0,00005	0,00003	0,00001
0,008	0,00047	0,00021	0,00010	0,00005
0,016	0,00167	0,00095	0,00042	0,00020
0,032	0,00381	0,00333	0,00190	0,00084
0,064	0,00787	0,00762	0,00667	0,00380
0,127	0,01587	0,01575	0,01525	0,01333
0,255	0,03180	0,03175	0,03149	0,03050
0,509	0,06365	0,06362	0,06349	0,06299
1,019	0,12732	0,12729	0,12724	0,12699

Iz vrednosti v tej tabeli lahko zaključimo, da za majhne vrednosti  $\tau$  velja s precejšnjo natančnostjo enačba:

$$R_a = C_1 \cdot \frac{\tau^2}{r} = K_1 \cdot \frac{t^4}{d_b^2 \cdot r} \quad (7)$$

Za večje vrednosti  $\tau$  se nasprotno enačba spremeni v:

$$R_a = C_2 \cdot \tau = K_2 \cdot \frac{t^2}{d_b} \quad (8)$$

Enačba 7 velja za bruse z drobnim zrnom in večjim premerom, enačba 8 pa velja za bruse z grobim zrnom in manjšim premerom, če seveda izključimo vse ostale vplivne faktorje.

Eksperimentalni del naloge je imel za cilj preveriti veljavnost gornje teorije. Razdeljen je bil v dva dela:

1. V prvem delu je bila merjena površina preizkusnih brusov s ciljem, da se ugotovi povprečna vrednost razdalje zrn  $t$  oz. navidezne razdalje  $\tau$ .
2. V drugem delu so bili brušeni z izmerjenimi brusni preizkusni kosi, najprej brez podajalnega gibanja, nato tudi s podajalnim gibanjem, in izmerjene hrapavosti.

Za preizkus so bile uporabljene brusne plošče:

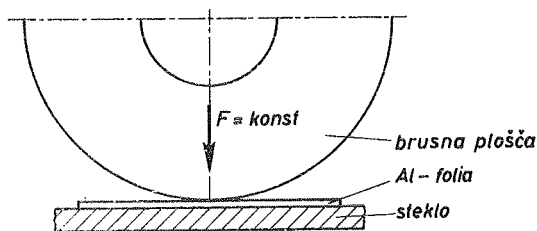
- B 120 M6V  $\varnothing$  205 mm
- B 100 M6V  $\varnothing$  220 mm
- B 20 M6V  $\varnothing$  205 mm
- B 24 M6V  $\varnothing$  220 mm

Povprečna razdalja  $t$  je bila določena za posamezne bruse na tri načine:

1. Na Schmaltzovem merilniku je bila izmerjena maksimalna hrapavost  $R_t$  površine brusa in iz nje z uporabo enačbe 1 računsko določena vrednost  $t$ . Rezultati so bili razmeroma nezanesljivi.
2. Površina brusne plošče je bila izmerjena s tipalom (safirno iglo) na posebej konstruiranem merilniku in iz narisane diagrama izračunana maksimalna hrapavost  $R_t$  in srednja hrapavost  $R_a$ . Iz obeh vrednosti je z enačbami 1 do 6 mogoče spet izračunati vrednost  $t$ .
3. Razdalja med zrni  $t$  je bila izmerjena direktno z metodo odtiskavanja površine brusne plošče na Al-folijo debeline 0,01 mm (slika 2). Iz števila zrn  $z$  na enoti površine je bila spet izračunana vrednost  $t$  po enačbi.

$$t = 1 / \sqrt{z}$$

Že znana, starejša metoda odtiskavanja skozi karbon papir ni dala uporabnih rezultatov.



Slika 2

Rezultati merjenj po vseh treh načinih so navedeni v tabeli 2.

Tabela 2. Izmerjene hrapavosti in razdalje zrn brusnih plošč

Metoda merjenja	II				III		
	$R_t$	$R_t$	$R_a$	t	$R_t$	$R_a$	t
B 120 M6V	91,7	125	11,96	0,25	105,9	17,8	0,206
B 20 M6V	265	720	195	1,46	873	230	1,74

Rezultati po metodi II in III so razmeroma podobni. Razlike je mogoče pojasniti z napakami pri otipavanju z iglo, problematičnim štetjem števila zrn in zelo neena-ko površino brusnih plošč.

Pri idealnem razporedu zrn ( $k_t = 1$ ) in idealnem brušenju bi z obema ploščama teoretsko dobili hrapavosti, navedene v tabeli 3.

Tabela 3. Teoretsko dosegljive hrapavosti površine

Brusna plošča	$R_t$	$R_a$
B 120 M6V	0,0005 $\mu\text{m}$	0,00007 $\mu\text{m}$
B 20 M6V	0,4 $\mu\text{m}$	0,274 $\mu\text{m}$

Iz prakse je znano, da tako majhnih hrapavosti pri finih brusih (B 120 M6V) ni mogoče doseči, da pa so vrednosti za grobe bruse, (B 20 M6V) blizu realnim vrednostim. Že na tem mestu je mogoče ugotoviti, da je teorija o vplivu geometrije brusa uporabna samo za grobo brušenje, kjer je od vseh vplivov na kvaliteto površine najvažnejša geometrija brusa. Pri finem brušenju so drugi vplivi preveliki (nepopolno rezanje, plastična deformacija površine, lepljenje materiala na površino brusa, vibracije) in popolnoma prekrijejo vpliv geometrije. Zato bo za prakso imela pomen le enačba 8. Enačba 7, ki velja za fino brušenje ima koeficient  $K_1$ , ki ni konstanten, ampak je močno odvisen od navedenih faktorjev. Zato ta enačba ni uporabna v navedeni preprosti obliki.

V eksperimentalnem delu naloge so bile raziskane naslednje odvisnosti:

1. odvisnost med  $R_t$  oz.  $R_a$  in globino rezanja a
2. odvisnost med  $R_t$  oz.  $R_a$  in radijem zrn r
3. odvisnost med  $R_t$  oz.  $R_a$  in premerom brusa  $d_b$ .

Ker je hrapavost po enačbah 1 do 6 neodvisna od rezalne hitrosti so bili poizkusi opravljeni pri hitrosti  $v = 30$  m/s.

Preizkušani so bili naslednji materiali:

- Č. 0545 ... konstrukcijsko jeklo trdote 29,2 HRc
- Č. 0745 ... konstrukcijsko jeklo trdote 32,1 HRc
- SL 22 ... siva litina trdote 28 HRc
- Č. 4730 ... jeklo za poboljšanje trdote 27,9 HRc

Materiali so bili namenoma izbrani s približno enako trdoto, ker se je želelo ugotoviti vpliv strukture in drugih karakterističnih lastnosti. Siva litina SL 22 je bila izbrana zaradi neplastičnosti, ker se po teoriji pričakujejo v tem primeru rezultati, ki so najbližje teoretičnim.

Nadaljnji problem je določitev radija zrna  $r$ , ki ga ni bilo mogoče zanesljivo izmeriti niti pod mikroskopom niti po kaki drugi metodi. Literatura navaja, da je približno  $r = 0,01$  mm. Če vstavljamo to vrednost v enačbe 1 do 6 ne dobimo rezultatov, ki bi se dobro ujemali z eksperimentalnimi vrednostmi. Po več poizkusih smo ugotovili, da se rezultati razmeroma dobro ujemajo, če predpostavimo

- $r = 0,0075$  mm za grobe bruse
- $r = 0,002$  mm za fine bruse.

Za te podatke velja potem praktično vedno le relacija 8, po kateri radij na hrapavost  $R_a$  nima vpliva (ima teoretično vpliv samo na  $R_t$ ).

Rezultat meritev z navedenimi predpostavkami so vrednosti za koeficiente  $k_t$  iz enačbe 6, ki so zbrani v tabeli 4. Pri meritvah se je pokazal določen (manjši) vpliv materiala, ki ga je bilo pričakovati. Upoštevati ga je mogoče s koeficientom materiala  $c_{mat}$  v obliki:

$$R_{dejanska} = R_{teor.} \cdot c_{mat}$$

Koeficient  $c_{mat}$  bi moral biti pri absolutno neplastičnem materialu  $c_{mat} = 1$ . Ker takega materiala ni (tudi siva litina je pri temperaturah, ki nastopajo pri brušenju, plastična), je bil koeficient  $c_{mat}$  izbran tako, da je v povprečju za različne materiale bil čim bližje vrednosti 1, koeficient  $k_t$  pa je bil zato izbran enak za vse materiale, vendar je bil pri grobem brušenju različen za izračun  $R_t$  in za  $R_a$ .

Tabela 4. Koeficienta  $k_t$  in  $c_{mat}$  za brusno ploščo B 20 M6V.

Material	$R_t$		$R_a$	
	$k_t$	$c_{mat}$	$k_t$	$c_{mat}$
Č. 0745	2,24	1,00	1,1	0,925
Č. 0545	2,24	1,13	1,1	1,00
SL 22	2,24	1,16	1,1	0,842
Č. 4730	2,24	1,00	1,1	0,80

Pri brušenju s fino brusno ploščo B 120 M6V se rezultati meritev (kot pričakovano) niso ujemale dobro s teorijo. Možno bi bilo uporabljati sicer iste enačbe, vendar dobimo koeficient  $k_t = 60$ , kar kaže da prevladujejo drugi vplivi. Koeficient materiala je bil tudi tu blizu 1.

Eksperimentalni del naloge je potrdil v vseh primerih (pri merjenju  $R_t$  in  $R_a$ , za fine in za grobe bruse), da hrapavost praktično ni odvisna od globine brušenja  $a$  oziroma od pristaničev brusa. Izračunane regresijske premice so potekale praktično vodoravno, naklon premic  $b = \tan \alpha$  je imel vrednosti od  $-0,012$  do  $+0,02$ .

Odvisnost hrapavosti od radija zrn  $r$  je bila za grobe bruse izredno blizu teoretski predpostavki. Radij  $r$  smo pri preizkusih spreminjali tako, da smo z intenzivnim brušenjem obrabljali brus. Hrapavost se pri brušenju z grobimi brusi praktično ni spreminjala z obrabo brusa.

Pri finih brusih se je nasprotno teoriji hrapavost s povečanjem radija povečavala. To navidezno nesoglasje je mogoče pojasniti s povečanimi vibracijami stroja pri obrabljenem brusu, zelo verjetno pa se pri obrabi ni povečeval samo radij, ampak se je brus obrabljal tudi z izpadanjem in lomom zrn.

Vpliva premera brusa  $d_b$  na hrapavost ni bilo mogoče eksaktno izmeriti, ker smo imeli brusilni stroj s samo dvema prestavama ( $n_1 = 2640 \text{ min}^{-1}$  in  $n_2 = 5180 \text{ min}^{-1}$ ). Vsi poizkusi so bili izvedeni še s številom vrtiljajev  $n_3 = 2800 \text{ min}^{-1}$ , vendar na drugem stroju, kar seveda zmanjša kvaliteto meritev.

Pri grobih brusih (B 20 M6V) se je pokazalo, da se hrapavost  $R_a$  zmanjšuje s povečanjem premera  $d_b$ . Teoretično bi morala veljati relacija (enačba 8):

$$R_a = K_2 \cdot t^2 / d_b$$

Meritve so pokazale, da je dejanska odvisnost v obliki :

$$R_a = K_2 \cdot t^2 / d_b^m$$

Vrednosti za eksponent  $m$  so bile nekaj večje od 1, natančnejših zanesljivih podatkov pa zaradi neustreznega stroja ni bilo mogoče dobiti in bi razmere bilo treba še raziskati.

Pri finih brusih (B 120 M6V) premer  $d_b$  v nasprotju s teorijo (enačba 7) ni imel pričakovanega vpliva.

S krajšo serijo preizkusov je bila raziskana tudi veljavnost teorije za merjenje hrapavosti v vzdolžni smeri (v smeri rezalne in podajalne hitrosti). Spet se je pokazalo, da za grobe bruse dobimo teoriji precej ustrezne rezultate, le da so dejanske hrapavosti večje od teoretičnih. Pri preizkusih z brusom B 20 M6V so se vrednosti v prečni smeri (pravokotno na rezalno hitrost) dobro ujemale ob predpostavki, da je

$$k_t = 1,2$$

Pri istem poizkusu bi bilo za račun hrapavosti v vzdolžni smeri treba predpostavljati koeficient

$$k_t = 2, 4$$

Večja hrapavost v vzdolžni smeri od pričakovane gre verjetno na račun vibracij stroja in drugih vplivnih faktorjev, ki pridejo v večji meri do izraza zaradi mnogo manjših absolutnih vrednosti za  $R_t$  oz.  $R_a$ .  $R_t$  v vzdolžni smeri je bila več kot dvakrat manjša od  $R_t$  v prečni smeri,  $R_a$  v vzdolžni smeri pa celo približno 3 krat manjša od  $R_a$  v prečni smeri).

### Zaključek

Raziskave so pokazale, da je pri grobem brušenju od vseh vplivnih faktorjev najvažnejša geometrija brusne plošče in da je za izračun hrapavosti mogoče zelo dobro uporabljati enačbe 1 do 6. Za praktično delo bo primernejša približna enačba 8, ki jo eksperimenti zelo dobro potrjujejo, treba bo le z večjo serijo poizkusov najti ustrezne koeficiente. Za fino brušenje prevladujejo drugi vplivi nad geometrijo brusne plošče in bi enačba 7 bila uporabna le z uvedbo novih koeficientov  $C_1$  oz.  $K_1$ , ki bi upoštevali plastičnost materiala, vibracije stroja itd.

### Literatura

- 1 H. Muren: Poročilo skladu za raziskovalno delo pri Univerzi v Ljubljani
- 2 A. Oblak: Diplomsko delo na Fakulteti za strojništvo Ljubljana, 1970

H. Muren

Einfluss der Schleifscheibengeometrie auf die Oberflächenqualität.

Der Zusammenhang zwischen der Oberflächenbeschaffenheit der Schleifscheibe und Rauheit des Werkstückes wird anhand einer Modelltheorie untersucht. Es wird vorausgesetzt, dass auf der Schneidfläche der Scheibe abgerundete Pyramiden regelmäßig verteilt sind. Ferner wird angenommen, dass die Schneiden ideal zerspanen. Daraus folgende Gleichungen werden mit den entsprechenden Koefizienten korrigiert.

Die Messungen ergaben gutes Übereinstimmen bei grobkörnigen Scheiben sowie entsprechende numerische Werte der Koefizienten. Bei feinkörnigen Schleifscheiben dürfen andere Einflüsse (z. B. Schwingungen der Maschine, Plastizität des Werkstückes usw.) überwiegen, so dass die Anwendbarkeit der einfachen Gleichungen nur auf Grobschleifen begrenzte Gültigkeit hat.



I. Hercigonja, F. Dusman, R. Stančec.\*

PROBLEMI GEOMETRIJSKE TAČNOSTI I METODE  
MJERENJA ODVALNIH GLODALA \*\*

0. Uvod

Zahtjevi koje moderna industrija postavlja pred ozubljene elemente mogu se svesti na slijedeće: Zahtijeva se tihi i mirni prijenos gibanja i snage pri velikim brzinama. Ovaj kompleksni zahtjev može se zadovoljiti u prvom redu ako je realizirana geometrijska tačnost ozubljenih elemenata.

Tačnost oblika i dimenzija koja se može postići je ograničena pa se na svakom izrađenom ozubljenom elementu dobivenom skidanjem strugotine, bez obzira na primijenjeni postupak izrade (direktni ili indirektni), može konstatirati niz pogrešaka koje su grupirane kako slijedi:

\* Dr Ivo Hercigonja, dipl.ing., red. profesor Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.

Mr Federico Dusman, dipl.ing., docent Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.

Rudolf Stančec, dipl.mat., asistent Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.

\*\*Informacija je sastavljena na temelju parcijalnih rezultata istraživanja u okviru naučno-istraživačkog projekta: TEHNOLOGIJA MAŠINOGRADNJE: ISTRAŽIVANJE OBRADLJIVOSTI I GRUPNE TEHNOLOGIJE SA OPTIMALIZACIJOM U POJEDINAČNOJ I SERIJSKOJ PROIZVODNJI.

UVODNA ISPITIVANJA - tačka 9 programa radova: "Istraživanje korelacije između odstupanja parametara i tačnosti alata za izradu ozubljenja postupkom odvaljivanja i odstupanja tačnosti ozubljenja kod raznih stupnjeva obradljivosti materijala izratka".

Naučni projekt je financiran od Saveznog fonda za naučni rad, a posebnim učešćem sredstvima i tehničkom dokumentacijom sudjeluje "JUGOALAT" - Fabrika alata - Novi Sad.

- Greške tijela zupčanika koje se ispoljuju kao:
  - Radijalni udari
  - Aksijalni udari
- Greške zuba koje se odnose na oblik bokova:
  - Greške profila zuba
  - Greške bočne linije zuba
- Greške zuba koje se odnose na položaj bokova:
  - Greške debljine zuba
  - Greške koraka
  - Greške centričnosti i aksijalnosti ozubljenog vijenca

Karakter i vrijednost navedenih grešaka ozubljenih elemenata ovisni su o:

- Primijenjenom postupku izrade (direktni - indirektni)
- Alatu koji se koristi pri određenim postupcima
- Stroju na kojem se vrši izrada ozubljenja
- Stanju izratka prije izrade ozubljenja

Direktni postupak (odvaljivanje) ima danas prednost i omogućava postizavanje željene tačnosti oblika i dimenzija ozubljenja. Alat (odvalno glodalo) jedan je od važnijih faktora kod ostvarivanja direktnog postupka i utječe na izradak svojim oblikom i gibanjem;

- Oblik reznog alata. Određen je prema profilu zuba, ali je uvijek različit od profila zuba koji se mora rezati.
- Relativno gibanje. Za vrijeme izrade, kako izradak koji se ozubljuje, tako i rezni alat (odvalno glodalo) gibaju se jedan u odnosu na drugi kao da su u međusobnom zahvatu.

Sukcesivni položaji reznog zuba alata imaju za posljedicu odvaljivanje pravaca njegovih bokova po profilu koji se izrađuje, pri čemu svaki zub alata skida samo mali dio strugotine. Broj reznih zuba alata koji sudjeluju u izradi profila jednog zuba izratka ovisi o broju oštrica samoga alata i o broju zubi elementa koji se ozubljuje.

Alatu koji se koristi kod postupka odvaljivanjem mora se posvetiti posebna pažnja jer se on tokom eksploatacije mijenja. Oštrenjem se njegove dimenzije mijenjaju, ali njegova svojstva dana "osnovnom zubnom letvom" moraju ostati sačuvana.

## 1. Odvalno glodalo

### 1.0. Općenito

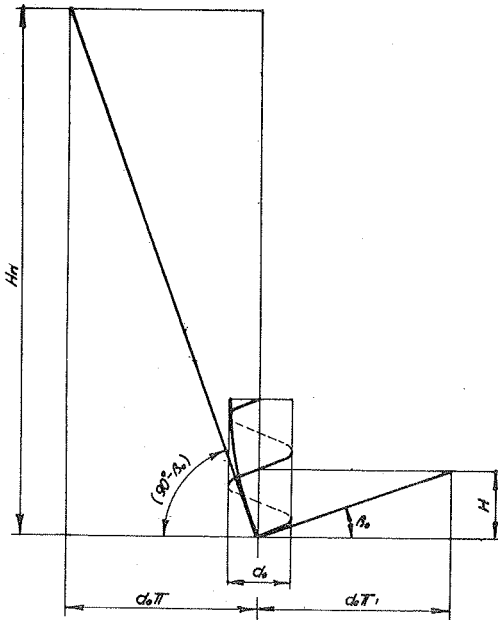
Ovo se razmatranje odnosi na jednovojno odvalno glodalo u E - izvedbi čiji osnovni profil odgovara JUS M.Cl.016 (DIN 867) vidi 5.

Krajnji oblik ovih glodala postizava se natražnim tokarenjem ili brušenjem i može se smatrati teoretski ispravnim, ako se zanemare netačnosti izrade.

Odvalna glodala nisu još obuhvaćena JUS standardima, te se za izradu čeonih zupčanika sa ravnim i kosim zubima primjenjuje DIN 858 i DIN 8002. Dozvoljena odstupanja odvalnih glodala također nisu obuhvaćena JUS standardima, pa se primjenjuje DIN 3968 (prijedlog).

### 1.1. Geometrijski odnosi

Na slici 1 prikazani su osnovni geometrijski odnosi odvalnog glodala koji su temeljni za njegovu konstrukciju, izradu i kontrolu.



Slika 1

$$H = d_o \pi \operatorname{tg} \beta_o$$

$$H_n = d_o \pi \operatorname{tg} (90^\circ - \beta_o)$$

$$\frac{H_n}{H} = \frac{\operatorname{tg} (90^\circ - \beta_o)}{\operatorname{tg} \beta_o}$$

$$t_n = m \pi \quad t_a = H \cdot \frac{t_n}{\cos \beta_o}$$

$$d_o = \frac{m}{\operatorname{tg} \beta_o \cos \beta_o} = \frac{m}{\sin \beta_o}$$

H = visina uspona zavojnice

H\_n = visina uspona utora za strugotinu

$\beta_o$  = kut uspona zavojnice. na diobenom cilindru

d\_o = diobeni promjer

t\_n = korak u normalnom presjeku odvalnog glodala

t\_a = korak u aksijalnom presjeku odvalnog glodala

m = normalni modul odvalnog glodala

## 2. Greške odvalnih glodala

### 2.0. Općenito

Direktni postupak daje najbolje praktične rezultate u pogledu tačnosti i vremena izrade zupčanika, pod uvjetom da "osnovna zubna letva" bude precizno izrađena.

Idealni oblik i dimenzije "osnovne zubne letve" teško se postiže u tvorničkim uslovima proizvodnje, a još veće poteškoće nastupaju u toku eksploatacije alata zbog potrebe za oštrenjem, čime se njegove dimenzije osjetno mijenjaju. Kako je u eksploatacionim uvjetima teško zadržati odstupanje oblika i dimenzija glodala u dozvoljenim granicama ono degenerira brže nego što bi to bilo normalno.

Razlikujemo, dakle, dva stanja odvalnog glodala:

- Novoizrađeno odvalno glodalo u tvorničkim uvjetima
- Odvalno glodalo u eksploataciji

U prvom i u drugom slučaju mogu se na njima konstatirati slijedeće greške:

- Greške zavojnice (ima izvor u tvorničkoj izradi)
- Greške utora za strugotinu. (ima izvor u tvorničkoj izradi, ali se oštrenjem ove greške mijenjaju)
- Greške oblika i položaja prednjih površina zubi. (oštrenjem se mijenjaju)
- Greške diobe (oštrenjem se mijenjaju)
- Udari

### 2.1. Dozvoljena odstupanja odvalnih glodala

Proučavanjem geometrije, konstrukcije, tehnologije, proizvodnje i načina korištenja odvalnih glodala dolazi se do zaključka da toliko faktora utječe na njihovu geometrijsku ispravnost, da se ona ne može odrediti jednom veličinom. Potrebna su dakle, kompleksna ispitivanja, ako se želi jednoznačno utvrditi ispravnost odvalnog glodala.

DIN 3968, koji propisuje dozvoljena odstupanja odvalnih glodala dijeli ih u 4 klase tačnosti: A, B, C i D. Predviđa i jednu super klasu AA koja ima pooštrena dozvoljena odstupanja izvjesnih parametara u odnosu na klasu A.

Dozvoljena odstupanja za pojedine parametre dana su u ovisnosti o normalnom modulu, time što su moduli od 0,63 mm do 40 mm grupirani u 9 grupa.

Prema ovom standardu dozvoljena odstupanja dana su za slijedeće parametre:

1. Promjer provrta	-
2. Odstupanje oblika provrta	-
3. Odstupanje utora (za klin)	-
4. Radijalni udar na kontrolnim prstenima .....	$f_{rp}$
5. Aksijalni udar na steznim površinama u odnosu na osi provrta .....	$f_{rs}$
6. Radijalni udar oštrice zuba .....	$f_{rk}$
7. Odstupanje oblika i položaja prednje površine zuba..	$F_{fN}$
8. Pojedinačna podjela utora za strugotinu .....	$f_{tN}$
9. Skok pri podjeli utora za strugotinu .....	$f_{uN}$
10. Sumarna podjela utora za strugotinu .....	$F_{tN}$
11. Smjer utora za strugotinu mjereno na 100 mm dužine..	$F_{HN}$
12. Odstupanje oblika oštrice zuba .....	$F_{ts}$
13. Debljina zuba na diobenom promjeru .....	$f_s$
14. Visina uspona zavojnice od oštrice do oštrice zuba..	$f_{HF}$
15. Visina uspona zavojnice između dva proizvoljna zuba jednog zavoja .....	$F_{HF}$
16. Podjela na zahvatnom pravcu mjereno od oštrice do oštrice zuba .....	$f_e$
17. Sumarna podjela na zahvatnom pravcu u području zahvata	$F_e$

Dosljedna primjena ovog standarda zahtijeva dugotrajna i skupa ispitivanja, te korištenje adekvatnih metoda i sredstava mjerenja.

Metode mjerenja ovisne su o definicijama pojedinih parametara, dok su u zadnjih 10 godina sredstva mjerenja ostvarila veliki kvalitetni skok prelaskom od priručnih instrumenata i Univerzalnog mikroskopa na Univerzalne mjerne uređaje za ispitivanje odvalnih glodala. Tipični predstavnici su Univerzalni uređaj za ispitivanje odvalnih glodala firme C. Zeiss, DDR (vertikalna os uzorka) i Uređaj za ispitivanje odvalnih glodala i puževa SU 130 firme SAMPUTENSILI - ITALIA (horizontalna os uzorka).

Takva mjerna sredstva s obzirom na kompletnost konstrukcije i na svoju vrijednost mogu se instalirati samo kod proizvođača ili kod većih naučnih institucija, a time ostaje nepokrivena kontrola tamo gdje bi morala biti najjače izražena tj. kontrola u toku eksploatacije.

Osjeća se dakle potreba za jednostavnijim, a isto tako pouzdanim sistemom mjerenja koji obuhvaća i povezuje parametre, metode mjerenja i instrumentarij, time da broj parametara koje treba mjeriti za donošenje konačne ocjene o geometrijskoj ispravnosti odvalnog glodala bude bitno manji. U tom pravcu vođena su istraživanja koja su dala parcijalne, a li ohrabrujuće rezultate.

### 3. Istraživanje korelacije između parametara odvalnih glodala

#### 3.0. Izbor parametara

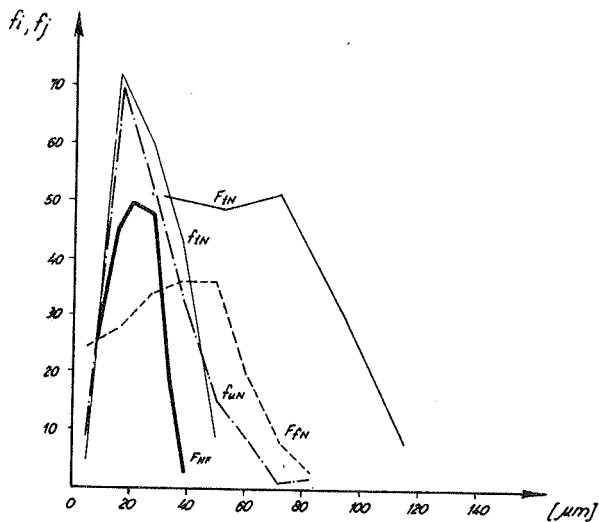
Kao osnovni parametar u tu je svrhu uzet parametar: DIN 3968 15. Visina uspona zavojnice između dva proizvoljna zuba jednog zavoja -  $F_{HF}$

jer se on najlakše i najtačnije može mjeriti, a daje i najpotpunije podatke o stanju osnovne zavojnice. Istraživanje je vršeno na 190 kom. odvalnih glodala te su, pored mjerenja  $F_{HF}$ , izvršena mjerenja onih parametara koji određuju položaj i oblik rezne površine zuba, a to su:

- DIN 3968 7. Odstupanje oblika i položaja prednje površine zuba .....  $F_{fN}$   
8. Pojedinačna podjela utora za strugotinu ...  $f_{tN}$   
9. Skok pri podjeli utora za strugotinu .....  $f_{uN}$   
10. Sumarna podjela utora za strugotinu .....  $F_{tN}$

Mjerenja su vršena na Univerzalnom uređaju za ispitivanje odvalnih glodala C. Zeiss. Na osnovu rezultata mjerenja tih parametara dobiveni su poligoni frekvencija pojedinih parametara koji su prikazani na sl. 2. Distribucija parametara  $F_{HF}$ , kao osnovnog, prikazana je također u obliku histograma na sl. 3, 4, 5 i 6.

Iz navedenih dijagrama je vidljivo da su najveće frekvencije odstupanja parametara 7. 8 i 9 grupirane približno oko iste srednje vrijednosti (28 - 37 um), dok su odstupanja parametara 10. mnogo veća i grupirana oko vrijednosti



Sl.2

60 um kao sredine. To navodi na zaključak da među tim parametrima postoji određena zavisnost koja svakako nije funkcionalne prirode. Naime, budući da poligoni frekvencije parametara 7. 8. 9. pokazuju izvjesno prekrivanje u pogledu raspona rasipanja podataka i linije centralne tendencije, poznavanje zavisnosti između  $F_{HF}$  kao osnovnog parametra i jednog od njih može dati orijentacione podatke o ostalima. Što se tiče parametra  $F_{tN}$  njegova su odstupanja bitno veća, ali određena zavisnost među svim parametrima ipak se daje naslutiti.

### 3.1. Rezultati ispitivanja

Na osnovu empiričkih podataka mjenjenih parametara računat je koeficijent korelacije  $r$  između parametra  $F_{HF}$  kao osnovnog i ostalih 4 parametra, te su dobiveni slijedeći rezultati:

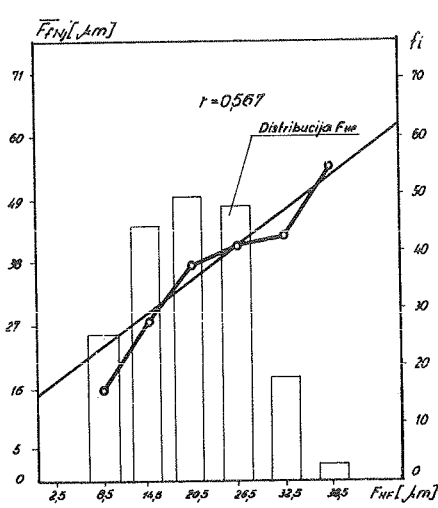
$$r_{F_{HF}, F_{FN}} = 0,567$$

$$r_{F_{HF}, f_{tN}} = 0,521$$

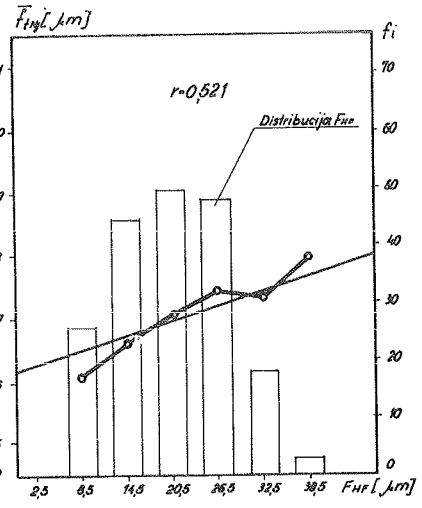
$$r_{F_{HF}, f_{UN}} = 0,529$$

$$r_{F_{HF}, F_{tN}} = 0,525$$

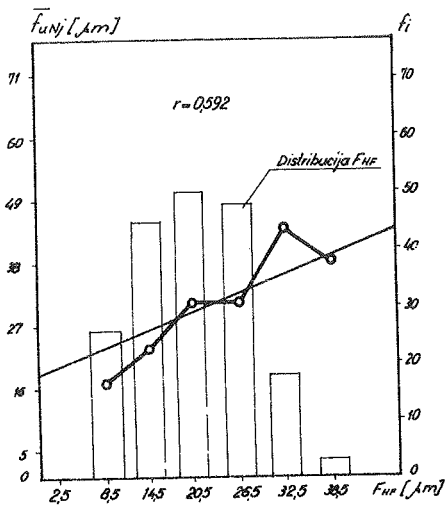
Ovi rezultati pokazuju postojanje izvjesne korelacione veze. Budući da su vrijednosti koeficijenata korelacije slučajne veličine, one se ne podudaraju sa vrijednostima koeficijenata korelacije osnovnog skupa iz kojeg je uzet uzorak. Ipak, s obzirom da je uzorak dovoljno reprezentativan jer se proizvodnja glodala vrši u malim serijama, neće postojati ve-



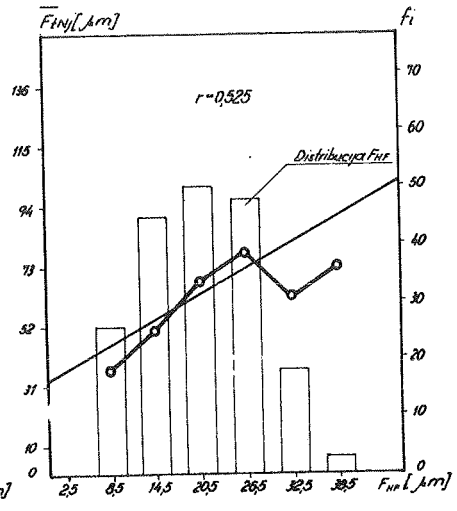
S1.3



S1.4



S1.5



S1.6



like razlike. Na sl. 5, 6, 7, u prikazana je, na temelju dobitvenih podataka ovisnost srednjih vrijednosti pojedinih parametara u određenim razredima, dakle  $\overline{F}_{fNj}$ ,  $\overline{F}_{tNj}$ ,  $\overline{F}_{uNj}$  i  $F_{HF_i}$ , gdje se indeksi i j odnose na pojedine razrede odnosno parametra kao i odgovarajući pravci regresije. U svakom je dijagramu prikazan i histogram frekvencija parametra  $F_{HF}$ .

Jednadžbe pojedinih pravaca regresija glase:

$$\begin{aligned} \overline{F}'_{fNj} &= 0,95 F_{HF} + 15 & \overline{F}'_{uNj} &= 0,55 F_{HF} + 18 \\ \overline{F}'_{tNj} &= 0,43 F_{HF} + 18 & \overline{F}'_{tNj} &= 1,48 F_{HF} + 32 \end{aligned}$$

Sredine pojedinih obilježja označene su sada crticom, a ispušten indeks uz  $F_{HF_i}$  da se naglasi da je to funkcionalna veza koja se razlikuje od stohastičke.

Iz gornjih je dijagrama vidljivo slijedeće:

1. Porastom parametra  $F_{HF}$  rastu i ostali pojedini parametri
  2. Budući da su srednje vrijednosti grupirane oko pravaca regresije biti će vrlo vjerojatno da za određenu vrijednost parametra  $F_{HF}$  odstupanja ostalih parametara neće biti bitno različita od onih vrijednosti koje daje funkcionalna veza preko pravaca regresije.
  3. Kut nagiba pojedinih pravaca regresije ukazuje na vjerojatnu brzinu porasta pojedinih parametara porastom  $F_{HF}$ , a ta je najmanja kod parametra  $f_{tN}$ .
4. Zaključak

Geometrijska tačnost alata koji se koriste kod izrade ozubljenih elemenata direktnim postupkom važan je faktor koji direktno utječe na geometrijsku tačnost ozubljenja, pa odstupanja moraju biti tolerirana.

Dozvoljena odstupanja parametara odvalnih glodala nisu još obuhvaćena JUS standardima dok DIN 3968 propisuje takvu kontrolu koja se teško može dosljedno sprovesti.

Odstupanja odvalnih glodala nisu još svestrano istražena, pogotovo ako se uzmu u obzir odvalna glodala za specijalne profile i viševojna odvalna glodala koja se sve više upotrebljavaju.

Daljnje istraživanje na tom području treba rezultirati sistemom dozvoljenih odstupanja povezanim sa sistemom

dozvoljenih odstupanja za čeone evolventne zupčanike sa ravnim i kosim zubima.

Postoji velika vjerojatnost da se to pitanje može efikasno riješiti uvođenjem i "pojedinačne" i "funktionalne kontrole" na tom području.

### 5. Literatura

1. Richard Ritter: Zahnradgetriebe, Zürich 1950
2. Klingelberg: Tehnički priručnik II dio, Zagreb 1959
3. G. Niemann: Maschinenelemente, Berlin 1965
4. W. Rommerskirch: Messen und Prüfen in der Verzahnungstechnik teil I, München 1965
5. R. Zdenković: Usporedna analiza evolventnog i arhimedovog puža u posebnoj primjeni na odvalno pužno glodalo i njegovu natražnu obradu (Disertacija), Zagreb, 1959
6. E. Hultsch: Das Wälzfräsermess-gerät in neuer Gestalt und mit ihm durchführbare Messungen, Jenaer Rundschau 4/1963
7. W. Rommerskirch: Verzahnungsmess-und-prüftechnik, Technische Rundschau 1969/1970

JUS standardi

DIN standardi

## Zusammenfassung

Bei der Fertigung Verzahnter Körper, ist das Werkzeug (der Wälzfräser) einer von den wichtigeren Einflussfaktoren, die Genauigkeit der Verzahnung beeinflussen. Jede Abweichung von den theoretischen Formen und Grössen, spiegelt sich in der Genauigkeit der Verzahnung.

Die zulässigen Toleranzen der Abwälzfräser sind nicht in den JUS - Normen enthalten, so dass in unserem Lande, wie auch in europäischen Verhältnissen die Benutzung der Norm DIN 3968 üblich ist. Diese Norm wird indessen nicht konsequent verwendet, da sie langwierige und komplexe Messungen, unter Verwendung von teurer und komplizierter Ausrüstung vorausstellt.

Da DIN 3968 Punkt 15 ( $F_{HF}$ ) genau, zuverlässig und schnell messbar ist, wurde die Korrelation zwischen dieser und den anderen Parametern von Abwälzfräser erforscht.

Die Ergebnisse dieser Forschungsarbeit zeigen eine gewisse Korrelation der Grösse 15 ( $F_{HF}$ ) DIN 3968, mit den Punkten 7 ( $F_{fn}$ ), 8 ( $f_{tN}$ ), 9 ( $f_{uN}$ ) und 10 ( $F_{tN}$ ) der selben Norm. Diese Ergebnisse rechtfertigen weitere Forschungen in dieser Richtung.

Mit Rücksicht auf die Kompliziertheit der Abwälzfräser, und den Zweck der Kontrolle, müssten die neuen Normen die einzeln - sowie die Funktionalkontrolle vorschreiben. Weitere Messungen, müssten die Parameter für die funktionelle Kontrolle festlegen.

## Rezime

U proizvodnji ozubljenih tijela skidanjem strugotine odvaljivanjem alat (odvalno glodalo) jedan je od važnijih faktora koji utječe na tačnost ozubljenja. Svako odstupanje od teoretsko oblika i dimenzija odvalnog glodala reflektira se na tačnost ozubljenja.

Dozvoljena odstupanja odvalnog glodala nisu propisana JUS standardima te je u našoj zemlji kao i u evropskim razmjerima uobičajena primjena standarda DIN 3968. Taj se standard, međutim, ne primjenjuje dosljedno jer zahtijeva dugotrajno i kompleksno mjerenje uz upotrebu skupe i komplicirane opreme.

S obzirom da se stavka 15 ( $F_{HF}$ ) DIN 3968 može precizno, pouzdano i brzo mjeriti istraživana je korelacija između ovog i drugih parametara odvalnog glodala.

Rezultati istraživanja pokazuju izvjesnu korelaciju između odstupanja parametara stavke 15 ( $F_{HF}$ ) DIN 3968 i stavke 7 ( $F_{fN}$ ), 8 ( $f_{tN}$ ), 9 ( $f_{uN}$ ) i 10 ( $F_{tN}$ ) istog standarda, te upućuju na opravdanost i potrebu za daljnjim istraživanjem u tom pravcu.

S obzirom na kompleksnost odvalnog glodala i na ciljeve kontrole, novi bi standard trebao propisati kako pojedinačnu tako i funkcionalnu kontrolu. Daljnja istraživanja trebala bi odrediti parametre mjerodavne za funkcionalnu kontrolu.

B. Pavlović <sup>x</sup>

PROBLEMATIKA DEFINISANJA STRUKTURE TROSKOVA ALATA PRI OBRADI METALA REZANJEM <sup>xx</sup>

1. Uvod

Još davno je poznata činjenica "da dohodak preduzeća visi na oštirci reznog alata" pa se zbog toga, u zadnje vreme, prilazi studioznijem kvantificiranju uticaja koji formiraju troškove alata, a koji su i brojni i raznorodni, u cilju smanjenja troškova proizvodnje i povećanja produktivnosti.

Elektronskom obradom podataka pri definisanju strukture troškova proizvodne operacije, izvedenom u fabrici automobila Zavoda "Crvena Zastava", ustanovljeno je da su troškovi alata u strukturi troškova proizvodne operacije pri obradi metala rezanjem u srednjem 30%. Ovako visoko procentualno učešće troškova alata nameće potrebu utvrđivanja pravih izvora troškova i sukcesivan rad na razrešavanju problematike koja se izračunavanjem ove kategorije troškova uočava.

U ovom saopštenju daje se prikaz elemenata koji formiraju troškove alata, kao i njihove veličine kod izračunavanja troškova pojedinih vrsta alata, sa posebnim osvrtom na neke uporedne odnose istih, iz čega se, po mišljenju autora, mogu izvući zanimljivi zaključci.

---

x Branislav Pavlović, dipl.ing., Zavodi "Crvena Zastava" Kragujevac, asistent Mašinskog fakulteta-Odeljenje u Kragujevcu.

xx Saopštenje je proisteklo iz rada na projektu za smanjenje troškova proizvodnje u pogonu mehaničke obrade fabrike automobila Zavoda "Crvena Zastava" u saradnji sa Mašinskim fakultetom - Odeljenje u Kragujevcu.

## 2. Formiranje funkcije troškova alata

Kako troškovi alata variraju, zavisno od operacije, pri izradi radnog komada to se i definišu kao troškovi alata po jednom radnom komadu, odnosno operaciji, jer je tako najlakše ustanoviti njihovo procentualno učešće u ukupnim troškovima operacije. S obzirom da postoji direktna veza između broja obradjenih komada do oštrenja alata i njegove postojanosti, tj.

$$T = Z_p \cdot t_g \cdot a$$

pri čemu je:

$Z_p$  - broj uradjenih komada do oštrenja alata,

$t_g$  - glavno vreme obrade u /min/,

$a$  - Faktor kojim se iskazuje odnos vremena stvarnog kontakta sečiva sa strugotinom prema vremenu  $t_g$ .

$a$  u cilju lakšeg tehnno-ekonomskog analiziranja ekonomičnosti primene pojedinih alata u cilju tehnoloških poboljšanja mogu se troškovi alata iskazati po jedinici vremena rezanja. Ako sa  $A_i$  označimo ukupne troškove alata u /din/ tada su troškovi alata po minuti rezanja,

$$A = \frac{\sum A_i}{T}$$

U dosadašnjim radovima u ovoj oblasti izraz za troškove alata uglavnom je obuhvatao: troškove radne snage za promenu alata /A1/, troškove radne snage pri oštrenju alata /A2/, i troškove amortizacije alata /A3/, kao:

$$A = /n \cdot K_1 \cdot t_1 + K_2 \cdot t_2 + \frac{C_A}{i+1} / \cdot \frac{1}{T}$$

gde je:

$n$  - faktor koji uzima u obzir učešće brigadira i reglera u opterećenju proizvodne operacije ličnim dohocima,

$K_1$  - lični dohodak proizvodnog radnika u bruto iznosu u /din/min/

$t_1$  - vreme promene alata po zatupljenju u /min/,

$t_2$  - vreme oštrenja alata u /min/,

$K_2$  - lični dohodak oštrača u bruto iznosu u /din/min/,

$C_A$  - nabavna cena alata u /din/,

$i$  - broj mogućih oštrenja alata.

Kako, pored napred navedenih, troškove alata opterećuje iznos novčanih sredstava u vidu kamata na obrtna sredstva angažovana u nabavku alata u vidu zaliha koje obezbeđuju proces proizvodnje, zatim amortizacija mašine za oštrenje alata, amortizacija brusne ploče, to se nameće potreba formiranja takvog izraza koji obuhvata sve ove izvore troškova.

Zaliha reznog alata /stok/ koja se mora držati u magacinu preduzeća varira oko minimalne koja se može izraziti kao:

$$S_{min} = \frac{Q \cdot R}{12 \cdot Z_p / i + 1} \cdot f_s$$

pri čemu je:

Q - godišnji obim proizvodnje tretiranog radnog komada,

R - rok isporuke alata izražen u mesecima,

$f_s$  - faktor sigurnosti koji uzima u obzir povećanu potrošnju reznog alata zbog mogućih promena u uslovima eksploatacije.

Na osnovu toga, deo troškova alata koji nastaje usled održavanja minimalnih zaliha, može se izraziti kao:

$$A_4 = \frac{S_{min} \cdot C_A \cdot k}{100} \cdot \frac{1}{T} = \frac{C_A \cdot R \cdot f_s \cdot k}{12 \cdot /i+1/ \cdot 100} \cdot \frac{1}{T}$$

gde je:

k - procentna kamatna stopa u %/.

Deo troškova alata koji nastaju usled amortizacije mašine za oštrenje alata, može se prikazati u ovom vidu:

$$A_5 = \frac{C_M \cdot p}{F \cdot \eta \cdot 100 \cdot 60} \cdot \frac{t_2}{T}$$

gde je:

$C_M$  - nabavna vrednost mašine za oštrenje alata u /din/,

p - procentna amortizaciona stopa u %/,

F - godišnji fond radnih časova mašine u /h/,

$\eta$  - koeficijent vremenskog iskorišćenja mašine.

Uticaaj amortizacije brusne ploče za oštrenje alata na troškove alata je:

$$A_6 = \frac{C_T}{T_u} \cdot \frac{t_2}{T}$$

pri čemu je:

$C_T$  - nabavna vrednost brusne ploče u /din/,

$T_u$  - radni vek trajanja brusne ploče u /min/.

Ovde valja napomenuti da su prikazani troškovi alata uglavnom eksplicitnog karaktera i relativno jednostavno ih je izražavati, jer pored navedenih postoji još čitav niz implicitnih izvora troškova, odnosno uticaja, kao: utrošak električne energije pri oštrenju, troškovi pomoćnih, potrošnih i režiskih materijala, uticaj režiske radne snage i slično, što se uglavnom uzima u obzir u globalnom vidu.

Na osnovu napred rečenog, izraz za izračunavanje troškova alata u operaciji obrade metala rezanjem, može se prikazati kao:

$$A = \sum A_i = /n \cdot K_1 \cdot t_1 + K_2 \cdot t_2 + \frac{C_A}{i+1} + \frac{C_A}{i+1} \cdot \frac{R \cdot f_s \cdot k}{12 \cdot 100} + \\ + \frac{C_M \cdot p}{F \cdot \eta \cdot 100 \cdot 60} \cdot t_2 + \frac{C_T}{T_u} \cdot t_2 / \cdot \frac{1}{T}, \text{ ili}$$

$$A = /n \cdot K_1 \cdot t_1 + K_2 \cdot t_2 + \frac{C_A}{i+1} \cdot \left(1 + \frac{R \cdot f_s \cdot k}{12 \cdot 100}\right) + \\ + \frac{C_M \cdot p}{F \cdot \eta \cdot 100 \cdot 60} \cdot t_2 + \frac{C_T}{T_u} \cdot t_2 / \cdot \frac{1}{T}$$

Navedeni obrazac može korisno poslužiti, pored ostalog, pri izradi tehno-ekonomskih analiza ekonomičnosti primene jednih reznih alata u odnosu na druge kao: operacije provlačenja u odnosu na glodanje ili pak operaciju bušenja, primene noževa sa mehanički pričvršćenom pločicom u odnosu na noževe sa letovanom pločicom od tvrdog metala i slično, gde se pojedine kategorije troškova menjaju ili eliminišu.

### 3. Neki rezultati izvršenih analiza

Da bi se ustanovilo procentualno učešće pojedinih kategorija troškova u ukupnim troškovima reznih alata u operaciji metala rezanjem kod pojedinih vrsta reznih alata u uslovima eksploatacije u Zavodima "Crvena Zastava" u Kragujevcu, izvršeno je obračunavanje na napred izloženi način i tablica 1, daje prikaz



nekih dobijenih rezultata.

Tablica 1.<sup>x</sup>

Troškovi alata	T	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	ΣA
		din/min	din/min	din/min	din/min	din/min	din/min	din/min
Vrsta alata	min	%	%	%	%	%	%	%
Spiralna burgija	32	0,65	0,70	2,12	0,08	0,07	0,06	3,68
		17,63	19,02	57,50	2,28	1,92	1,65	100
Strugarski nož od brzoreznog čelika	126	0,22	0,35	3,91	0,16	0,20	0,15	4,99
		4,42	7,01	78,20	3,22	4,02	3,03	100
Strugarski nož sa tvrdim metalom	238	0,09	0,19	1,52	0,08	0,63	0,84	3,35
		2,68	5,68	45,40	2,38	18,86	25,00	100
Provlakač	72	0,07	3,40	176,00	8,80	56,60	2,78	247,65
		0,03	1,38	71,50	3,52	22,45	1,12	100
Alat za obradu ljuštenjem	3120	0,02	1,00	5,40	0,33	8,05	0,35	15,15
		0,13	6,65	35,50	2,16	53,24	2,32	100
Odvalno glodalo	312	0,23	0,84	16,50	0,82	2,90	0,89	22,18
		1,04	3,80	74,30	3,70	13,10	4,06	100

Na osnovu rezultata prikazanih u ovoj tabeli, očigledno je, imajući u vidu procentualno učešće pojedinih kategorija troškova u ukupnim troškovima alata, da u ovakvim razmatranjima, treba uzimati obrazac u vidu kako je napred prikazano, jer se na taj način stiče potpunija slika o izvorima troškova alata.

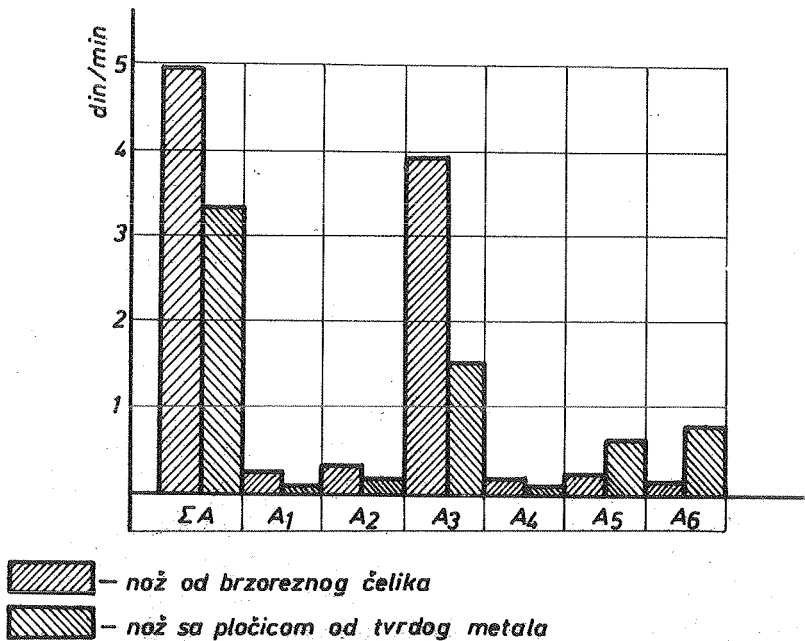
Ovde se može uočiti da su troškovi provlakača po minuti rezanja dosta visoki, ali lako se može videti da su troškovi alata po operaciji provlačenja relativno niski. Ako je aktivna dužina provlakača 600 mm. a brzina rezanja  $V_p = 5$  /m/min/, što odgovara posmatranom provlakaču za unutrašnje provlačenje, to je vreme rezanja po operaciji 0,12 /min/. Na osnovu toga proizilazi da su troškovi alata po operaciji oko 28 st.din. što uslovlja-

x Troškovi alata u ovoj tablici su u starim dinarima.

va da je provlačenje ekonomična operacija, sobzirom na male vrednosti komadnog vremena  $/t_k/$ .

Takodje se, na osnovu ovih rezultata, uočavaju razlozi prelaska na korišćenje noževa sa pločicama od tvrdog metala, jer su troškovi alata po operaciji manji, sa jedne strane, i komadno vreme  $/t_k/$  sa druge, sobzirom da se u drugom slučaju radi sa većim brzinama rezanja i većim posmacima po obrtaju radnog komada.

Na sledećem grafikonu prikazan je odnos pojedinih veličina troškova alata pri radu nožem od brzoreznog čelika i nožem sa pločicom od tvrdog metala:



Sl.1.1. Uporedni prikaz pojedinih kategorija troškova alata

Ovde valja napomenuti da sve potrebne parametre za izračunavanje troškova alata u industrijskim uslovima, često nije jednostavno definisati, sobzirom da je utvrđivanje pojedinih statističkog karaktera. Ovo se posebno odnosi na utvrđivanje postojanosti

alata, faktora sigurnosti, veka trajanja brusne ploče, stepena iskorišćenja mašine za oštrenje alata, parametara koji zavise od uslova eksploatacije i obradljivosti materijala čijim promenama variraju u dosta širokim granicama. No, kako se uspešno planiranje može odvijati samo na bazi poznavanja navedenih faktora, a imajući u vidu sve veću primenu računara u proizvodnom mašinstvu, to danas, definisanje parametara u prikazanom vidu nije veliki problem.

#### 4. Literatura

- /1/ P. Stanković, Mašinska obrada I, Gradjevinska knjiga, Beograd, /1965/
- /2/ B. Ivković, S. Smiljanić, Razgraničenje troškova proizvodnje i raspodela prema radu, Direktor 16, Beograd /1970 /
- /3/ D. Vukelja, V. Simonović, Predlog optimalizacije obrade rezanjem na strugu, Saopštenja IAMA /1969/

B. Pavlović

The Problems of Defining the Tooling Strukture Costs in Metal Cutting

As the tooling costs within the structure costs of a production operation in metal cutting play an important role it is indispensable to define more closely all resources of costs in order to cut them down.

In these endeavours we have covered all factors forming this category of costs and also given their mathematical interpretation. Finally we have given a summary showing the amount of particular categories of costs when making their calculations for individual types of tooling.



R. Cebalo x)

UTJECAJ PREDNJEG KUTA NATRAŽNO TOKARENOG PROFILNOG GLODALA NA OKRETNI MOMENT I SREDNJU TEMPERATURU REZANJA. xx)

### 1.0. Uvod

Obrada čelika otpornih na višim temperaturama još nije dovoljno ispitana. Neka ispitivanja vršena su u tvornicama koje proizvode parne i plinske turbine, koje ove čelike vrlo mnogo upotrebljavaju i to najviše za lopatice rotora i statora. Lopatice rotora i statora u ukupnoj cijeni turbine učestvuju sa 15-30 %, ovisno o tipu turbine. Od svih obrada, koje se pri izradi lopatica primjenjuju, najviše je zastupljeno glodanje, a posebno profilno glodanje s profilnim natražno tokarenim glodalima. Iskustvo je pokazalo da pri glodanju čelika otpornih na više temperature, prednji kut znatno utiče na obradivost tih čelika, što i uvid u literaturu [6.7.8 i 9] potvrđuje. Svestrana ispitivanja utjecaja prednjeg kuta na obradivost ovih čelika, a posebno s profilnim natražno tokarenim glodalima, zahtijevala bi mnogo vremena i sredstava. Zato će ovdje biti obrađene samo dvije grupe utjecajnih veličina i to:

- utjecaj prednjeg kuta na okretni moment pri različitim brzinama rezanja i posmacima,
- utjecaj prednjeg kuta na srednju temperaturu rezanja pri različitim brzinama i posmacima.

Ispitivanja su vršena kod konstantne dubine rezanja i protusmjernog glodanja.

---

x) Roko Cebalo, dipl.inž.stroj., rukovodilac tehnološkog razvoja u Jugoturbini i profesor Više tehničke strojarске škole u Karlovcu.

xx) Saopćenje je proizišlo iz rada na magistarskoj radnji "Optimizacija rada pri obradi turbinskih lopatica" koja je dana od Katedre za alatne strojeve Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.

## 2.0. Ispitivani materijal i režimi obrade

### 2.1. Ispitivani materijal

Ispitivani materijal je čelik Č.7432 iz grupe čelika pos-  
tojanih kod viših temperatura. Ovaj čelik dobiven je od aus-  
trijske firme Gebr. Böhler & Co, u šipkama 45x45, predhodno top-  
linski obrađen i atestiran. Provjera kemijskog sastava i meha-  
ničkih svojstava ovog čelika izvršena je u laboratorijima tvor-  
nice "Jugoturbina". Rezultati ispitivanja dani su u tablicama  
2.1 i 2.2. Sumpor i fosfor su uzeti iz atesta, kao i molibden i  
vanadij koji su i kvalitativno dokazani na stiloskopu.

Tablica: 2.1 Kemijski sastav

Oznaka čelika	Kemijski sastav u %								
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	V
Č. 7432	0,22	0,58	0,26	≤0,035	≤0,035	1,21	0,41	0,59	0,20

Tablica: 2.2 Mehanička svojstva

Oznaka čelika	Granica plastičnosti $\sigma_v$ [kp/mm <sup>2</sup> ]	Čvrstoća na vlak $\sigma_m$ [kp/mm <sup>2</sup> ]	Istezanje $\delta_s$ [%]	Kontrakcija $\psi$ [%]	Žilavost $\zeta_3$ kpm/cm <sup>2</sup>	Tvrdoća HB kp/mm <sup>2</sup>
Č. 7432	63,8	72,5	22,7	53,8	15,86	220,5

### 2.2 Režimi obrade

Ispitivanja obradivosti čelika otpornih na više temperatu-  
re vršena su uglavnom u tvornicama, koje proizvode parne ili plin-  
ske turbine. Neki rezultati ispitivanja koja su vršena u SSSR-u  
dana su u literaturi [6.7.8 i 9]. Međutim, za obradu čelika Č.7432  
glodanjem profilnim natražno tokarenim glodalima nema podataka.  
Analizirajući objavljene režime obrade glodanjem za čelike iste  
grupe i sličnih karakteristika, usvojeni su slijedeći ispitni re-  
žimi obrade:

brzina rezanja:  $v = 18 - 47$  m/min.

posmak:  $s_z = 0,03 - 0,11$  mm/zubu

dubina rezanja:  $a = 4$  mm

### 3.0. Sredstva ispitivanja

#### 3.1 Stroj

Ispitivanja su vršena u Laboratoriju mašinske obrade Mašinskog fakulteta u Kragujevcu na programiranoj univerzalnoj glodalici tip PGU-3 sistem "Heckert" proizvodnje Prvomajeka Zagreb. Da bi se došlo do stvarnih vrijednosti brojeva okretaja i posmaka, za uvjete ispitivanja bilo je potrebno iste mjeriti, i to u područjima koja su se pri pokusima koristila. Ova mjerenja izvršena su nakon toplinske stabilizacije glodalice, koja je uslijedila nakon 17 minuta. Radno područje uzeto je iz tačke 4.1. Nakon obrade podataka dobivenih ovim mjerenjima, ustanovljeno je da su izmjereni brojevi okretaja (a time i brzine) za 7.1 do 12,86 % veći od deklariranih na glodalici. Ovo prekoračuje vrijednosti dane u JUS-u M.GO.020 od ožujka 1965, gdje su brojevi okretaja tolerirani u granicama od -2 do 6 %. Mjerenja posmaka stola su pokazala da su, za područje ispitivanja, stvarni posmaci veći do 9 % od deklariranih na glodalici, što je također više od toleriranog po JUS-u M.GO.021 od ožujka 1965. Pri proračunu stvarnog posmaka po formuli:

$$s_z = \frac{s'}{z n} \text{ mm/zubu}$$

gdje je:  $s'$  = brzina posmaka stola u mm/min.

$z$  = broj zubi glodala

$n$  = stvarni broj okretaja u minuti

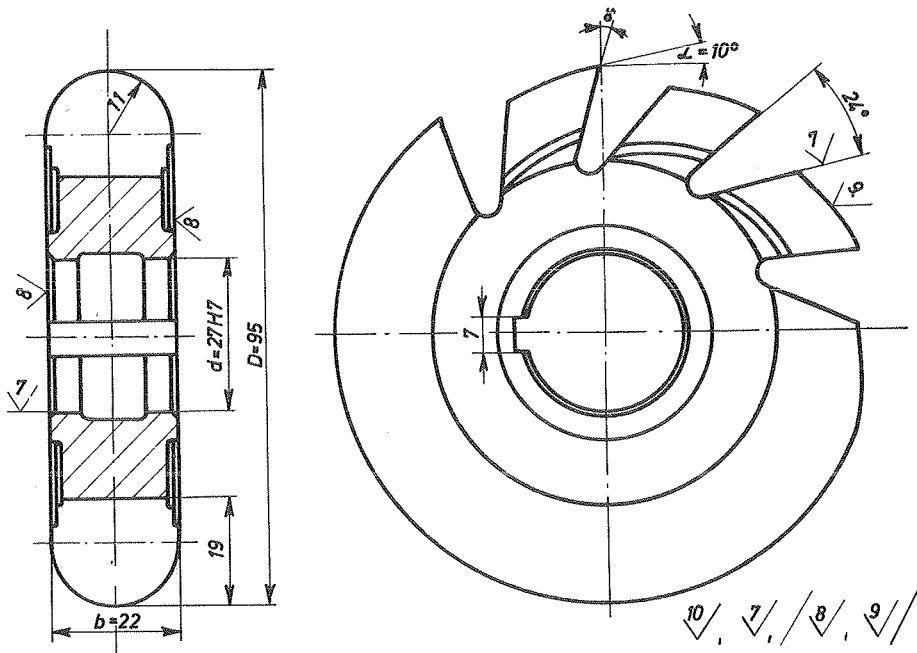
pokazalo se je, da posmaci po zubu imaju manju vrijednost za 1,5 do 12 % od vrijednosti, koje su planiranjem pokusa predviđene.

#### 3.2 Rezni alat

Ispitivanjem obradivosti čelika Č.7432 vršeno je s natražno tokarenim radius glodalom, prikazanim na slici 3.1. Ova glodala proizvodi su tvornice "Jugosalat" Novi Sad. Glodala su izrađena iz brzoreznog čelika Č.6880, prema JUS-u K.D2.081. Natražno tokarenje izvedeno je sa hrapavošću 9.klase. Izmjerena tvrdoća glodala iznosi 66 Rc.

Geometrija oštrica: stražnji kut  $\alpha = 10^\circ$ , na vrhu zuba,  
 prednji kutevi glodala mjereni na vrhu zuba:  
 $\gamma = 0^\circ, 8^\circ, 16^\circ, 24^\circ$  i  $32^\circ$ .

Maksimalni udar oštrica glodala, nakon oštrenja, mjereno na tronu, iznosio je 0,03 mm, a na radnom vretenu 0,06 mm, što je prema JUS-u K.D2.010 od 1956. dozvoljeno. Međutim, JUS ne daje dozvoljene vrijednosti maksimalnog udara, koje bi vrijedile za uslove ispitivanja obradivosti, a koje bi trebale biti nešto manje.



Sl.3.1. Profilno glodalo tip T,R=11 JUS K.D2.081.

Tokom oštrenja smanjuje se promjer glodala radi natražno tokarene stražnje površine. Ovo smanjenje približno iznosi:

$$\Delta D = 2 \cdot \Delta l \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

$\Delta l$  = ukupna veličina oštrenja po prednjoj površini u mm.  
 Za konkretna glodala, ovisno o prednjem kutu,  $\Delta l = 4-8$  mm, što smanjuje promjer glodala za 1,4-2,2 mm. Ovo smanjenje



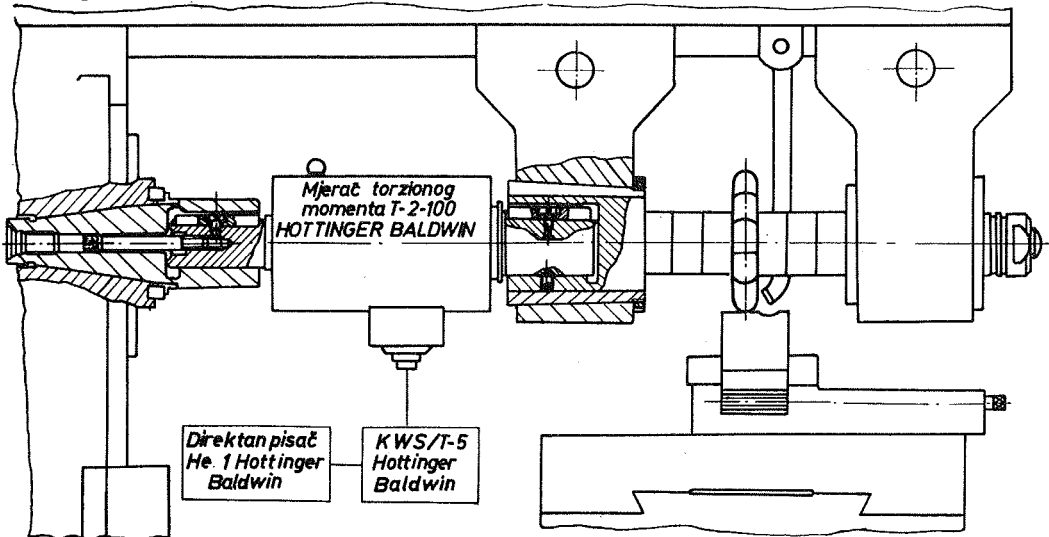
promjera smanjuje brzinu rezanja za 1,47 - 2,92 % što se može zanemariti.

### 3.3 Mjerna instrumentacija

#### 3.3.1 Mjerenja okretnog momenta

Za ova mjerenja korištena je instrumentacija prikazana na sl.3.2, koja se sastoji od slijedećih uređaja:

- a) Dinamometar okretnog momenta marke "Hottinger Baldwin", s radnim područjem do 120 kpm, ugrađenu za ovu svrhu, posebno konstruirano radno vreteno; dinamometar je prije ispitivanja statički baždaren na istoj glodalici, na kojoj su pokusi vršeni.

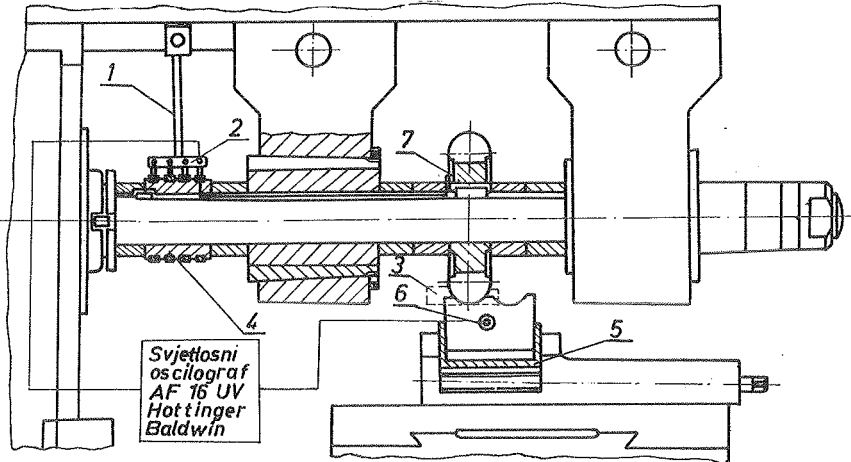


Sl.3.2 Shematski prikaz ispitivanja okretnog momenta

- b) Za registriranje podataka korišteni su:
- jednokanalni Wheatstoneov most KWS/T-5 marke "Hottinger Baldwin" koji je korišten za pojačavanje signala primljenih iz dinamometra,
  - direktni pisač, He-1, "Hottinger Baldwin" sa trakom, brzine trake su: 2.5;10;25 i 100 mm/sek; ovaj je bio spojen na izlaznom signalu instrumenta KWS/T-5.

### 3.32 Mjerenje temperature rezanja

Za mjerenje srednje temperature površinskog kontakta [10] korištena je instrumentacija prikazana na sl.3.3. Mjerenje termoelektromotorne sile, koja se javlja na kontaktu između materijala i glodala, vršeno je pomoću šesnaestkanalnog svjetlosnog oscilografa tipa AF-16UV proizvodnje "Hottinger Baldwin", s maksimalnom osjetljivošću ugrađenih galvanometara od  $0,0024 \text{ mA/cm}$  i unutarnjim otporom od  $R_g=75 \text{ oma}$ . Ovaj je prethodno izbaždaren za termopar Č.6880 i Č.7432. Ispitni materijal je prilikom pokusa bio od stroja izoliran, a na njegov izdanak bio je spojen kontakt svjetlosnog oscilografa. Drugi kontakt svjetlosnog oscilografa bio je spojen preko srebrnih četkica i posrebrene kolektorskog prstena za glodalo.



Sl.3.3 Shematski prikaz ispitivanja srednje temperature rezanja

- |                               |                           |
|-------------------------------|---------------------------|
| 1 - nosač četkica             | 5 - izolacija             |
| 2 - srebrne četkice           | 6 - priključak na izradak |
| 3 - izvor elektromotorne sile | 7 - priključak na alat    |
| 4 - kolektorski prstenovi     |                           |

## 4.0 Planiranje i provedba pokusa

### 4.1 Planiranje pokusa

Kako je u uvodu izneseno ispitivane su dvije funkcije i to:

$$M_o = f [\gamma, v, s_z]$$

$$\theta = f [\gamma, v, s_z]$$

dubina rezanja u oba slučaja bila je konstantna i iznosila je  $a = 4$  mm.

Iz [6,7,8 i 9] vidljivo je da se, pri glodanju čelika iz grupe čelika otpornih na više temperature, koriste prednji kutevi  $\gamma = 5^\circ - 30^\circ$ . Za pokus je uzeto područje:  $\gamma = 0^\circ - 32^\circ$ .

Za navedeno područje prednjih kuteva izračunat je broj nivoa i širine intervala za brojeve okretaja i posmake. Rezultati ovih proračuna dati su u tablici 4.1.

Proračunom brzina posmaka  $s$ , obzirom na poznati broj okretaja i broj zubi glodala, te slučajnim izborom parova [3] dobiveni su ispitni režimi obrade i prikazani u tablici 4.2. U posljednjoj tablici dane su vrijednosti deklariranih brojeva okretaja i posmaka. Međutim, obrada podataka vršena je prema stvarnim vrijednostima, koje su dobivene ispitivanjem, prema opisanom u tački 3.1.

Tablica: 4.1

Prednji kut $\gamma^\circ$	Brzina rezanja $v$	Broj okretaja $n$	Posmak $s_z$
$0^\circ$	18	56	0,03
$8^\circ$	25,25	71	0,05
$16^\circ$	32,5	90	0,07
$24^\circ$	39,75	112	0,09
$32^\circ$	47	140	0,11

Tablica: 4.2

$n$ $\text{min}^{-1}$ / $s'$ $\text{mm}/\text{min}$	Prednji kut $\gamma^\circ$				
	$0^\circ$	$8^\circ$	$16^\circ$	$24^\circ$	$32^\circ$
56	40	63	16	50	25
71	63	20	31,5	80	50
90	100	40	63	25	80
112	31,5	80	100	50	125
140	63	125	160	100	40

#### 4.2 Provedba pokusa

Pokusi su izvršeni u Laboratoriju mašinske obrade Mašinskog fakulteta u Kragujevcu. Koristeći sredstva opisana u tački 3.0, izvršena su mjerenja okretnog momenta i srednje temperature rezanja. Ispitivani materijal bio je Č.7432 pripremljen u epruветama  $45 \times 45 \times 200$  mm. Glodanje je vršeno s pet profilnih glodala istih dimenzija od kojih je svaki bio nabrušen na drugi prednji kut (tačka 3.2). Hlađenje je vršeno sa 4%-tnim rastvorom Teolina-3 u vodi. Ispitni režimi uzeti su iz faktorskog plana pokusa (tablica 4.2 . Dubina rezanja je bila

konstantna i iznosila je 4 mm. Smjer glodanja bio je protusmjere - ran.

### 5.0. Rezultati ispitivanja

Pored faktorskog plana pokusa vršen je i križni plan pokusa. Iz križnog plana pokusa napravljeni su dijagrami ovisnosti okretnog momenta o prednjem kutu pri različitim brzinama rezanja i posmacima, a pri konstantnoj dubini rezanja. Ovi dijagrami prikazani su na slikama 5.1, 5.2, 5.3 i 5.4. Također iz križnog plana pokusa napravljeni su dijagrami prikazani na slikama 5.5, 5.6, 5.7 i 5.8. Navedeni dijagrami pokazuju ovisnost srednje temperature rezanja o prednjem kutu pri različitim brzinama rezanja i posmacima za konstantnu dubinu rezanja.

Obradom podataka, dobivenih ispitivanjem prema faktorskom planu pokusa, na elektronskom računaru Cellatron Ser.2c Katedre za organizaciju rada Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu, dobivene su slijedeće ovisnosti ispitivanih veličina.

Za okretni moment:

$$M_o = 0,28054 \ v^{-0,284} s_z^{0,9178} \beta^{-2,659} \quad [kpcm] ,$$

odnosno za srednju obodnu silu:

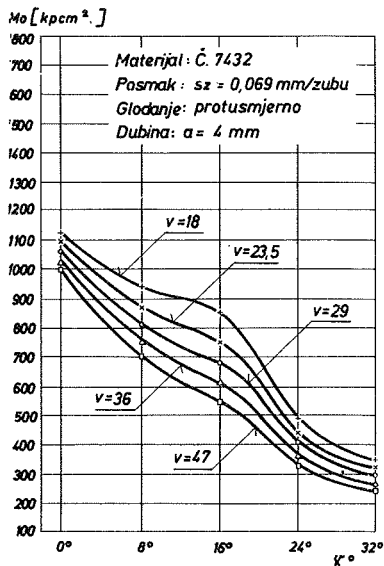
$$F_o = 0,0592 \ v^{-0,284} s_z^{0,9178} \beta^{2,659} \quad [kp]$$

Ove relacije vrijede za glodanje čelika Č.7432 s konveksnim profilnim glodalom natražno tokarenim i za dubinu rezanja 4mm. Koeficijent korelacije, između vrijednosti okretnog momenta dobivenih pokusom i izračunatih po gornjoj formuli, iznosi 0,9939.

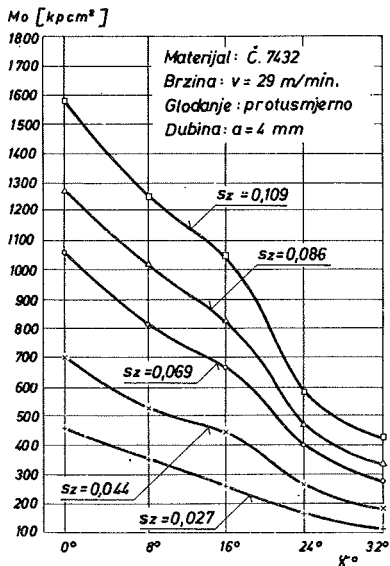
Za srednju temperaturu rezanja:

$$\theta = 8,451 \ v^{0,3231} s_z^{0,2068} \beta^{0,828} \quad [^{\circ}C]$$

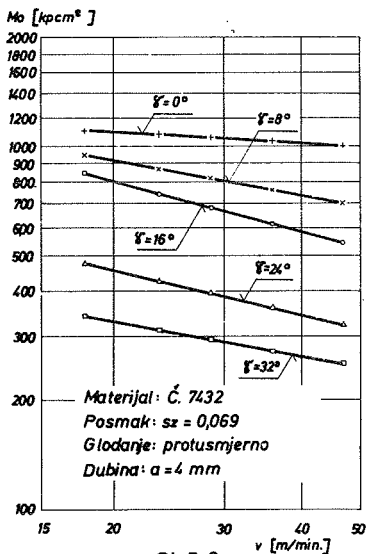
Ova relacija vrijedi za iste uslove, koji su prije kod okretnog momenta navedeni. Ovdje je koeficijent korelacije 0,9724.



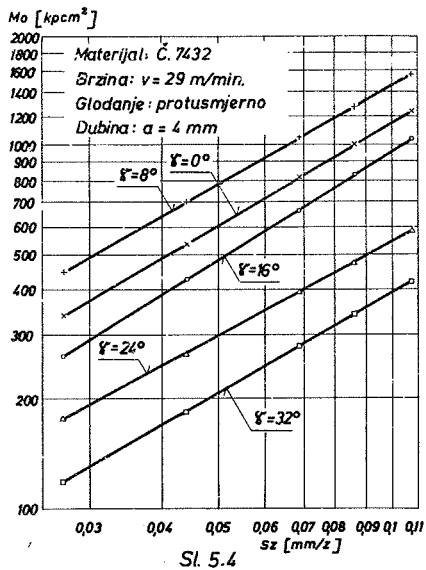
Sl. 5.1



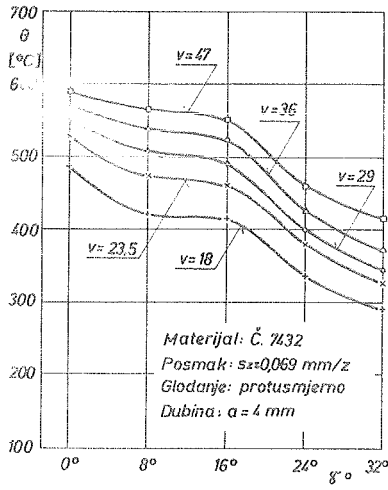
Sl. 5.2



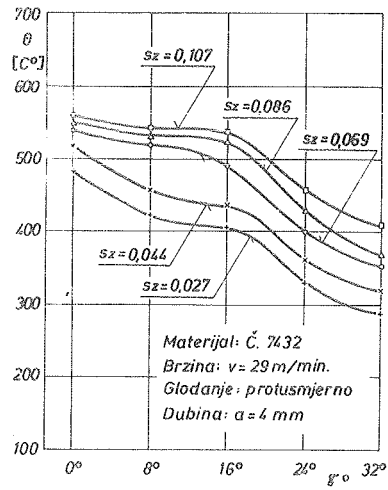
Sl. 5.3



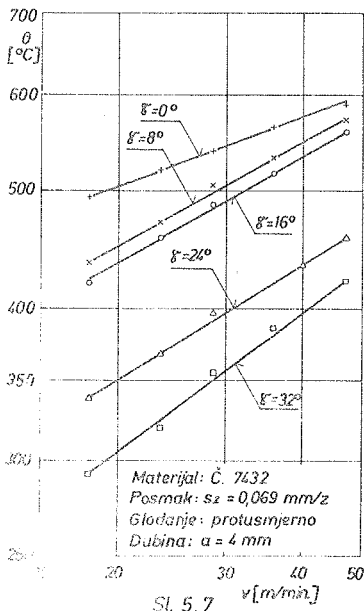
Sl. 5.4



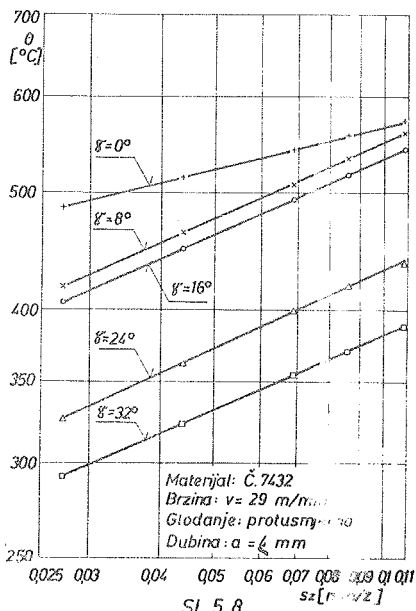
Sl. 5.5



Sl. 5.6



Sl. 5.7



Sl. 5.8

## 6.0. Zaključak

1. Postoji ovisnost okretnog momenta i srednje temperature rezanja o prednjem kutu i ona je izrazitija što je posmak  $s_z$  veći. (sl.5.1, 5.2, 5.5 i 5.6). U oba slučaja porastom prednjeg kuta smanjuje se okretni moment i srednja temperatura rezanja.

2. Okretni moment ovisi o brzini rezanja i opada s njenim povećanjem, i to kod svih veličina prednjeg kuta /sl.5.3/, dok jako ovisi o veličini posmaka /sl.5.4/.

3. Srednja temperatura rezanja izrazito raste s porastom brzine /sl.5.7/, a manje o porastu posmaka /sl.5.8/.

4. Koeficijenti korelacija kako za okretno momente tako i za srednje temperature rezanja su visoki što upućuje na zaključak da dobiveni izrazi dobro slijede pokusom dobivene vrijednosti. Tako izraz za okretni moment tumači 98,6 % a izraz za srednju temperaturu rezanja 94,7 događaja.

5. Ispitivanje čelika otpornih na više temperature kao i nerđajućih čelika veoma je interesantno za tvornicu "Jugoturbina" pa će se ova ispitivanja nastaviti u cilju optimacije obrade lopatica parnih turbina.

## 7.0. L i t e r a t u r a

- 1 R. Zdenković: Obrada metala skidanjem, Zagreb, 1965.
- 2 R. Zdenković: Pregled analiza optimalnih i ekonomskih brzina rezanja za razne obrade. Zbornik saopćenja I. Savjetovanja proizvodnog mašinstva, Beograd 1965.
- 3 A. Đurašević: Planiranje pokusa i faktorska analiza, Predavanja na III. stupnju FSB u Zagrebu 1969.

- [4] B.Ivković: Alati u obradi metala glodanjem, Tehnička knjiga, Beograd 1967.
- [5] A.M.Danieljan: Obrabotka rezaniem žaropročnih stalej splavov i turoplavih metallov, Mašinstroenie, Moskva 1965.
- [6] M.F.Idzon: Mehaničeskaja obrabotka lopatok gazo-turbinnih dvigatelej, Oborongiz, Moskva, 1963.
- [7] R.Mitrović: Utjecaj režima obrade na efektivnu snagu pri glodanju valjkastim glodalima. Saopćenje IAMA. 8-1968 Beograd.
- [8] V.N.Poduraev: Obrabotka rezaniem žaropročnih i neržavejaščih materialov. Višaja škola, Moskva 1965.
- [9] A.Š.Šifrin  
L.M.Reznickij: Obrabotka rezaniem korroziionostojkih, žaropročnih i titanovih staleliej i splavov, Mašinstroenie, Moskva 1964.
- [10] S.Zahar: Temperatura rezanja pri glodanju valjkastim glodalima. Saopćenje IAMA 8.1968. Beograd.

Betrifft: Einfluss des Spanwinkels am hinterdrehten Profilfräaser auf das Drehmoment und die mittlere Bearbeitungstemperatur.

Zur Erzielung der optimalen Zustände bei der Bearbeitung von Dampfturbinenschaufeln hat die Fa. "Jugoturbina", Karlovac eine Reihe von Untersuchungen zur Bestimmung des Einflusses des Spanwinkels am hinterdrehten Profilfräaser auf das Drehmoment und die mittlere Bearbeitungstemperatur bei verschiedenen Schnittgeschwindigkeiten und Vorschüben durchgeführt.

Um eine optimale Bearbeitung zu erzielen, sollen weitere Untersuchungen die Antwort fuer den besten Spanwinkel beim Fräesen von rostfreien und temperaturbeständigen Stählen geben.



B. Mitić, M. Drezgić x/

NEKI PROBLEMI I REZULTATI U ISTRAŽIVANJU MEHANIZMA RAZLETANJA I ODVOĐENJA STRUGOTINE IZ ZONE REZANJA xx/

### 1. Uvod

Mehanika rezanja, odnosno mehanika obrazovanja strugotine, predstavlja veoma složen fizički proces koji je predmet stalnih istraživanja. Uvodnim referatom [1] na V Savetovanju dat je iscrpan pregled rezultata i problema iz ove oblasti kako u svetu tako i u nas. Međutim mehanika kretanja strugotine, nakon njenog obrazovanja, u prostoru zone rezanja i šire zone obrade, je vrlo malo istraživana. Danas se sve više koriste različiti sistemi za kontinuirano odvođenje strugotine iz zone rezanja s konačnim ciljem da se transportuje do mesta njenog skladištenja. Da bi se projektovao efinasan sistem za kontinuirano odvođenje strugotine iz zone rezanja neophodni su polazni parametri kako o kretanju čestica strugotine tako i o mestu njenog nagomilavanja u prostoru zone obrade.

U ovom radu se analiziraju zbog toga mogući pravci za istraživanje mehanizma razletanja i odvođenja strugotine i iznose neki poznati kao i sopstveni rezultati za utvrđivanje parametara koji su od značaja za usmeravanje, odvođenje i transportovanje strugotine.

---

x/ Božidar Mitić, dipl.ing., docent Tehničkog fakulteta Univerziteta u Nišu.

Miroslav Drezgić, dipl.ing., viši stručni saradnik Službe razvoja Zajednice zavoda za zaštitu na radu u Nišu.

xx/ Saopštenje je deo iz zajedničkog programa rada Katedre za mašinsku obradu i alatne mašine Tehničkog fakulteta u Nišu i Službe razvoja Zajednice zavoda za zaštitu na radu u Nišu.

## 2. Napomene o prednosti kontinuiranog odvođenja strugotine

Neposredno odvođenje strugotine u toku trajanja procesa rezanja na alatnim mašinama ima velike tehničko-ekonomske prednosti. U celini ono pruža višestruke praktične koristi u pogonima proizvodnog mašinstva, koje se ogledaju u:

- (i) Povećanju ukupne ekonomičnosti procesa proizvodnje. Posredstvom kontinuiranog odvođenja strugotine iz procesa rezanja sprečava se razletanje i rasipanje strugotine po mašini i oko nje. Na taj način vrši se znatna ušteda u radnoj snazi i radnom vremenu, koji su potrebni za čišćenje mašine od strugotine, za njeno sakupljanje i transportovanje do mesta skladištenja. Ekonomski efekti postoje i zbog činjenice da se može vršiti sortiranje strugotine prema vrstama materijala koji se obrađuju, što omogućuje da se ona bolje koristi kao sirovina za preradu u livnicama ili železarama;
- (ii) Povećanju veka trajanja i tačnosti rada mašina. Zasipanje kliznih površina mašine metalnom strugotinom je neizbežna pojava koja proističe iz procesa rezanja. Nepoželjno i nekontrolisano razletanje strugotine po mašini dovodi do toga da sitni metalni opiljci prodru na tarućim površinama i izazovu oštećenja. Posledice ovoga su, osetno skraćivanje veka trajanja mašine i smanjenje zahtevane tačnosti rada mašine. Uvođenje kontinuiranog odvođenja strugotine eliminiše opasnosti od ovakve vrste oštećenja, što smanjuje troškove oko remonta i isključuje potrebu za materijalnom ulaganja oko zaštite vitalnih kliznih površina mašine, odnosno time se postiže i produženje veka mašine;
- (iii) Povećanju vremenskog iskorišćenja mašine. Ako postoji sistem za kontinuirano odvođenje strugotine, u toku jedne smene se povećava efektivno vreme za rad mašine, jer se ne javlja potreba za zaustavljanje mašine radi čišćenja i sakupljanja strugotine. Efekti u ovom smislu su naročito značajni pri gruboj obradi, kada je proizvedena količina strugotine u jedinici vremena velika. Ukupno raspoloživi fond vremena za korišćenje mašine se povećava i zbog smanjenja vremenskih gubitaka oko remonta delova koji su oštećeni zbog upada metalnih opiljaka, i u

(iv) Povećanju bezbednosti pri radu. Delovi strugotine koji se razleću sa znatnom kinetičkom energijom uzroci su velikog broja povreda radnika. Pored ovoga pri obradi krutih materijala stvara se metalna prašina koja može znatno da premašuje zdravstvene normative. Zapršenost vazduha predstavlja naročito veliku opasnost za zdravlje radnika ako su u pitanju materijali koji sadrže olovo, kao što su bronza i mesing. Sve ove opasnosti se isključuju ukoliko je ugrađen efikasan sistem za odvođenje strugotine i metalne prašine.

### 3. Osnovni problemi koji se javljaju pri razletanju strugotine

Složenost mehanizma razletanja strugotine uočava se i pri jednostavnim ogleđima. Od ukupno stvorene strugotine jedan deo pokazuje uvek određenu pravilnost pri razletanju, međutim drugi deo znatno odstupa od osnovnog pravca kretanja strugotine. Dosadašnja saznanja o kretanju čestica strugotine posle faze njenog odvajanja od osnovnog materijala zasnivaju se na ispitivanjima koja koriste poznate fotometode. A. F. Vlasov [2] iznosi neke rezultate ovakvih ispitivanja i daje podatke o obliku i pravcu kretanja protoka strugotine za krte materijale. U odnosu na smer koraka rezanja Vlasov definiše ugao kretanja strugotine i daje podatke za tri slučaja:

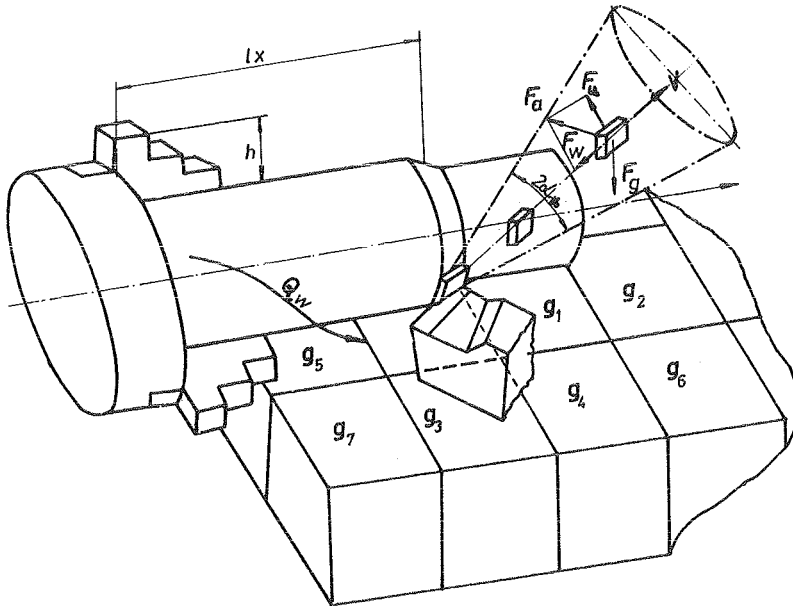
- a)  $\psi = \varphi + 90^\circ$  kada postoje odnosi  $\frac{s}{t} < 1$  i  $\frac{t}{r} > 1$   
b)  $\psi < 90^\circ$  kada su vrednosti  $\frac{s}{t} < 1$  i  $\frac{t}{r} < 1$   
c)  $\psi = 90^\circ$  kada je  $\frac{s}{t} > 1$

gde su:  $\psi$  - ugao kretanja strugotine u horizontalnoj ravni;  
 $\varphi$  - napadni ugao strugarskog noža;  
 $s$  - korak pri rezanju;  
 $t$  - dubina pri rezanju i  
 $r$  - poluprečnik zaobljenja vrha noža

Navedene rezultate samo delimično verifikuju ispitivanja koja su vršili autori ovog rada na bazi statističke metode. Metodologija ovih ispitivanja, odnosno način registrovanja raspodele strugotine u zoni rezanja u cilju statističke analize, izložena je u radu [3], a na neke rezultate ukazano je u radu [4].

Analiza pravca protoka strugotine u ovom slučaju zasniva se na stvarnoj raspodeli strugotine, koja je dobijena na napravi

za registrovanje strugotine ( sl.1 ).



Sl.1 Shema naprave za registrovanje raspodele strugotine ispod noža i predmeta obrade sa prikazom sila koje dejstvuju na čestice strugotine, odnosno prikazom konusa u kome se vrši razletanje najvećeg dela proizvedene strugotine.

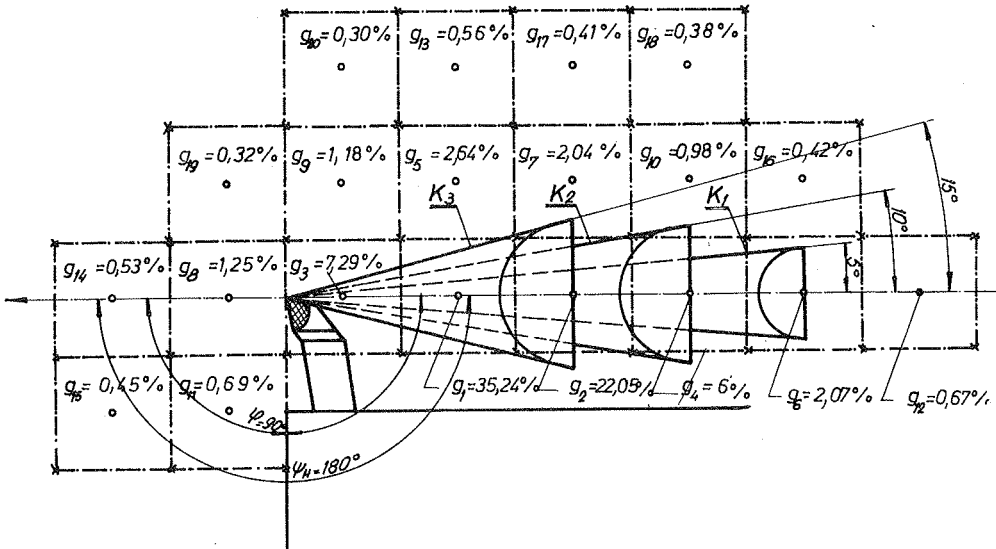
Mesta nagomilavanja strugotine  $\xi_1$  u pojedinim odeljcima naprave za registrovanje označena su indeksima prema redu veličine strugotine u odnosu na ukupnu količinu posmatrane strugotine, tako da je:

$$\xi_1 > \xi_2 > \xi_3 \dots > \xi_n$$

Na sl.2 data je horizontalna projekcija podeoka naprave za registrovanje strugotine sa unetim rezultatima u svakom podeoku, koji su dobijeni kao prosečne vrednosti u nizu eksperimentalnih merenja.

Ispitivanja su vršena pri obradi materijala od sivog liva, čiji je hemijski sastav:

$$C=3,5\%; Si=2,38\%; Mn=0,48\%; S=0,13\%; P=0,37\%.$$



Sl.2 Prikaz procentualnog učešća strugotine u pojedinim odeljcima naprave za registrovanje strugotine pri njenom nagomilavanju, sa ucrtanim konusima nagomilavanja  $K_1, K_2$  i  $K_3$ .

Navedena raspodela strugotine je dobijena pri istim uslovima obrade. Strugarski nož je sa pločicom od tvrdog metala prema JUS K.Cl.053, preseka tela noža  $16 \times 10$  mm, sa napadnim uglom od  $90^\circ$ , odnosno zaobljenja vrha  $r=1$  mm. Dubina pri rezanju je iznosila  $t=2$  mm, korak  $s=0,24$  mm/o, a broj obrta  $n=125$  o/min.

Ova ispitivanja prema tome odgovaraju prvom slučaju prema Vlasovu, jer je  $s/t=0,17$  a  $t/r=2$ , što odgovara uglu kretanja strugotine u horizontalnoj ravni od  $180^\circ$ .

Sa grafičkog prikaza na sl.2 proizilazi da se protok strugotine vrši u pravcu zamišljenih konusa, pri čemu se posmatraju tri slučaja, kada je ugao konusa  $5^\circ, 10^\circ$  i  $15^\circ$ .

Prema datoj raspodeli količina strugotine koja odgovara jednom konusu iznosi:

$$G_i = k_1 g_1 + k_2 g_2 + \dots + k_n g_n$$

gde su:

$k_i$  - koeficijent koji izražava učešće količine strugotine iz jednog odeljka naprave za registrovanje a za odgovarajući ugao konusa,

$g_i$  - procentualni iznos količine strugotine u jednom odeljku u odnosu na ukupno nagomilanu strugotinu na napravi za registrovanje.

Vrednosti koeficijenata  $k_1=0,0-1,0$ , određuju se grafičkom interpolacijom, tako naprimer za odeljak  $g_3=7,29\%$  za ugao konusa od  $5^\circ$  ovaj koeficijent iznosi  $k_3=0,1$ , za ugao od  $10^\circ$  je  $k_3=0,25$  i za ugao od  $15^\circ$  je  $k_3=0,33$ .

Prema tome, količina strugotine koja pripada pojedinim konusima nagomilavanja strugotine iznosi:

a) za ugao konusa od  $5^\circ$

$$G_1=0,1 \cdot 7,29+0,25 \cdot 35,24+0,5 \cdot 22,05+0,66 \cdot 6,0+0,91 \cdot 2,07$$

$$G_1 = 27,10 \%$$

b) za ugao konusa od  $10^\circ$

$$G_2=0,25 \cdot 7,29+0,5 \cdot 35,24+0,91 \cdot 22,05+1,0 \cdot 6,0+1,0 \cdot 2,07$$

$$G_2 = 46,86 \%$$

c) za ugao konusa od  $15^\circ$

$$G_3=0,33 \cdot 7,29+0,83 \cdot 35,24+1,0 \cdot 22,05+1,0 \cdot 6,0+1,0 \cdot 2,07$$

$$G_3 = 63,41 \%$$

Analiza statističkih podataka pri ovim ispitivanjima ističe jednostavan zaključak; u pravcu naznačenih konusa koji približno odgovaraju uglu kretanja strugotine, razleće se samo jedan deo od ukupno nagomilane strugotine na napravi za registrovanje. Drugi deo strugotine, koji se može približno smatrati da iznosi od  $\frac{1}{3}$  do  $\frac{2}{3}$  od ukupno nagomilane strugotine u zoni rezanja, rasipa se nepravilno i to ne samo van naznačenih konusa već i u suprotnom smeru od osnovnog smera razletanja strugotine.

Zbog toga se nameće i pitanje, koji su osnovni uzroci koji remete pravilnost u smeru nagomilavanja strugotine? Odgovor na ovo pitanje je od principijelnog značaja kako bi se usmerila sama istraživanja mehanizma razletanja strugotine i došlo do konkretnih direktiva pri projektovanju efikasnih sistema za kontinuirano odvođenje strugotine za vreme procesa rezanja.

#### 4. Osnovne pretpostavke o faktorima koji utiču na pravac rasipanja strugotine

Od trenutka odvajanja strugotine od osnovnog materijala pa do njenog nagomilavanja u zoni rezanja, na tok kretanja čestica strugotine utiču mnogi faktori. Oni se mogu svrstati na više načina. U ovom slučaju se predlaže grupisanje uticajnih faktora u tri kategorije i to:

- (i) Faktori prisutni pri stvaranju strugotine, odnosno koji su vezani za mehanizam njenog nastajanja. U ovom slučaju u pitanju je čitav niz pratećih pojava kao što su: naslage na vrhu sečiva alata, sabijanje strugotine, sile trenja između čestica strugotine, promene sila rezanja usled nehomogenosti materijala koji se obrađuje i slično. Zajedničko obeležje svih ovih faktora je da oni dejstvuju u procesu rezanja sa promenljivim parametrima, tako da od jedne do druge čestice strugotine utiču na promenu početnih uslova kretanja. Promenljivost parametara ovih faktora sigurno utiče da čestice strugotine zauzimaju različite položaje pri svom nagomilavanju u zoni rezanja. Ali pri ovome je neosporna i pretpostavka da ovi faktori bitno ne remete osnovni smer pri razletanju strugotine, naprimer oni ne mogu da dejstvuju tako da se čestice kreću u suprotnom smeru od osnovnog smera kretanja strugotine;
- (ii) Faktori koji su vezani za konačno formiranu česticu kidane strugotine. Na tok kretanja bitno utiče oblik, veličina i težina elementarne čestice strugotine. Međutim i u ovom slučaju isključena je mogućnost da ovi parametri usmeravaju čestice u suprotnom smeru od osnovnog smera kretanja strugotine, i
- (iii) Faktori koji su vezani za sredinu u kojoj se vrši kretanje čestica strugotine. Gustina i pritisak vazduha, strujanje vazduha  $Q_w$  usled obrtnog kretanja centričnog stezača (vidi sl. 1), što dovodi i do međusobnog sudara pojedinih čestica. Sve su to faktori koji u manjoj ili većoj meri remete tok kretanja strugotine. Na osnovu globalnih podataka može da se konstatuje da se intenzitet uticaja vazdušnog strujanja  $Q_w$  menja sa promenom rastojanja  $L_x$  i visine  $h$  date na slici 1.

Ne zanemarujući značaj uticajnih faktora (i) i (ii) treba posebno istaći neobhodnost istraživanja efekata koji izazivaju spoljašni uticajni faktori (iii), jer oni mogu bitno da remete osnovni tok kretanja strugotine, odnosno da pod određenim uslovima usmere čestice strugotine i u suprotnom smeru od njenog osnovnog smera kretanja.

Na sl.1 dat je i shematski prikaz sila koje dejstvuju na idealiziranu česticu strugotine pravilnog paralelopipednog oblika. Pored neospornog uticaja sile zemljine teže ( $F_g$ ), ovde se naglašava i uticaj aerodinamičkih sila ( $F_a$ ) na kretanje čestice strugotine u zoni rezanja. Predpostavka o prisustvu takvih sila je sasvim opravdana, ona proističe i iz poznatih Njutnovih zakona kretanja, da svako telo svoje stanje kretanja menja pod dejstvom sila. Upravo u ovom slučaju analize pokazuju da se jedan deo strugotine nagomilao van osnovnog toka što i upućuje na zaključak da je ta promena nastupila pod uticajem sila i to aerodinamičkih.

Ukoliko se posmatra da jedna aerodinamička sila dejstvuje na česticu strugotine u nekoj vertikalnoj ravni, onda se ova sila može razložiti na dve komponente. Komponenta  $F_w$  je sila otpora vazduha i dejstvuje u suprotnom smeru od smera brzine kretanja strugotine, dok je komponenta  $F_u$  sila uzgona ili potisna sila koja dejstvuje normalno na pravac brzine kretanja čestice strugotine.

Predpostavka da je deo čestice strugotine, koji se je nagomilao van osnovnog pravca rasipanja, svoj položaj zauzeo pod dominantnim uticajem sile uzgona je potpuno realna. Ukoliko se imaju u vidu principi kretanja aviona poznato je da se regulacijom sile uzgona vrši podizanje, spuštanje i zaokretanje aviona. Razlika između kretanja aviona i bilo kakvog drugog tela u vazduhu je u tome, što se u prvom slučaju radi o kontrolisanoj promeni veličine i pravca uzgonske sile a u drugom slučaju, o nekontrolisanoj promeni koja podleže nekoj stohastičkoj zavisnosti.

Na osnovu iznetog može se zaključiti da je remećenje pravilnog protoka strugotine u zoni rezanja rezultat i dejstva aerodinamičkih sila, koje se javljaju u procesu obrade kao spoljašni uticajni faktori.



## 5. Pokazatelji efikasnosti sistema za kontinuirano odvođenje strugotine

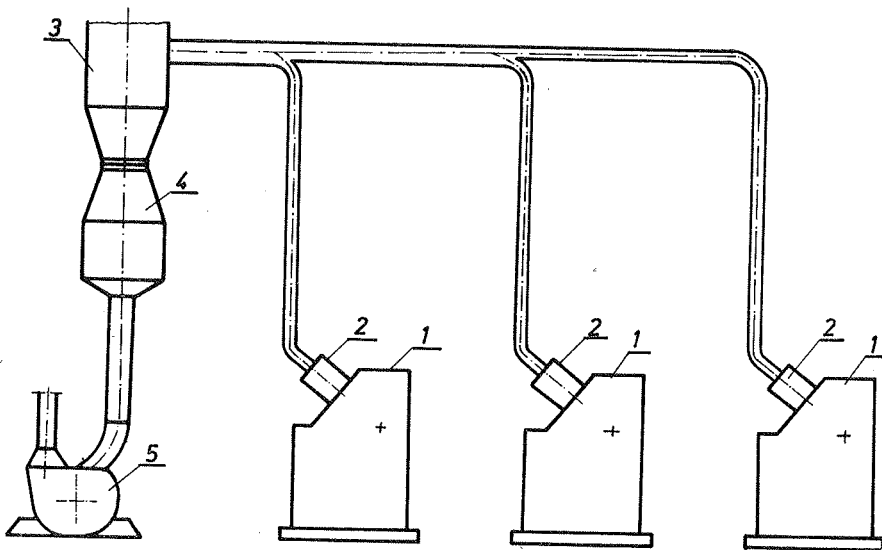
Pri projektovanju sistema za kontinuirano odvođenje strugotine javlja se potreba da se iskaže sposobnost jedne konstrukcije u pogledu efikasnosti prihvatanja i odvođenja strugotine iz zone rezanja. Za mašine koje imaju svoje posebne uređaje za odvođenje strugotine pokazatelj efikasnosti se izražava kao odnos:

$$E = \frac{G_o}{G_u}$$

gde su:  $G_o$  - težina strugotine koju odvodi sistem kontinuirano u procesu rezanja, i

$G_u$  - težina ukupno stvorene strugotine u procesu rada mašine.

Centralni sistemi u kojih se posredstvom priključnih sabirnika odvodi strugotina sa više mašina, kao na sl.3, je problem složenije prirode.



Sl.3 Shematski prikaz instalacije za centralno odvođenje strugotine iz zone rezanja, 1-alatna mašina, 2-priključni sabirnik, 3-ciklon za izdvajanje strugotine, 4-bunker za skladiranje strugotine i 5-centrifugalni ventilator.

Ukoliko se efikasnost centralnog sistema i efikasnost odvođenja strugotine sa pojedinih mašina posmatra kao niz slučajnih događaja, problem se može da analizira posredstvom teorije verovatnoće. Efikasnost centralnog sistema prema teoremi potpune verovatnoće [5] može da se definiše izrazom:

$$E(C) = \sum_{i=1}^{i=n} E\left(\frac{C}{A_i}\right) P(A_i)$$

gde su:

$E(C)$  - efikasnost centralnog sistema, koja se posmatra kao verovatnoća događaja (C),

$E\left(\frac{C}{A_i}\right)$  - efikasnost pri odvođenju strugotine sa jedne mašine, koja se posmatra kao verovatnoća dva međusobno zavisna događaja (C) i ( $A_i$ ),

$P(A_i)$  - pojedinačno relativno učešće jedne mašine u odnosu na ukupni kapacitet centralne instalacije za odvođenje strugotine, koje se posmatra kao verovatnoća događaja ( $A_i$ ).

Pri ovome treba napomenuti da za određeni niz događaja ( $A_i$ ) se formira potpuni sistem događaja za koji važi uslov da je:

$$P(A_1) + P(A_2) + \dots + P(A_n) = 1$$

Praktična primena proračuna efikasnosti centralne instalacije obrazlaže se posredstvom jednog primera.

Primer. U sklopu jedne centralne instalacije za kontinuirano odvođenje strugotine priključena su tri automatska struga. Parcijalno učešće strugotine sa svake mašine u odnosu na ukupni kapacitet instalacije iznosi:

$$P(A_1) = 0,5 \quad P(A_2) = 0,3 \quad P(A_3) = 0,2$$

$$P(A_1) + P(A_2) + P(A_3) = 0,5 + 0,3 + 0,2 = 1$$

Prvobitna konstrukcija priključnih prijemnika (poz.2 sa sl.3) koji su istovetni na svim mašinama, pokazuje efikasnost za svaku mašinu :

$$E_1\left(\frac{C}{A_1}\right) = 0,7 \quad E_1\left(\frac{C}{A_2}\right) = 0,8 \quad E_1\left(\frac{C}{A_3}\right) = 0,9$$

Izvršena je rekonstrukcija priključnih prijemnika tako da se poveća efikasnost odvođenja strugotine sa prvog automata s obzirom da je njegovo parcijalno učešće u ukupnom kapacitetu instalacije najveće. Nove vrednosti pojedinačnih efikasnosti iznose:

$$E_2\left(\frac{C}{A_1}\right) = 0,8 \quad E_2\left(\frac{C}{A_2}\right) = 0,7 \quad E_2\left(\frac{C}{A_3}\right) = 0,8$$

I konačno priključni prijemnici su oblikovani konstrukcijski posebno za svaki automat što daje sledeće rezultate:

$$E_3\left(\frac{C}{A_1}\right) = 0,8 \quad E_3\left(\frac{C}{A_2}\right) = 0,85 \quad E_3\left(\frac{C}{A_3}\right) = 0,95$$

Odgovor na pitanje koja konstrukcija priključnih sabirnika daje najpovoljniju efikasnost centralne instalacije sledi iz sledećih jednačina:

$$E_1(C) = 0,7 \cdot 0,5 + 0,8 \cdot 0,3 + 0,9 \cdot 0,2 = 0,77$$

$$E_2(C) = 0,8 \cdot 0,5 + 0,7 \cdot 0,3 + 0,8 \cdot 0,2 = 0,78$$

$$E_3(C) = 0,8 \cdot 0,5 + 0,85 \cdot 0,3 + 0,95 \cdot 0,2 = 0,845$$

Iz ove analize sledi zaključak da se znatno poboljšava efikasnost centralne instalacije ukoliko se primeni treća varijanta konstrukcije priključnih sabirnika.

## 6. Literatura

- [1] V. Šolaja, Obrada rezanjem - uvodni referat, Zbornik V Save-tovanja proizvodnog mašinstva, Kragujevac, 1969, III knjiga. str. 75.
- [2] A. Vlasov, Udalenie pyli i stružki ot režušćih instrumentov, Izdateljstvo Mašinstroenie, Moskva 1966 str. 78.
- [3] B. Mitić, Prilog izučavanju prirode razletanja strugotine u prostoru zone rezanja na strugu sa stanovišta optimalne zaštite, Mašinstvo, 1970, br. 7, Beograd str. M 151.
- [4] B. Mitić, Primena statističke metodologije u izučavanju pri-rode razletanja strugotine na strugu a u cilju određivanja konstrukcijskih parametara pri projektovanju sistema za-štite, Mašinstvo, 1970, br. 8, Beograd, str. M 173.
- [5] S. Elazar, Matematička statistika, Zavod za izdavanje udžbe-nika, Sarajevo, 1968, str. 25.

B.Mitić, M.Drezgić

SOME PROBLEMS AND RESULTS IN THE RESEARCH OF MECHANISAM OF  
DISPERSE FLYING AND TAKING AWAY OF CHIPS OUT OF CUTTING ZONE

In the article are analysed experimental data about moving of particles of chips in cutting zone achieved by well known photomethods compared with the data of the authors, which are results of statistical research of this phenomenon. Established differences in the form of irregular dispersion of the chips in cutting zone are explained by prevailing influence of some external facts which has not been analysed until now. It is pointed out that moving of the particles are influenced by air streaming, mutual impacts of the particles as well as by aerodynamic forces.

In addition in the article in the aim of achieving comparable data about effectiveness of central instalations for continous taking away of chips is suggested calculation which is based on theory of probability.

D. Nikolić x)

NEKE MOGUĆNOSTI ODREĐIVANJA BROJA PROLAZA PRI GLOĐANJU xx)

## 1. Uvod

Skidanje slojeva materijala sa radnog predmeta vrlo velikih dubina glodanjem u jednom prolazu može biti onemogućeno raznim karakteristikama (konstruktivnim, tehnološkim, mehaničkim itd.) mašine, alata, pribora i drugo. Tako, na primer, u zahvatima sa velikim dubinama i širinama glodanja može se dobiti ili isuviše mali korak (nedovoljna statička krutost mašine), ili isuviše mali broj obrtaja (nedovoljna snaga mašine). Ovako dobijene veličine koraka, odnosno brojeva obrtaja ne postoje na mašini, te je potreban rad u više prolaza.

Može se, međjutim, postaviti pitanje da li da se povećava broj prolaza sve dok se ne dobije korak ili broj obrtaja jednak minimalnim postojećim na mašini ili ih treba još više povećavati, i dokle? Za povećanje broja prolaza do postizanja minimalnih koraka i brojeva obrta koji postoje na mašini ne mogu se tražiti ekonomska ili neka druga opravdanja, već je to povećanje neminovnost. Dalje povećanje broja prolaza traži, međjutim, i odgovarajuće opravdanje.

Upšte se mogu postaviti i pitanja kao što su: da li neke zahvate obrade glodanjem treba izvršiti u više prolaza - u kojim slučajevima to treba činiti - dokle povećavati broj prolaza - ima li odgovarajućih opravdanja za povećanje broja prolaza?

Zasada u literaturi ne postoji eksplicitan izraz za određivanje broja prolaza pri glodanju, kao što je to slučaj za struga-

x) Dragomir M. Nikolić, dipl.ing., asistent Mašinskog fakulteta, saradnik Instituta za alatne mašine i alate, Beograd

xx) Saopštenje iz Instituta za alatne mašine i alate, Beograd

nje i rendisanje [1], [2], [3], niti odgovarajuća analiza opravdanosti povećanja broja prolaza. Pored toga, verovatno je kompleksnost međusobnih zavisnosti svih faktora pri glodanju učinila da ne postoji ni određeni princip za određivanje broja prolaza, sem kraćih osvrta na specijalne slučajeve [3].

U ovom radu je učinjen pokušaj za rešenje postavljenih pitanja za slučaj obimnog istosmernog i suprotnosmernog glodanja glodačima sa pravim zubima. Osnovni kriterijum opravdanosti rada u više prolaza je veličina mašinskog vremena. Izvedeni su obrasci zavisnosti mašinskog vremena za rad u više prolaza od vremena za jedan prolaz. Da bi se to postiglo određene su zavisnosti veličine koraka po zubu i broja obrtaja pri radu sa više i sa jednim prolazom. Ovako izvedeni obrasci omogućavaju ocenu veličine mašinskog vremena pri povećanju broja prolaza. Pored toga, dat je i metod proračuna broja prolaza.

## 2. Određjivanje zavisnosti veličina koraka pri više prolaza od koraka pri jednom prolazu

Najvažniji kriterijumi za analitičko određivanje veličina koraka pri glodanju su: otpornost mehanizma za pomoćno kretanje, stabilnost i otpornost vratila glodača, statička krutost tehnološkog sistema mašine, obezbedjenje tolerancija na radnom predmetu, kvalitet obradjene površine, otpornost glodača i njegovih zuba, maksimalni moment na glavnom vretenu itd. Prva tri i poslednja dva kriterijuma imaju veći značaj od ostalih za određivanje koraka pri grubom glodanju, pri čemu su, obično, prva tri najznačajnija. U ovom radu se zato i razmatranje svodi na prva tri kriterijuma.

2.1. - Mehanizam za pomoćno kretanje, za slučaj rada sa pravim zubima, opterećen je silom

$$F_u = F_H + \mu F_V \quad (1)$$

Komponente  $F_H^x$  i  $F_V$  za istosmerno glodanje su date izrazima [3]

---

x) Tumačenje oznaka su data u Dodatku.

$$F_H = C_F b S_z^{1-x_1} (a_2 - \xi a_1) = C_F b S_z^{1-x_1} e_2, \quad (2)$$

$$F_V = C_F b S_z^{1-x_1} (a_1 + \xi a_2) = C_F b S_z^{1-x_1} e_1,$$

gde se veličine  $a_1$  i  $a_2$ , a time i  $e_1$  i  $e_2$ , određuju prema

$$a_1 = \sum_i \sin^{2-x_1} \varphi_i, \quad (3)$$

$$a_2 = \sum_i \sin^{1-x_1} \varphi_i \cos \varphi_i, \text{ za } i = 1, 2, \dots, z_1 - 1.$$

Zamenom jednačina (2) u jednačinu (1) dobija se

$$F_u = C_F b S_z^{1-x_1} (e_1 \mu + e_2). \quad (4)$$

Pošto veličine  $C_F$ ,  $b$ ,  $e_1$ ,  $e_2$  i  $\mu$  ne zavise od veličine koraka, jednačina (4) se može da napiše u obliku

$$F_u = B S_z^{1-x_1}.$$

Ako je maksimalna sila koju može mehanizam za pomoćno kretanje da prenese  $F_{\max}$ , može da se napiše

$$F_{\max} \leq F_u = B S_z^{1-x_1}.$$

Rešavajući ovu jednačinu po  $S_z$  dobija se

$$S_z \leq (F_{\max}/B)^{1/(1-x_1)}, \quad (5)$$

gde je  $B = C_F b (e_1 \mu + e_2)$ .

Analogno je za suprotnosmerno glodanje

$$S_z \leq (F_{\max}/B_1)^{1/(1-x_1)}, \quad (6)$$

gde je:  $B_1 = (e_3 \mu + e_4)$ ,  $e_3 = (a_1 - \xi a_2)$  i  $e_4 = (a_2 + \xi a_1)$ .

Veličina sile  $F_{\max}$ , koju dopušta otpornost najslabijeg elementa mehanizma za pomoćno kretanje (zupčanik, zavojno vreteno i dr.), računa se metodama iz otpornosti materijala i mašinskih elemenata, i ona predstavlja karakteristiku prenosnika. Određivanje i konstante  $B$ , odnosno  $B_1$ , u svakom konkretnom slučajanju

ju može se iz jednačine (5), odnosno (6) odrediti veličina koraka.

Za jedan isti zahvat, bez obzira da li se radi sa jednim ili više prolaza, isti je materijal radnog predmeta, a time  $C_F$  i  $x_1$ , i ista je širina glodanja  $b$ . Jedino se menja dubina rezanja, a time se menja: broj zuba u kontaktu, veličine uglova položaja zuba u kontaktu i veličine  $e_1$ ,  $e_2$ ,  $e_3$  i  $e_4$ . Ako se ove veličine obeleže za slučaj rada sa  $i$ -prolaza sa  $e_{1i}$ ,  $e_{2i}$ ,  $e_{3i}$  i  $e_{4i}$ , a odgovarajuće veličine koraka po zubu  $S_{zi}$ , dobija se da je

- za istosmerno glodanje

$$S_{zi} = S_z \left( \frac{e_{1i}^\mu + e_{2i}}{e_{1i}^\mu + e_{2i}} \right)^{1/(1-x_1)} \quad (7)$$

- za suprotnosmerno glodanje

$$S_{zi} = S_z \left( \frac{e_{3i}^\mu + e_{4i}}{e_{3i}^\mu + e_{4i}} \right)^{1/(1-x_1)} \quad (8)$$

2.2. - Stabilnost i otpornost vratila glodača je vrlo često važan limitirajući faktor veličine koraka. U radu obimnim glodanjem vratilo glodača je izloženo uvijanju obrtnim momentom i savijanju silama  $F_H$  i  $F_V$ . Vratilo glodača može se uzeti da je gređa uklještena na jednom kraju a na drugom slobodno oslonjena. Deformacija vratila glodača pod dejstvom otpora rezanja mora pritom biti u odredjenim granicama, da ne bi bila umanjena tačnost radnog predmeta. Treba primetiti da deformacije vratila glodača zavise, pored ostalog, i od položaja glodača na njemu i broja oslonaca. U ovom radu smatraće se da je glodač postavljen na sredini dužine vratila glodača koje se oslanja na jedan oslonac.

Rezultujuća sila opterećenja vratila glodača je

$$F_R = \sqrt{F_V^2 + F_H^2} \quad (9)$$

Koristeći jednačine (2) jednačina (9) može se napisati za istosmerno glodanje



$$F_R = C_F b S_z^{1-x_1} \sqrt{e_1^2 + e_2^2} \quad , \quad (10)$$

dok se za slučajevne suprotnosmernog glodanja dobija

$$F_R = C_F b S_z^{1-x_1} \sqrt{e_3^2 + e_4^2} \quad . \quad (11)$$

Ukupni ugib vratila glodača se za navedene uslove izračunava po obrascu

$$f = \frac{F_{\max} l^3}{E I 110} \quad . \quad (12)$$

Zamenom jednačina (10), odnosno (11) u jednačinu (12) i rešavajući po  $S_z$  dobija se

- za istosmerno glodanje

$$S_z = \left( \frac{E f I 110}{C_F b l^3 \sqrt{e_1^2 + e_2^2}} \right)^{1/(1-x_1)} \quad , \quad (13)$$

- za suprotnosmerno glodanje

$$S_z = \left( \frac{E I f 110}{C_F b l^3 \sqrt{e_3^2 + e_4^2}} \right)^{1/(1-x_1)} \quad . \quad (14)$$

Postupajući kao u prethodnom slučaju, ali usvajajući da je dozvoljeni ugib vratila  $f$  isti za jedan i više prolaza, dobija se da je

- za istosmerno glodanje

$$S_{zi} = S_z \left( \frac{e_1^2 + e_2^2}{e_{1i}^2 + e_{2i}^2} \right)^{1/2(1-x_1)} \quad , \quad (15)$$

- za suprotnosmerno glodanje

$$S_{zi} = S_z \left( \frac{e_3^2 + e_4^2}{e_{3i}^2 + e_{4i}^2} \right)^{1/2(1-x_1)} \quad . \quad (16)$$

2.3. - Statička krutost tehnološkog sistema mašine, koji je opterećen rezultujućim otporom rezanja  $F_R$ , je definisana jednačinom

$$K = F_R / f_u \quad , \quad (17)$$

Zamenom u jednačinu (17) odgovarajuće izraze za  $F_R$  i rešavaju-

ći je po  $S_z$  dobija se

- za istosmerno glodanje

$$S_z = \left( \frac{f_u K}{C_F b \sqrt{e_1^2 + e_2^2}} \right)^{1/(1-x_1)}, \quad (18)$$

- za suprotnosmerno glodanje

$$S_z = \left( \frac{f_u K}{C_F b \sqrt{e_3^2 + e_4^2}} \right)^{1/(1-x_1)}. \quad (19)$$

Usvajajući da je ukupni ugib tehnološkog sistema  $f_u$  i krutost tehnološkog sistema ista pri radu sa jednim i više prolaza dobija se

- za istosmerno glodanje

$$S_{zi} = S_z \left( \frac{e_1^2 + e_2^2}{e_{1i}^2 + e_{2i}^2} \right)^{1/2(1-x_1)}, \quad (20)$$

- za suprotnosmerno glodanje

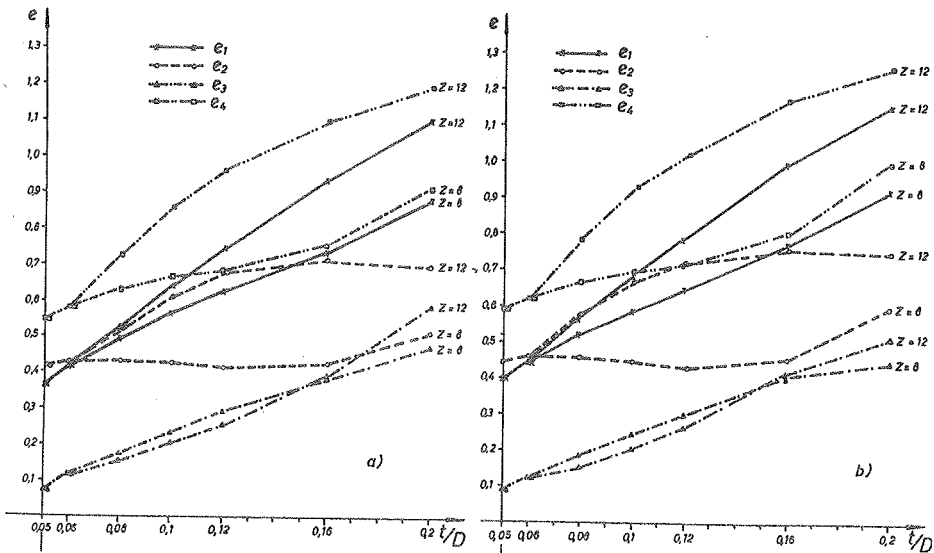
$$S_{zi} = S_z \left( \frac{e_3^2 + e_4^2}{e_{3i}^2 + e_{4i}^2} \right)^{1/2(1-x_1)}. \quad (21)$$

Iz jednačina (7), (8), (15), (16), (20) i (21) se vidi da korak po zubu pri radu sa većim brojem prolaza raste, pošto su veličine  $e_1, e_2, e_3$  i  $e_4$  veće od veličina  $e_{1i}, e_{2i}, e_{3i}$  i  $e_{4i}$  (slika 1).

Porast koraka po zubu pri radu sa većim brojem prolaza je isti za korake određene prema dva poslednja kriterijuma, što se jasno vidi iz jednačina (15), (16) i (20), (21).

### 3. Odredjivanje zavisnosti broja obrtaja pri radu sa više i pri jednom prolazu

Opšte prihvaćeni kriterijumi za proračun broja obrtaja pri glodanju su:



Sl. 1. Promene veličine  $e$  u zavisnosti od odnosa  $t/D$   
 a) za čelik  
 b) za sivi liv

- iskorišćenje snage mašine,  $i$
- iskorišćenje postojanosti alata.

Broj obrtaja prema iskorišćenju snage mašine se određuje po obrascu

$$n_M = \frac{P \cdot \eta \cdot 4,5 \cdot 10^6}{2^{1-x_1} C_F b S_z^{1-x_1} t^{1-(x_1/2)} D^{x_1/2} z} \quad (22)$$

Broj obrtaja po istom kriterijumu za  $i$ -prolaza se dobija kada se u jednačinu (22) zamene odgovarajuće vrednosti za  $S_{z1}$ , i umesto  $t$  stavi  $t/i$ ; tako se dobija veličina broja obrtaja koja se obeležava sa  $n_{M1}$ . Neophodno je napomenuti da je ona veli-

čina za  $S_{zi}$  odgovarajuća vrednost, koja je određena po jednom od ranije navedenih kriterijuma i ima najmanju vrednost. Izračunavajući odnos  $n_{Mi}/n_M$  i rešavajući po  $n_{Mi}$  dobija se, za slučaj da je merodavna veličina koraka po zubu određena prema otpornosti vratila glodača ili prema veličini statičke krutosti

- za istosmerno glodanje

$$n_{Mi} = n_M i^{1-x_1/2} \left( \frac{e_{11}^2 + e_{21}^2}{e_1^2 + e_2^2} \right)^{1/2}, \quad (23)$$

- za suprotnosmerno glodanje

$$n_{Mi} = n_M i^{1-x_1/2} \left( \frac{e_{31}^2 + e_{41}^2}{e_3^2 + e_4^2} \right)^{1/2}. \quad (24)$$

Odredjivanje broja obrtaja prema iskorišćenju postojanosti alata izračunava se po poznatim obrascima [1], [2], [3], koji se posle neznatih transformacija svodi na

$$n_A = \frac{320 C_V D^{j-1} k_V}{T^m t^x b^q z^u S_z^y}. \quad (25)$$

Postupajući kao i u prvom slučaju dobija se

- za istosmerno glodanje

$$n_{Ai} = n_A i^x \left( \frac{e_{11}^2 + e_{21}^2}{e_1^2 + e_2^2} \right)^{y/2(1-x_1)}, \quad (26)$$

- za suprotnosmerno glodanje

$$n_{Ai} = n_A i^x \left( \frac{e_{31}^2 + e_{41}^2}{e_3^2 + e_4^2} \right)^{y/2(1-x_1)} \quad (27)$$

#### 4. Odredjivanje zavisnosti mašinskog vremena za više prolaza od mašinskog vremena za jedan prolaz

Mašinsko, ili glavno, vreme pri obradi iz jednog prolaza određuje se po obrascu

$$t_g = L/n S_z z.$$

Analogni izraz za  $i$  prolaza je

$$t_{gi} = i L/n_i S_{zi} z .$$

Iz ovih jednačina se dobija

$$t_{gi}/t_g = i n S_z/n_i S_{zi} ,$$

ili rešavajući po  $t_{gi}$  ,

$$t_{gi} = t_g i n S_z/n_i S_{zi} . \quad (28)$$

Zamenjujući u jednačini (28) odgovarajuće, ranije izvedene izraze za  $n_i$  i  $S_{zi}$  , već prema tome koji su merodavni, dobija se za istosmerno glodanje, zamenom izraza za  $S_{zi}$  iz jednačine (15) ili (20) i izraze za  $n_{Mi}$  iz jednačine (23)

$$t_{giM} = t_{gM} i^{x_1/2} \left( \frac{e_{1i}^2 + e_{2i}^2}{e_1^2 + e_2^2} \right)^{p_1} , \quad (29)$$

ili zamenom (15) ili (20) i (27)

$$t_{giA} = t_{gA} i^{1-x_1/2} \left( \frac{e_{1i}^2 + e_{2i}^2}{e_1^2 + e_2^2} \right)^{p_2} , \quad (30)$$

gde je  $p_1 = x_1/2(1-x_1)$  i  $p_2 = (1-x)/2(1-x_1)$  .

Na isti način se dobija za suprotnosmerno glodanje

$$t_{giM} = t_{gM} i^{x_1/2} \left( \frac{e_{3i}^2 + e_{4i}^2}{e_3^2 + e_4^2} \right)^{p_1} \quad (31)$$

$$t_{giA} = t_{gA} i^{1-x_1/2} \left( \frac{e_{3i}^2 + e_{4i}^2}{e_3^2 + e_4^2} \right)^{p_2} . \quad (32)$$

Jednačine (29), (30), (31) i (32) omogućavaju uporedjenje potrebnog mašinskog vremena za odgovarajući zahvat i odgovarajući režim i metodu glodanja, za slučaj obimnog glodanja glodačima sa pravim zubima, i da je merodavna veličina koraka određena ili prema stabilnosti vratila glodača ili prema statičkoj krutosti mašine. Za slučaj da je merodavan korak određen po nekom drugom kriterijumu, te jednačine se malo menjaju i mogu se izvesti

analognim putem.

Veličine  $x$  i  $x_1$  su uvek manje od 1. Prema literaturnim podacima [1] i [3], ove veličine su takve da je uvek  $p_1, p_2 < 1$ , ili još tačnije  $0 < p_1, p_2 < 1$ . Obično je  $p_2 > p_1$ , mada ima i suprotnih slučajeva. Međutim, bitniji uticaj ima stepen  $i$ , koji je u slučaju odredjivanja mašinskog vremena u režimu iskorišćenja postojanosti alata znatno veći, i ako se ima u vidu da su vrednosti za  $e_{1i}, e_{2i}, e_{3i}$  i  $e_{4i}$  uglavnom manje od odgovarajućih veličina  $e_1, e_2, e_3$  i  $e_4$ , može se zaključiti, prema jednačinama (29), (30), (31) i (32), da u slučajevima režima rezanja prema iskorišćenju postojanosti alata se ima porast mašinskog vremena, a za slučaj režima iskorišćenja snage mašine pad ovog vremena sa porastom broja prolaza.

Veličine  $e_1, e_2, e_3$  i  $e_4$  za obradu radnih predmeta od čelika i sivog liva i za rad sa glodačima sa pravim zubima sa brojevima zuba (8) i (12), i to i za istosmerno i suprotnosmerno glodanje, a za odnose  $t/D = 0,05 - 0,02$ , su date na slici 1. Veličine  $e_{1i}, e_{2i}, e_{3i}$  i  $e_{4i}$  se uzimaju iz istog dijagrama samo što se očitavaju za druge odnose  $t/D$ , jer se sada  $t$  promenilo srazmerno broju prolaza  $i$ .

Konkretno za radni predmet od čelika i rad sa  $z = 12$ ,  $D = 50$  mm,  $t = 10$  mm i  $x_1 = 0,25$ , dobija se da je za  $i = 2$ :  $t_{g2M} = t_{gM} \cdot 0,96$  a za  $i = 3$ :  $t_{g3M} = 0,86 \cdot t_{gM}$  - za istosmerno glodanje, dok je za iste uslove, ali za suprotnosmerno glodanje  $t_{g2M} = 0,93 t_{gM}$  i  $t_{g3M} = 0,9 t_{gM}$ . Za radni predmet od sivog liva i za  $z = 12$ ,  $D = 50$  mm,  $t = 8$  mm i  $x_1 = 0,33$  za istosmerno glodanje dobija se  $t_{g2M} = 0,89 t_{gM}$ . Za iste uslove, ali za suprotnosmerno glodanje, dobija se  $t_{g2M} = 0,93 t_{gM}$ . Međutim, vreme odredjeno za slučaj režima iskorišćenja postojanosti alata, a za iste gornje uslove, se dobija: za čelik i za istosmerno glodanje i za  $i = 2$  je  $t_{g2A} = 1,22 t_{gA}$  a za suprotnosmerno glodanje  $t_{g2A} = 1,27 t_{gA}$ ; za sivi liv i za istosmerno glodanje  $t_{g2A} = 1,25 t_{gA}$  i za suprotnosmerno glodaje je  $t_{g2A} = 1,2 t_{gA}$ .

## 5. Odredjivanje broja prolaza

Praktično pri analitičkom odredjivanju elemenata režima rezanja pri glodanju, pogotovu pri radu sa velikim dubinama rezanja i širinama glodanja, mogu nastupiti dva slučaja:

- veličine merodavnog koraka i broja obrtaja su u intervalu postojećih na mašini, i
- veličine merodavnih koraka ili broja obrtaja su van intervala postojećih na mašini.

Mada je drugi slučaj, ustvari, samo specijalan slučaj prvog, ima bitnu specifičnost što zahteva rad sa većim brojem prolaza, jer inače ne bi mogla biti izvršena obrada na datoj mašini. U tom slučaju ne mogu se tražiti bilo kakva druga opravdanja za broj prolaza, ali samo do onog broja prolaza za koji se dobija ili korak ili broj obrtaja, već prema tome koja je veličina bila van intervala postojećih na mašini, jednak minimalnim vrednostima na mašini. Dalje povećanje broja prolaza se zatim svodi na prvi slučaj.

Ukoliko su i veličine koraka i veličine broja obrtaja pri grubom glodanju, kada se skida sloj materijala u jednom prolazu, u intervalu postojećih na mašini, može se desiti da se dobije:

- režim rezanja sa punim iskorišćenjem postojanosti alata, ali nepotpuno iskorišćenje snage mašine,
- režim rezanja sa punim iskorišćenjem snage mašine, ali nepotpunim iskorišćenjem postojanosti alata, i
- režim rezanja pri istovremenom punom iskorišćenju i snage mašine i postojanosti alata.

Poslednji slučaj se dobija izuzetno. Iz prethodnog odeljka vidi se da ukoliko se ima režim rezanja s obzirom na iskorišćenje postojanosti alata, glavno mašinsko vreme sa porastom broja prolaza raste, dok ukoliko se ima režim rezanja s obzirom na iskorišćenje snage mašine, mašinsko vreme opada do izvesnog broja prolaza da bi kasnije i ono počelo da raste. Na osnovu ovoga može se zaključiti da mašinsko vreme, kada se ima režim rezanja s obzirom na iskorišćenje snage mašine, opada do postizanja isto-

vremenog iskorišćenja snage mašine i postojanosti alata. Zato se i usvaja da se povećanjem broja prolaza vrši sve dok se ne postigne da je korak po zubu  $S_{zi} = S'_{zis}$ . Korak  $S_{zi}$  se određuje prema jednačinama (7), (8), (15), (16), (20) i (21), već prema tome koji od njih daje merodavnu veličinu koraka.

Korak za istovremeno iskorišćenje snage mašine i postojanosti alata u radu sa jednim prolazom  $S_{zis}$  se određuje po obrascu, koji se dobija iz izjednačavanja jednačina (22) i (25),

$$S_{zis} = \sqrt[r]{A t^p / C_v}, \quad (33)$$

gde je:  $r = 1 - x_1 - y$ ,  $p = \frac{x_1 + 2x}{2} - 1$ , i

$$A = \frac{1,4 \cdot 10^6 P \eta (2 - x_1)}{2^{1-x_1}} \cdot \frac{T^m b^{q-1} z^{u-1}}{C_F D^{j-1+(x_1/2)} k_v}.$$

Veličina koraka za istovremeno iskorišćenje snage mašine i postojanost alata pri radu sa više prolaza se dobija kada se u jednačinu (33) umesto  $t$  stavi  $t/i$ , pri tome je neophodno voditi računa o veličini  $C_v$ , tj. o području promene ove veličine. Pomoću tako dobijenog obrasca za  $S'_{zis}$  i obrasca (33) dobija se veza

$$S'_{zis} = S_{zis} \sqrt[r]{\frac{C_v}{i^p C'_v}}. \quad (34)$$

Prema podacima za  $x_1$ ,  $x$  i  $y$  [3] dobija se da je uvek  $z > 0$  i  $p < 0$ . Takođe je i  $C_v \neq C'_v$  samo ako je  $S'_{zis} < 0,1$  a  $S_z > 0,1$  ili pak obrnuto. Međutim, ukoliko su i  $S'_{zis}$  i  $S_{zis}$  istovremeno veće od 0,1, ili pak istovremeno manje od 0,1 biće  $C'_v = C_v$ . Praktično se može zaključiti da korak za istovremeno iskorišćenje postojanosti alata i snage mašine za više prolaza  $S'_{zis}$  uglavnom zavisi od veličine koraka za istovremeno iskorišćenje postojanosti alata i snage mašine pri jednom prolazu, i od broja prolaza  $i$ .

Treba naglasiti da se broj prolaza može odrediti i na taj način što se izračunava mašinsko vreme  $t_{giM}$  za  $i = 2, 3, \dots, n$ , čim se dobija za neku veličinu broja prolaza da je  $t_{giM} > t_{gM}$  prva manja vrednost za  $i$  je ustvari traženi broj prolaza.



## 6. Zaključci

- (i) Broj prolaza se za slučaj režima rezanja s obzirom na iskorišćenje snage mašine određuje na taj način, što se izračunavaju veličine koraka  $S_{zi}$  po obrascu koji u konkretnom slučaju daje najmanju vrednost koraka  $S_z$ , za  $i = 2, 3, \dots, n$  sve dok se ne postigne

$$S_{zi} = S'_{zis} \quad (35)$$

$S'_{zis}$  se računa po obrascu (34). Broj prolaza koji zadovoljavaju jednačinu (35) je traženi broj.

Broj prolaza može se dobiti i izračunavanjem  $t_{giM}$  po obrascu (29) za istosmerno glodanje, a po obrascu (31) za suprotnosmerno glodanje, za  $i = 2, 3, \dots, n$  sve dok se ne postigne  $t_{giM} > t_{gM}$  - prva manja vrednost za  $i$  od ove veličine je broj prolaza.

- (ii) Ukoliko se pri grubom glodanju skida sloj materijala u jednom prolazu, i pritom dobija režim rezanja s obzirom na iskorišćenje snage mašine, ovakav režim može biti nepovoljan, jer daje mašinsko vreme veće od vremena koje bi se dobilo za broj prolaza  $i$ . U ovakvim slučajevima je neophodno analizirati korisnost rada sa većim brojem prolaza s obzirom na porast pomoćnog vremena za prazan hod pri vraćanju radnog stola u početni položaj, zauzimanje dubine rezanja i drugo. Može se odmah reći da u slučaju rada na mašinama koje imaju brzi povratni hod i pri obradi komada većih dimenzija da je korisnije raditi sa povećanim brojem prolaza. Taj broj prolaza, u nekim slučajevima, može dostići i graničnu vrednost.
- (iii) Za slučaj režima rezanja s obzirom na iskorišćenje postojanost alata, uvek je korisnije raditi sa jednim prolazom. Samo ukoliko se dobije ovaj režim rezanja, a veličina koraka ili broja obrtaja je van postojećih veličina na mašini, treba raditi sa nejednakim dubinama rezanja u nekoliko prolaza, s tim što treba težiti da se radi u većem broju prolaza sa maksimalno mogućom dubinom rezanja.

## 7. Literatura

- [1] N.Reznikov, Učenje o rezanii metallov, Mašgiz, Moskva(1947)
- [2] P.Stanković, Mašinska obrada - Obrada metala rezanjem, Građevinska knjiga, Beograd (1965)
- [3] J.Stanić, D.Nikolić, V.Gajović, T.Jovanović, Mašinska obrada - Priručnik za proračun merodavnih režima mašinske obrade rezanjem, Mašinski fakultet, Beograd (1970)

### Dodatak - Tumačenje upotrebljenih oznaka

- b - širina glodanja
- $C_{F,x_1}$  - konstante zavisne od vrste materijala radnog predmeta
- $C_{v,j,x,y,q,u}$  i m - konstante zavisne od oblika alata, materijala alata i materijala radnog predmeta
- D - prečnik glodača
- E - modul elastičnosti materijala vratila glodača
- $F_H$  - horizontalna komponenta otpora rezanja
- $F_V$  - vertikalna komponenta otpora rezanja
- $F_u$  - sila opterećenja mehanizma za pomoćno kretanje
- $F_R$  - otpor rezanja
- f - dozvoljeni ugib vratila glodača
- $f_u$  - ukupno statičko pomeranje tehnološkog sistema mašine
- I - moment inercije preseka vratila glodača
- i - broj prolaza
- K - statička krutost tehnološkog sistema mašine
- $k_v$  - opšti popravni koeficijent s obzirom na veličinu brzine rezanja
- $\ell$  - slobodna dužina vratila glodača
- $n_A$  - broj obrtaja glavnog vretena prema iskorišćenju postojanosti alata za  $i = 1$
- $n_{A1}$  - broj obrtaja glavnog vretena prema iskorišćenju postojanosti alata za  $i$  - prolaza
- $n_M$  - broj obrtaja glavnog vretena prema iskorišćenju snage mašine za  $i = 1$
- $n_{M1}$  - broj obrtaja glavnog vretena prema iskorišćenju snage mašine za  $i$  - prolaza
- P - snaga motora mašine
- $S_z$  - korak po zubu
- $S_{zi}$  - korak po zubu pri radu sa  $i$  - prolaza

- $S_{zis}$  - korak po zubu za istovremeno iskorišćenje snage mašine i postojanosti alata za  $i = 1$   
 $S'_{zis}$  - korak po zubu za istovremeno iskorišćenje snage mašine i postojanosti alata za  $i$  - prolaza  
 $T$  - postojanost alata  
 $t$  - dubina rezanja  
 $t_g$  - mašinsko vreme obrade za  $i = 1$   
 $t_{gi}$  - mašinsko vreme obrade za  $i$  - prolaza  
 $t_{giM}$  - mašinsko vreme obrade za  $i$  - prolaza i za slučaj režima rezanja s obzirom na iskorišćenje snage mašine  
 $t_{giA}$  - mašinsko vreme obrade za  $i$  - prolaza i za slučaj režima rezanja s obzirom na iskorišćenje postojanosti alata  
 $z$  - broj zuba glodača  
 $z_1$  - broj zuba glodača u kontaktu  
 $\epsilon$  - odnos normalne i tangencijalne komponente otpora rezanja jednog zuba; kreće se u granicama 0,2 do 0,4 [1]  
 $\eta$  - stepen korisnosti  
 $\mu$  - koeficijent trenja klizača i vodjica stola mašine  
 $\varphi_1$  - ugao ni položaj zuba u kontaktu.

D. Nikolić

#### CERTAINES POSSIBILITÉS DE LA DÉTERMINATION DU NOMBRE DE PASSES EN CAS DE FRAISAGE DE DÉGROSSISSAGE

Le but de l'étude était la rechercher des conditions de fraisage dans lesquelles on peut avoir l'intérêt de travailler en plusieurs passes et l'établissement de la méthode de détermination du nombre de passes. La méthode proposée permet de tenir aisément compte des limitations dues à la puissance du moteur et à la durée de fraises entre affûtages. La méthode donne la possibilité de tenir compte de toutes, les combinaisons possibles des fraises cylindriques et des fraises - disques avec les tranchants droits ainsi que diverses les conditions d'usinage. Il faut ajouter que le calcul indiqué a été suggéré pour la détermination du nombre de passes de dégrossissage pour le fraisage cylindrique normal et pour le fraisage en avalant. On pose aussi la formule pour la détermination de l'avance en cas d'utilisation simultanée de la puissance du moteur et de la durée entre affûtages des fraises (33) et la dépendance de l'avance pour plusieurs passes de l'avance pour un passe (34). Le principe fondamental de cette méthode est l'augmentation du nombre de passes jusqu'à là ou on obtient

$$S'_{zi} = S_{zi} ,$$

$S'_{zi}$  - l'avance en cas d'utilisation simultanée de puissance du moteur et la durée entre affûtages du fraises pour plusieurs passes,

$S_{zi}$  - l'avance pour plusieurs passes.

Le nombre qui donne cet résultat est le nombre de passes. Les variables dans les formules pour la détermination  $S'_{zi}$  et  $S_{zi}$  -  $e_1, e_2, e_3, e_4$  et  $e_{11}, e_{21}, e_{31}, e_{41}$  sont présentées sur la fig. 1, pour différentes valeurs  $t/D$  (profondeur de passes/diamètre de fraise). Les formules proposées permettent d'obtenir rapidement les résultats nécessaires pour toutes les variables mises en jeu. En conclusion, on peut dire que l'utilisation de cette méthode permet aux usineurs d'aller un pas plus loin dans la recherche des conditions optimales d'usinage et d'effectuer, sans dépense excessive, le calcul d'optimisation devant lequel ils reculent généralement.

J. Stanić x)

PRILOG ANALIZI EKONOMIČNOG PERIODA REZANJA xx)

1. Pregled nekih važnijih relacija ekonomičnog perioda rezanja

Savremene tendencije u razvoju obradnih sistema koje se izražavaju kroz automatizaciju i optimizaciju sistema, razvoj i upotrebu skupih proizvodnih sredstava (mašina, pomoćnih pribora, alata) sa programskim upravljanjem i sl. pretpostavljaju, pored ostalog, i optimizaciju kompleksa merodavnih režima rezanja u celom dinamičkom toku tehnološkog procesa. Pri tome se pod merodavnim režimom obrade podrazumeva izbor najpovoljnije kombinacije elemenata i uslova obrade koja obezbeđuje najpotpunije iskorišćenje tehnoloških mogućnosti članova obradnog sistema uz postizanje maksimalnih ekonomsko-proizvodnih efekata obrade.

Koncept optimizacije režima obrade, za dati obradni sistem, polazi od kompletnih i dovoljno pouzdanih analitičko-eksperimentalnih saznanja o

1. Funkciji ukupnih troškova ( $U$ ) ili funkciji proizvodnosti ( $Q$ ) dotičnog procesa,
2. Skupu vrednosti relevantnih parametara obradljivosti ( $G_1, m_1, x_1, y_1, \dots$ ) za odnosni niz operacija i zahvata obrade,

---

x) Mr. Joko P. Stanić, dipl.ing., docent Mašinskog fakulteta, Beograd, saradnik Instituta za alatne mašine i alate, Beograd

xx) Saopštenje iz Instituta za alatne mašine i alate predstavlja deo naučnoistraživačkog projekta "Sistematsko ispitivanje obradljivosti pri obradi rezanjem domaćih konstrukcijskih materijala domaćim alatima", u čijem finansiranju učestvuje Savezni i Republički fond za naučni rad i niz privrednih organizacija, a odnosi se i na pristupna istraživanja za Makroprojekt "Razvoj i optimizacija obradnih sistema za individualnu, maloserijsku i srednjoserijsku proizvodnju".

3. Ograničavajućim faktorima oblasti optimizacije procesa ili operacija i zahvata sadržani unutar obradnog sistema (maksimalni korak, brzina i snaga mašine, geometrija, tip i otpornost alata, statička krutost i otpornost organa i članova obradnog sistema, zahtevi i norme kvaliteta obrade, vibracije obradnog sistema, mogućnost lomljenja strugotine itd.).

Prvi parcijalni element optimizacije merodavnog režima obrade, koji se pre drugih mora numerički definisati, čini ekonomični period rezanja  $T_e$ . Njegova jednačina dobija se iz minimizacije funkcije ukupnih troškova operacije, zahvata ili izratka, tj. iz

$$\frac{\partial U}{\partial T} = 0 \quad (1)$$

U teorijsko-eksperimentalnoj analizi tehno-ekonomskog kompleksa mašinske obrade rezanjem poznat je veliki broj izraza za ekonomični period rezanja koje pojedini autori ili naučnoistraživački centri nude ili preporučuju tehničkoj praksi. Tako su u Tablici 1 prikazane neke važnije jednačine ekonomičnog perioda rezanja, pri čemu pojedine oznake imaju sledeća značenja:

- A [din] - cena alata po jednoj postojanosti alata uključujući i troškove oštrenja,
- a - konstanta zavisna od karakteristika materijala obratka i alata sadržana u relaciji  $v(a + T) = C$  kojom se, prema [1], izražava zavisnost  $v = f(T)$ ,
- i - broj dopuštenih oštrenja alata,
- $i_s, k_v$  - nagib krive  $T = f(v)$  odnosno  $T = f(s)$  u tačkama  $v = 1 \text{ m/min}$  odnosno  $s = 1 \text{ mm/o}$ ,
- k - koeficijent slučajnog loma i prevremenog zatupljenja alata,
- M [din/h] - cena rada mašine uključujući i bruto lični dohodak radnika,
- m - eksponent postojanosti u empirijskom izrazu za brzinu rezanja (v),
- $N_1, N_2$  - broj mašina na kojima istovremeno radi proizvodni radnik, odnosno radnik koji priprema mašinu,
- n - učešće stručnog radnika u ukupnim troškovima izrade,
- $p, p_1$  [%] - amortizaciona stopa mašine, odnosno pomoćnog pribora,
- r - koeficijent koji obuhvata troškove vezane za obradu izratka bez troškova alata,
- $S_1, S_2, S_3$  [din/min] - bruto lični dohodak proizvodnog radnika, radnika koji priprema mašinu, odnosno oštrača alata,

Tablica 1

Red. br.	Jednačina ekonomičnog perioda rezanja	Autor ili literaturni izvor
1	$T_e = \frac{1-m}{m} \left[ t_s + \frac{A}{S_1(1+r)} \right]$	J. Witthoff, D. Emer, R. Schaumann [1]
2	$T_e = \left[ a(t_s + 60 \frac{A}{M}) \right]^{\frac{1}{2}}$	B. Colding [2], M. Matthijsen [3]
3	$T_e = \frac{1-m}{m} \cdot \frac{t_s S_1 + t_a S_3 + \frac{C_A}{i}}{S_1}$	L. Hejfec [6]
4	$T_e = \exp \left\{ -\frac{k_v}{m} v^m - \frac{i_s}{y} s^y + c \right\}$ $v^m \left( \frac{k_v}{m} + \frac{k_y}{y} \right) - (\ln \frac{C}{D} + c) = -\ln(k_v v^m - 1)$	W. König, W. Depiereux [5]
5	$T_e = \frac{1-m}{m} \cdot \frac{t_s S_1 + t_a S_3 + \frac{A}{i+1}}{S_1}$	P. Stanković [4]
6	$T_e = \frac{1-m}{m} t_o, \quad t_o = \sum_{i=1}^4 t_i$	F. Taylor, P. Stanković [4], N. Reznikov [7]
7	$T_e = \frac{1-m}{m} \left[ t_s + \frac{C_A}{S_1(i+1)} + \frac{S_3}{S_1} t_a + \frac{C_t}{S_1} \right]$	G. Micheletti [8]
8	$T_e = \frac{1-m}{m} \frac{n S_1 t_s + S_3 t_a + \frac{C_A}{i+1}}{n S_1 + \frac{C_{MP}}{F \eta \cdot 100 \cdot 60}}$	B. Ivković [9]
9	$T_e = \frac{1-m}{m} \left[ t_s + \frac{k}{i+1} \frac{C_A + i t_a S_3}{\frac{1}{6 \cdot 10^3} \left( \frac{C_{MP}}{F \eta} + \frac{C_{p1}}{F_1 \eta_1} \right) + \frac{S_1 + S_2}{N_1 N_2}} \right]$	J. Stanić [10]

- $T_e$  [min] - ekonomični period rezanja,  
 $t_a$  [min] - vreme potrebno za jedno oštrenje alata,  
 $t_o$  [min] - vremenski ekvivalent troškova alata uključujući i vreme skidanja i nameštanja naoštrenog alata,  
 $t_s$  [min] - vreme potrebno za skidanje zatupljenog, nameštanje naoštrenog alata i ponovno regulisanje mašine svedeno na operaciju, zahvat ili jedan obradak,  
 $C, D$  - veličine koje obuhvataju troškove rada mašine, alata i ličnih dohodaka radnika,  
 $C_A$  [din] - cena reznog alata,  
 $C_M, C_P$  [din] - cena mašine, odnosno pomoćnog pribora,  
 $C_t$  [din] - cena točila po jednom oštrenju alata,  
 $c$  - integraciona konstanta,  
 $F, F_1$  [h] - godišnji fond radnih časova mašine, odnosno pomoćnog pribora,  
 $y$  - eksponent koraka ( $s$ ) u empirijskom izrazu za brzinu ( $v$ ),  
 $\eta, \eta_1$  - vremenski stepen iskorišćenja mašine, odnosno pomoćnog pribora.

Navedene jednačine imaju jednu zajedničku osobinu: sve su dobijene iz uslova (1). Razlike u obliku i strukturi jednačina potiču od razlika u matematičkom modelu funkcije troškova, u manje ili više potpunijem obuhvatanju skupa tehničkih, tehnoloških, ekonomskih i organizacionih faktora proizvodnje.

## 2. Uslovnost ekonomičnog perioda rezanja

Ukoliko se apstrahuje kriterijum po kojem je utvrđen trenutak zatupljenja alata i, prema tome, moguće znatne varijacije troškova obrade vezane za interval od prevremenog do kasnog skidanja alata s mašine radi ponovnog oštrenja, tada je uslov (1) a time i jednačina

$$T_e = \frac{1-m}{m} \left[ t_s + \frac{k}{1+l} \cdot \frac{C_A + i t_a S_3}{\frac{1}{6 \cdot 10^3} \left( \frac{C_M^p}{F \eta} + \frac{C_P^p}{F_1 \eta_1} \right) + \frac{S_1}{N_1} + \frac{S_2}{N_2}} \right] \quad (2)$$

korektna, pa se iz nje može odrediti vrednost ekonomične postojanosti alata pri kojoj se postižu najviši ekonomski efekti obrade za dotične tehnološko-ekonomske i organizacione uslove. Sle-



deći ovo stanovište može se na osnovu jednačine (2), za fiksirane vrednosti odnosnih veličina sem parametra habanja, uspostaviti, na primer, pri obradi zavojnim burgijama, zavisnost ekonomske postojanosti  $T_e$  i primarnog parametra habanja  $h_v$  u obliku

$$T_e = a + b \cdot h_v \quad (3)$$

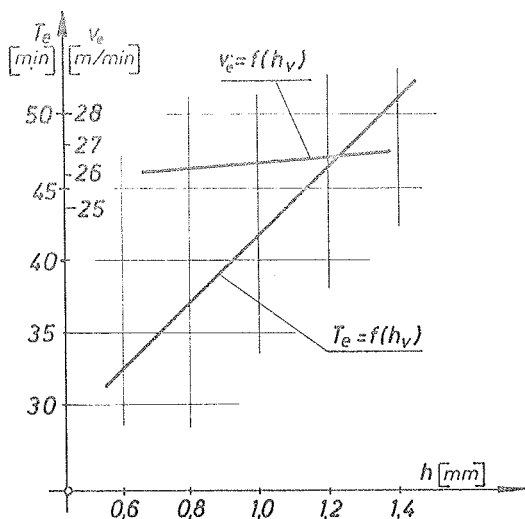
pošto je, prema rezultatima autorovih eksperimentalnih ispitivanja, praktično isključena očekivana korelacija  $m = f(h_v)$  za jedan isti materijal obratka, dakle,  $m \approx \text{const}$ . Tako pri obradi sivog liva burgijama  $D = 13 \text{ mm}$  [11] jednačina (3) glasi

$$T_e = 19,3 + 22 h_v \quad (4)$$

iz koje se i njenog dijagrama uočava relativno veliki uticaj parametra habanja  $h_v$  na veličinu ekonomske postojanosti zavojnih burgija (slika 1). Sva-

koj vrednosti  $h_v$  odgovara određena vrednost postojanosti  $T_e$ , bez obzira koja je od veličina  $h_v$  odabrana kao kriterijum zatupljenja alata.

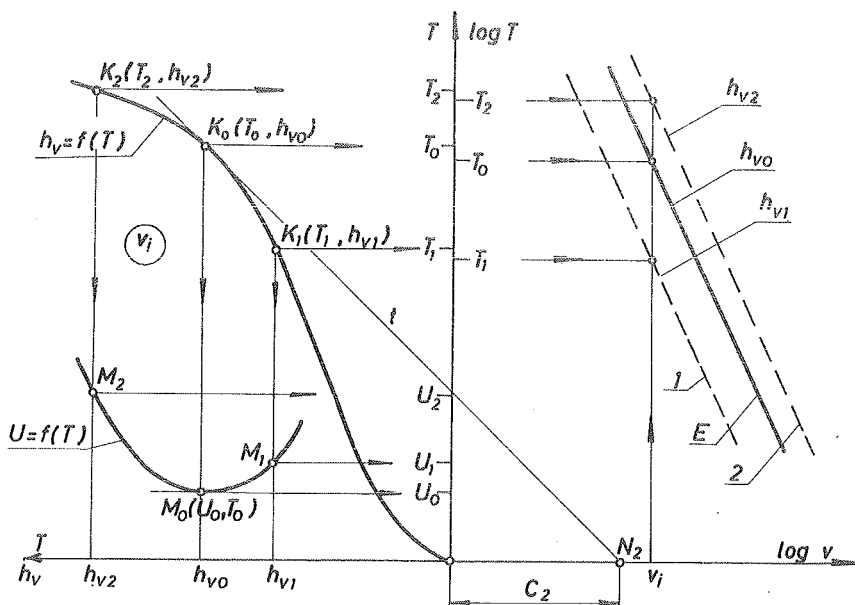
Medjutim, varijacija vrednosti parametra  $h_v$ , odnosno ranije ili kasnije prekidanje procesa rezanja radi ponovnog oštrenja alata, povezana je sa funkcijom troškova obrade povratnom spregom, tako da ova varijacija uslovljava i varijaciju funkcije troškova. Otuda se u uslovi-  
ma ekonomičnih režima rezanja mora isključiti pre-



Sl.1. Uticaj primarnog parametra habanja  $h_v$  na  $T_e$  i  $v_c$  pri bušenju sivog liva burgijama  $D = 13 \text{ mm}$ .

kidanje rada jednog alata pri različitim vrednostima primarnog parametra habanja  $h_v$ . Egzistira jedna i samo jedna vrednost parametra  $h_v = h_{v0}$ , tj. jedna tačka na krivoj habanja  $h_v = f(T)$

u kojoj se postiže minimum troškova dotične operacije ili zahvata. Ta tačka je  $K_0(T_0, h_{v0})$  (slika 2). Njene koordinate se do-



Sl. 2. Zavisnost ukupnih troškova  $U$  od primarnog parametra habanja  $h_v$  za određeni režim rezanja.

bijaju, prema [14], povlačenjem tangente  $t$  na krivu habanja  $h_v = f(T)$  iz tačke  $N_2(0, -C_2)$ , gde je

$$C_2 = \frac{L + C}{k(C_A - t_a C_3)} \left\{ k t_a S_3 + t_s \left[ \frac{1}{6 \cdot 10^3} \left( \frac{C_{MP}}{F} \frac{C_{pP1}}{F_1 l} + S_1 + S_2 \right) \right] \right\} + C. \quad (5)$$

Položaj tačke  $K_0$  može se i analitičkim putem odrediti.

Prema slici 2 tačkama  $K(T, h_v)$  na krivoj habanja  $h_v = f(T)$  odgovaraju korespondentne tačke  $M(U, T)$  na krivoj troškova obrade  $U = F(h_v) = F_1(T)$ , pa ako se kao trenutak zatupljenja uzme  $T = T_1$ , kome odgovara veličina parametra habanja  $h_v = h_{v1}$ , što znači da proces rezanja treba prekinuti u tački  $K_1(T_1, h_{v1})$  radi ponovnog oštrenja alata, tada će za ovaj period rezanja  $T_1$  ili parametar habanja  $h_{v1}$  biti troškovi obrade  $U_1 = F_1(T_1) = F(h_{v1})$ . Na sličan način se uspostavlja korespondencija izme-

đu tačaka  $K_2$  i  $M_2$ , tj. vremenu rezanja  $T = T_2$  (ili  $h_v = h_{v2}$ ) odgovaraju troškovi  $U_2$ .

Transformišući ostale tačke  $K_1$  krive habanja u tačke  $M_1$  koje definišu korespondentne nivo troškova obrade dobija se kriva troškova  $U = F_1(T)$  za dotični režim obrade iz koje se zaključuje da kriva troškova dostiže svoj minimum u tački  $M_0(U_0, T_0)$  pri čemu joj na krivoj habanja  $h_v = f(T)$  odgovara tačka  $K_0(T_0, h_{v0})$ . Odavde je očigledno da u trenutku  $T = T_0$ , ili pri veličini parametra habanja  $h_v = h_{v0}$ , treba prekinuti dalji proces rezanja i ponovo naoštрити alat.

Ako se na izloženi način utvrdi niz tačaka  $K_{0i}(T_{0i}, h_{v0i})$  i za ostale brzine rezanja, tada ovaj niz definiše ekonomičnu Tejlorovu krivu  $E$  (slika 2), čiji položaj odstupa od Tejlorovih krivih 1, 2, ... koje su dobijene pri prekidanju procesa u tačkama  $K_{1i}, K_{2i}, \dots$ . Stoga, prema izloženom, Tejlorove krive 1, 2, ... nisu, za razliku od  $E$ , ekonomične, jer se pri brzinama sa ovih krivih ne ostvaruju najmanji troškovi obrade. Samo kada to posebni razlozi nalažu, kao što su proizvodnost (usko grlo u proizvodnoj liniji) ili tačnost obrade, može se odstupiti od ekonomičnih režima rezanja, odnosno od sistema ekonomičnih Tejlorovih krivih  $\{E_i\}$ .

Iz prethodnoga proizilazi da se postojanost alata izračunata iz jednačine (2) ili iz ostalih izraza u tablici 1 može nazvati ekonomičnom postojanošću samo tada ako je trenutak zatupljenja dotičnog alata utvrdjen na osnovu minimuma troškova obrade, odnosno ako je empirijski izraz za brzinu rezanja formiran na osnovu familije ekonomičnih Tejlorovih krivih. Matematički to znači da je za definiciju numeričke vrednosti ekonomične postojanosti alata pri obavljanju određene operacije ili zahvata u datom tehnološko-ekonomskom proizvodnom stanju potreban i dovoljan uslov

$$\frac{\partial U}{\partial h} = 0, \quad \frac{\partial U}{\partial T} = 0. \quad (6)$$

Prema rezultatima kompleksnih eksperimentalno-analitičkih ispitivanja, koje je autor obavio u Institutu za alatne mašine i alate u delu naučnoistraživačkog projekta sistematskog ispitivanja obradljivosti domaćih konstrukcijskih materijala, utvrdjene

su vrednosti primarnih parametara habanja  $h_a$  i  $h_v$  kao kriterijumi koje odgovaraju minimumu prosečnih troškova obrade i drugim zahtevima, pri čemu su delimične vrednosti ovih parametara prikazane u tabeli 2.

Tablica 2

Prečnik burgije D [mm]			6	10	14	18	22	26	30
Širina pojasa habanja [mm]	$h_a$	Č	0,3	0,4	0,5	0,65	0,75	0,85	0,95
	$h_v$	SL	0,6	0,8	1,0	1,3	1,5	1,7	1,8

### 3. Postupak optimizacije režima bušenja

Drugi i treći element optimizacije režima bušenja čine ekonomska brzina rezanja ( $v_s = v_o$ ) i korak ( $s_s = s_c$ ). Prema [10] funkcija ukupnih troškova zahvata bušenja glasi

$$U = \left( \frac{C_M P}{6 \cdot 10^3 F \eta} + \frac{C_P P}{6 \cdot 10^3 F_1 \eta_1} + \frac{S_1}{N_1} + \frac{S_2}{N_2} \right) \cdot (t_g + \frac{t_s}{q} + t_u) + \frac{C_A + 1 t_a S_3}{q(1+i)} k + M_t + S, \quad (7)$$

koja se, smenom

$$t_g = \frac{L}{ns}, \quad q = \frac{\pi}{t_g}, \quad n = \frac{1000}{D} v, \quad v = \frac{C_v D^{x_0} \mu}{T^m s^{y_0}} k_v,$$

može napisati u obliku

$$U = A_1 + A_2 v^{-1} s^{-1} + A_3 v^{\frac{1}{m}-1} \frac{s^{y_0}}{s^m}^{-1}, \quad (8)$$

gde je

$$A_1 = g t_u + M_t + S, \quad A_2 = \frac{1}{10^3} g \pi D L,$$

$$A_3 = \pi D L \frac{g t_s (1+i) + C_A + 1 t_a S_3 k}{10^3 (C_v D^{x_0} \mu k_v)^{\frac{1}{m}} (1+i)},$$

$$g = \frac{1}{6 \cdot 10^3} \left( \frac{C_M P}{F \eta} + \frac{C_P P_1}{F_1 \eta_1} \right) + \frac{S_1}{N_1} + \frac{S_2}{N_2}.$$

Iz uslova minimuma funkcije troškova

$$\frac{\partial U}{\partial v} = 0, \quad \frac{\partial U}{\partial s} = 0$$

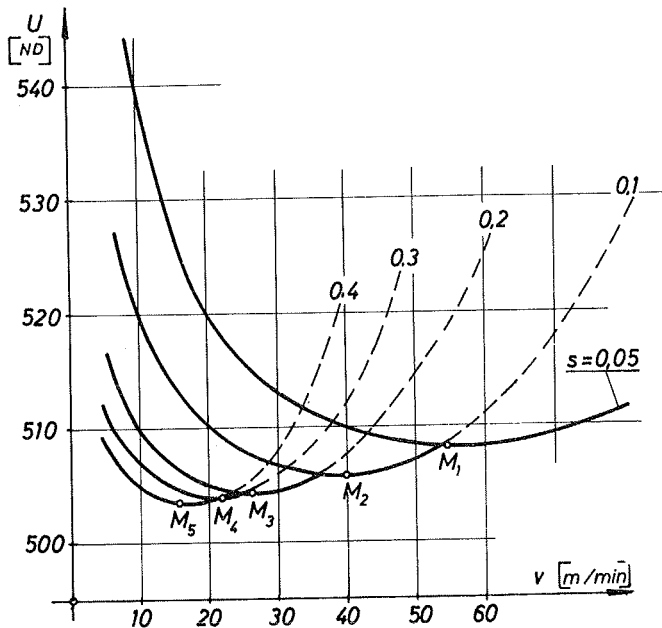
dobijaju se vrednosti

$$v_0 = \frac{1}{s y_0} \left( \frac{m}{1-m} \cdot \frac{A_2}{A_3} \right)^m, \quad s_0 = \sqrt[3]{\frac{y_0}{v} \left( \frac{m}{y_0 - m} \cdot \frac{A_2}{A_3} \right)^m} \quad (9)$$

Matematičkom analizom funkcije troškova (8) i jednačina (9) dolazi se do zaključka da se minimum troškova obrade postiže pri maksimalnoj vrednosti koraka ( $s_0 = s_{\max}$ ) i ekonomičnij brzini definisanoj prvom jednačinom sistema (9), tj.

$$v_0 = \frac{1}{s y_0} \left( \frac{m}{1-m} \cdot \frac{A_2}{A_3} \right)^m = \frac{1}{s_{\max} y_0} \left( \frac{m}{1-m} \cdot \frac{A_2}{A_3} \right)^m \quad (10)$$

Ovo je ilustrovano na slici 3, gde je dotična funkcija troško-



Sl. 3. Zavisnost troškova obrade od brzine reza-  
na i koraka

va

$$U = 500 + 20 v^{-1} s^{-1} + 5 \cdot 10^{-5} v^4 s^{2,15} \quad [\text{ND}]$$

(pri obradi bušenjem serije od 100 čaura) formirana za prosečne proizvodne uslove, burgiju od brzoreznog čelika prečnika  $D = 13 \text{ mm}$ , dubinu otvora  $L = 20 \text{ mm}$  i materijal čaure Č.4321.

Oblast optimizacije brzina i koraka pri bušenju ograničena je i definisana, u konkretnim uslovima obrade, ograničavajućim faktorima koji su sadržani unutar obradnog sistema. U ove ograničavajuće faktore prvenstveno spadaju snaga mašine  $P_M$  i otpornost alata određene jednačinama

$$\begin{aligned} \mathcal{Y}_1 &= P_M - \frac{C_m k_M D^{x-1}}{3,06 \cdot 10^3 \eta_3} v s^y = 0, \\ \mathcal{Y}_2 &= s - \left( \frac{k_c}{42 C_m k_M} \right)^{\frac{1}{y}} D^{\frac{3-x}{y}} = 0. \end{aligned} \quad (11)$$

Korišćenjem metoda Lagranžovih multiplikatora (slučaj vezanih ekstremuma) dobija ju se iz novo formirane funkcije

$$\Phi = U + \lambda_1 \mathcal{Y}_1 + \lambda_2 \mathcal{Y}_2$$

one vrednosti brzine rezanja i koraka

$$\frac{\partial \Phi}{\partial v} = 0, \quad \frac{\partial \Phi}{\partial s} = 0, \quad \frac{\partial \Phi}{\partial \lambda_1} = 0, \quad \frac{\partial \Phi}{\partial \lambda_2} = 0 \quad (11)$$

pri kojima se, za dotične uslove i ograničenja, postiže minimum troškova obrade bušenjem.

#### 4. Literatura

- [1] Schaumann, R., Ermittlung und Berechnung der kostengünstigsten Standzeit und Schnittgeschwindigkeit, Werkstattstechnik (1970), No 1, 14
- [2] Goding, B., Machining Economics and Industrial Data Manuals, Ann. C.I.R.P. (1969), No 3, 279
- [3] Matthijsen, M., The Economic Aspects - High Cutting Speeds and Short Tool Lives, Ann. C.I.R.P. (1965), No 1, 31
- [4] Stanković, P., Mašinska obrada, I knjiga, Gradjevinska

knjiga, Beograd, (1967)

- [5] König, W., Depiereux, W., Wie lassen sich Vorschub und Schnittgeschwindigkeit optimieren, Industrie-Anzeiger (1969), NO 61, 1481
- [6] Hejfec, L., Osnovy eksploatacii instrumenta, Mašgiz, Moskva (1945)
- [7] Reznikov, N., Učenie o rezanii metallov, Moskva (1947)
- [8] Micheletti, G., Work on Machinability in the Co-operative Group C of CIRP and Outside This Group. Ann. C.I.R.P (1970), NO 1, 13
- [9] Ivković, B., Uticaj kvaliteta obradjene površine na veličinu ekonomične brzine rezanja pri glodanju valjkastim glodalom, Saopštenja IAMA, 4 (1967) 465
- [10] Stanić, J., Ekonomični period i period maksimalne proizvodnosti pri obradi metala rezanjem, Mašinstvo, 17 (1968) M
- [11] Stanić, J., Zavisimost' ekonomičeskoga perioda rezanja ot uslovij ekspluatacii režuščego instrumenta, Publikacije Mašinskog fakulteta (1967), u štampi
- [12] Degenhardt, U., Die Bedeutung des Werkzeugverschleisses im Hinblick auf eine Optimierung der Zerspanungsbedingungen, Industrie-Anzeiger (1968), NO 93, 2055
- [13] Vukelja, D., Simonović, V., Prilog optimizaciji obrade rezanjem na strugu, Saopštenja IAMA, 9 (1969) 1273
- [14] Stanić, J., Metod određivanja postojanosti alata na osnovu minimuma troškova proizvodnje, Mašinstvo, 14 (1965) M 265

J. Stanić

#### BEITRAG ZUR ANALYSE DER WIRTSCHAFTLICHEN STANDZEIT

Der Artikel stellt eine Fortsetzung der vorhergehenden Arbeiten des Autors über die Analyse von wirtschaftlicher Standzeit [10], [11], [14] dar. Neben der Übersicht von wichtigen Ausdrücken für die Grösse  $T_e$ , in der Arbeit werden auch die notwendigen Bedingungen angezeigt, die die Grösse  $T_e$  erfüllen muss, um sie als wirtschaftlich genannt zu können. Das sind die Bedingungen (6), bzw. (1) und (5) - Abb. 2. Am Ende wird ein Modell für die Optimierung von Zerspanungsbedingungen für das Bohren gegeben.





V. Šolaja, D. Vukelja <sup>x)</sup>

NEKI REZULTATI ISPITIVANJA TVRDOG METALA FIRME COROMANT SA  
KARBIDNOM PREVLAKOM <sup>xx)</sup>

### 1. Uvod

U nizu metoda koje imaju za cilj da se poveća otpornost na habanje radnih elemenata reznih alata, i time omogućuće intenzivniji režimi obrade, ili, alternativno, poveća njihova postojanost (obrada elektrovarničanjem, tvrdi depoziti elektrohemijskim postupcima ili plazmom, antifrikcione prevlake, različite intervencije u kolu generisane termoelektromotorne sile itd.) čini se da prevlačenje rezne pločice izradjene od žilavije vrste metalokeramičkog alatnog materijala tankim slojem titanovog, udruženog evt. i sa tantalovim, karbida može da ima određene prednosti za slučajeve kada je reč o pločicama "jednostrukog iskorišćenja" (throw-away tips). Ova, relativno novija linija intervencija bila je registrovana i na V Savetovanju proizvodnog mašinstva [1], dok postoje, pored kratkih i kataloških informacija proizvođača lociranih u nekoliko zemalja (SAD, SR Nemačka, Švedska), i određena istraživačka valorizovanja inoviranog karbidnog alatnog materijala (na primer, [2]).

---

<sup>x)</sup> Vladimir Šolaja, dipl.ing., red. profesor Mašinskog fakulteta Beograd, direktor Instituta za alatne mašine i alate Beograd, Dr. Dušan Vukelja, dipl.ing., sam. saradnik Instituta za alatne mašine i alate Beograd, docent Mašinskog fakulteta Sarajevo

<sup>xx)</sup> Saopštenja iz Instituta za alatne mašine i alate, Beograd, odnosi se na kompleks ISPITIVANJE REZNIH I STEZNIH ALATA u čijem finansiranju učestvuje Republička zajednica za naučni rad SR Srbije, a na rezultate istraživanja u okviru višegodišnjeg projekta SISTEMATSKO ISPITIVANJE OBRADLJIVOSTI PRI OBRADI REZANJEM DOMAĆIH KONSTRUKCIJSKIH MATERIJALA DOMAĆIM ALATIMA za koji su vezana sredstva i interesi i niza industrijskih partnera iz nekoliko republika.

Sa ciljem da se za projekat SISTEMATSKO ISPITIVANJE OBRADLJIVOSTI PRI OBRADI REZANJEM DOMAĆIH KONSTRUKCIJSKIH MATERIJALA DOMAĆIM ALATIMA, izvodjen već nekoliko godina u Institutu za alatne mašine i alate u Beogradu [3], koji predstavlja i jedan od ulaza u Makroprojekt RAZVOJ I OPTIMIZACIJA OBRADNIH SISTEMA ZA INDIVIDUALNU, MALOSERIJSKU I SREDNJESERIJSKU PROIZVODNJU [4], obezbede pouzdanije korelacije sa stanjem u nas i šire osnove za nove intervencije, izveden je ograničeni program ispitivanja sa tri vrste pločica koje je Institutu na raspolaganje stavila švedska firma Sandvik-Coromant. Reč je o pločicama sa slojem TiC i TaC nominalne debljine 5 μm, vrste GC 125 (osnovni materijal odgovara približno P 25), GC 135 (P 35) i GC 315 (K 10).

U ovom se saopštenju iznose eksperimentalni rezultati dobijeni u indiciranom programu, pri čemu je reč o obradi na strugu legiranog konstrukcijskog čelika Č.4730 domaće proizvodnje, sa ispitivanim pločicama mehanički vezanim za originalni nosač Coromant. Uočavajući neke efekte, uključujući i eventualno nepodesnu reznu geometriju originalnih pločica, izvršena su i poredjenja sa ranijim rezultatima Instituta pri obradi istog materijala domaćim pločicama vrste P 10, P 20 i P 30 optimalne geometrije [5] <sup>+)</sup> , što je omogućilo da se preko popravnog faktora za vrstu materijala alata  $K_a$  iz proširenog obrasca [6] predlože

$$v = \frac{C_v}{T^m \delta^x s^y} K_k K_a K_\lambda K_h \quad (1)$$

odredjeni zaključci.

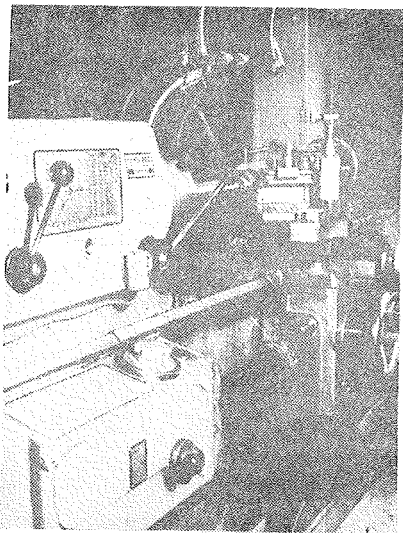
## 2. Uslovi ispitivanja

Ispitivanja su izvodjena na eksperimentalnom strugu VDF, sa kontinualnom promenom broja obrtaja  $n = 45 - 4.500$  o/min i sna-

---

<sup>+)</sup>  Kompletni podaci za razmatrane domaće vrste materijala alata i radnog predmeta sadržane su u vidu tablice, proširenog obrasca i nomograma na listu 134.01 publikacije PRIRUCNIK IAMA - REŽIMI REZANJA, koji se stavlja na raspolaganje u potrebnom broju primeraka svim industrijskim partnerima u projektu sistematskog ispitivanja obradljivosti [3].

gom  $P = 30 \text{ kW}$ . Na slici 1 se daje izgled mašine sa probnim alatom u radnom položaju i sa mikroskopom za merenje habanja ledjne površine pločice.



Sl.1. Eksperimentalni strug VDF sa držačem noža i mikroskopom

teno struga. Svi su probni delovi isečeni iz jedne šipke, a pre izvođenja eksperimenta skinuta je kora od valjanja posebnim nožem.

Pločice Coromant tipa "jednostrukog iskorišćenja" vrste GC 125, GC 135 i GC 315 mehanički su stegnute u držač Coromant, pri čemu je geometrija reznih elemenata  $\gamma^* = -5^\circ$ ,  $\alpha = 5^\circ$ ,  $\kappa = 60^\circ$ ,  $r = 1 \text{ mm}$ .

Probni delovi su izradjeni iz čelika Č.4730, pri čemu su u Tablici 1 iznete relevantne karakteristike, dok je njihova dužina 500 mm, sa jedne strane su zabušeni radi oslanjanja na obrtni šiljak, a sa druge stegnute u univerzalnu steznu glavu učvršćenu na glavno vreteno struga.

Tablica 1

Mehaničke osobine		Hemijski sastav [%]							Stanje
$\sigma_m$ [kp/mm <sup>2</sup> ]	H <sub>B</sub> [kp/mm <sup>2</sup> ]	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	
57 - 62	150-180	0,25	0,25	0,63	0,021	0,022	1,0	0,2	žaren

Kao kriterij zatupljenja usvojena je širina pojasa habanja na ledjnoj površini  $h = 0,6 \text{ mm}$ , uobičajena u nizu ranijih radova u Institutu (na primer, [5], [6]), pri čemu je prelazak na druge vrednosti  $h$  mogućan preko popravnog faktora  $K_h$  iz empirijske jednačine (1).

Veličina pojasa habanja merena je "in situ", tj. bez vadjenja noža iz nosača alata na strugu, primenom mikroskopa koji se uočava na slici 1 u neradnom položaju. Pri merenju, nosač alata se poprečnim klizačem povlači unazad, a mikroskop se radi merenja

obrće u prednji radni položaj do prethodno podešenog graničnika.

Za opite su odabrana dva režima brzine rezanja ( $v = 200$  i  $300$  m/min) i po jedan korak ( $s = 0,4$  mm/o) i dubina rezanja ( $\delta = 2$  mm).

### 3. Eksperimentalni rezultati sa komentarima

Plan eksperimenata je sačinjen polazeći od Taylor-ove jednačine

$$v = \frac{C}{T^n} \quad (2)$$

čijim se logaritmovanjem (koriste se prirodni logaritmi) dobija

$$\ln T = \frac{1}{n} \ln C - \frac{1}{n} \ln v \quad ,$$

ili, izabranim smenama

$$y = B_0 X_0 + B_1 X_1 \quad (3)$$

gde je  $B_0 = -B_1$ .

Kako je neophodno oceniti jedan faktor, dovoljne su po dve tačke, a sam plan eksperimenata iznosi se u Tablici 2, pri čemu su u rubrike  $y_{125}$ ,  $y_{135}$  i  $y_{315}$  uneti prirodni logaritmi postojanosti pri  $h = 0,5$  mm za pločice GC 125, GC 135 i GC 315.

Tablica 2

Broj eksperimenata	$X_0$	$X_1$	Parametri obrade			$y_{125}$	$y_{135}$	$y_{315}$
			$v$ [m/min]	$\delta$ [mm]	$s$ [mm/o]			
1	+	+	300	2	0,4	2,78	2,49	2,64
2	+	-	200			3,37	3,18	3,65
3	+	+	300			2,89	2,40	2,49
4	+	-	200			3,40	3,10	3,64

Podaci u Tablici 2 omogućuju da se prošireni obrazac (1) za date vrednosti dubine rezanja i koraka noža i za tri vrste ispitivanog karbidnog alata sa tvrdom prevlakom svede na izraze oblika

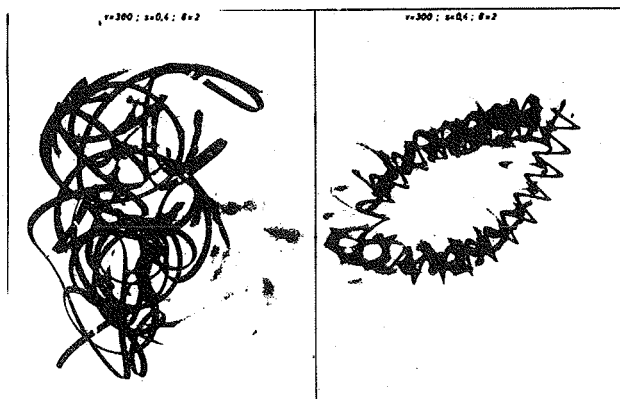
$$v = \frac{1.320}{T^{0,574}} \quad \text{za GC 125}$$

$$v = \frac{1.100}{T^{0,570}} \quad \text{za GC 135} \quad (4)$$

$$v = \frac{830}{T^{0,385}} \quad \text{za GC 315}$$

Iskustva stečena u Institutu pri obradi čelika Č.4730 domaćim tvrdim metalom, pri čemu se je optimalna geometrija za sve tri vrste, P 10, P 20 i P 30 [ $\gamma = 10^\circ$ ,  $\alpha = 8^\circ$ ,  $\beta = 60^\circ$ , rub  $f = s(0,3 - 0,5)$  mm], znatno razlikovala od geometrije koju uslovljava firma Coromant sa svojim pločicama i držačima koji su bili predmet izvedenog istraživanja, omogućuju da se zapažanja prokomentarišu sa više pouzdanosti.

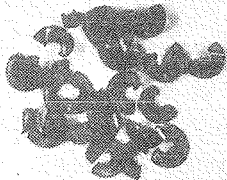
Negativan grudni ugao  $\gamma = -5^\circ$  u odnosu na za domaće pločice iznadjenu optimalnu vrednost  $\gamma = 10^\circ$  doveo je do nepovoljnog formiranja strugotine i većih otpora rezanja, što se vidi upoređujući strugotinu prikazanu na slici 2 (obrada pločicom vrste P 10 optimalne geometrije) i na slici 3 (obrada pločicom GC 315), na početku (levo) i na kraju (desno) eksperimenta pri ina-



Sli.2. Izgled strugotine na početku (levo) i na kraju (desno) rezanja sa domaćom pločicom P 20 optimalne geometrije

če identičnim uslovima rezanja. Na kidanu strugotinu, pri većoj vrednosti stepena sabijanja strugotine  $\lambda$  na slici 3 u odnosu na trakastu prema slici 2 nije pritom uticao lomač strugotine.

$v=300$  ;  $s=0,4$  ;  $\delta=2$   
(početak)

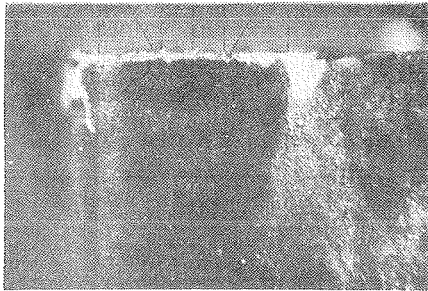


$v=300$  ;  $s=0,4$  ;  $\delta=2$   
(kraj)



Sl.3. Izgled strugotine na početku (levo) i na kraju (desno) rezanja sa pločicom GC 315 originalne geometrije

Regularno habanje na ledjnoj površini ispitivanih stranih pločica je bilo manje intenzivno nego krater na grudnoj površini, što se može uočiti upoređujući sliku 4 sa 5 i 6: sve se odnose na



Sl.4. Pojas habanja na ledjnoj površini pločice GC 315 u toku eksperimenta pri  $v = 300$  m/min



Sl.5. Krater na grudnoj površini pločice GC 315 na eksperimenta pri  $v = 200$  m/min

pločice GC 315, pri čemu je za 4 i 6 brzina rezanja iznosila  $v = 300$  m/min , a za 5,  $v = 200$  m/min.

Na nepodesnost geometrije reznih elemenata, a moguće i na nedovoljno dobro konstrukcijsko rešenje ležišta pločice kod originalnog držača Coromant, može da eventualno ukaže i činjenica da je u eksperimentima dolazilo češće do odlamanja i krzanja vrha noža, što se može sagledati na slici 7, pri čemu drugu mogućnost sugerišu slučajevi kada je dolazilo do krzanja i vrhova noža koji nisu bili angažovani rezanjem, već oslonjeni na držač.

Valja, nadalje, uočiti da je moguće, na osnovi usvojenog krite-

rija za postojanost preko širine pojasa habanja  $h = 0,5$  mm za-  
ključiti da će zaštitni tvrdi sloj nominalne debljine  $5 \mu\text{m}$  mo-



Sl.6. Krater na grudnoj površini pločice GG 315 na kraju eksperimenta pri  $v = 300$  m/min



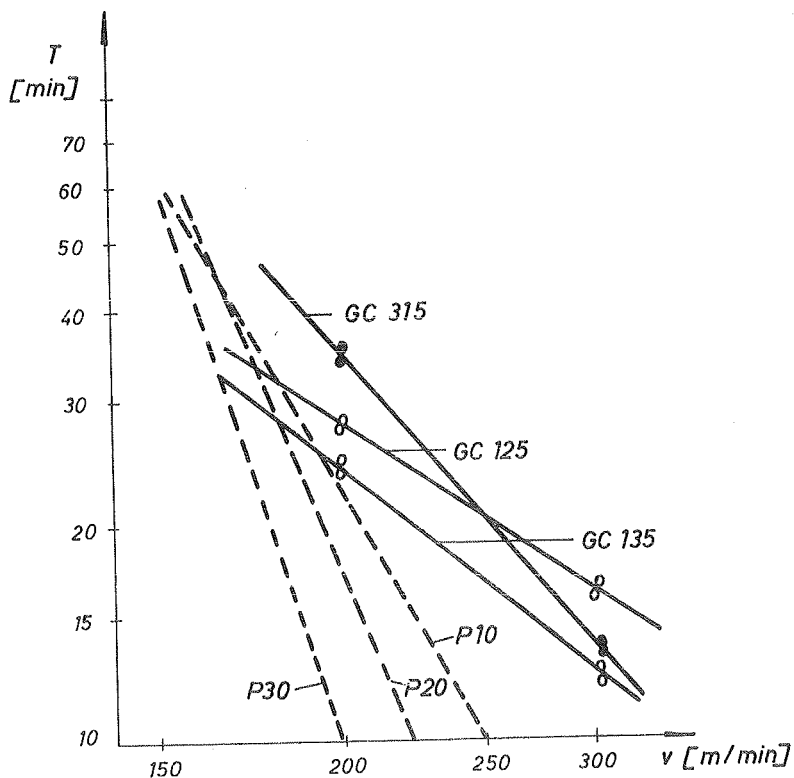
Sl.7. Odlamanje na leđnoj površini pri rezanju pločicom GG 315 pri  $v = 300$  m/min

rati da bude delimično skinut sa ledjne površine u blizini sečiva, a takodje i na delu kratera: iako dubina kratera nije bila merena, slike 5 i 6 omogućuju pretpostavku da je ona znatna. Ovde se, medjutim, ukazujući samo na neke hipoteze o zaštitnom dejstvu materijala tvrdog sloja i po njegovom delimičnom istiranju [2], detaljnije ne razmatra ovo značajno pitanje za uspešnu eksploataciju karbidnih pločica sa tankim tvrdim slojem.

Na slici 8 je moguće da se na kraju uporedno prikažu Taylor-ove prave u duplo-logaritamskim koordinatama za ispitivane tri vrste stranih pločica (pune linije) i ranije dobijene rezultate sa domaćim pločicama optimalne geometrije (isprekidane linije) pri obradi čelika Č.4730 pri identičnim ostalim uslovima ( $\delta = 2$  mm,  $s = 0,4$  mm/o,  $h = 0,5$  mm).

Iz slike 8 je očigledno da su u domenu brzina rezanja  $v = 200 - 300$  m/min pločice sa tvrdom prevlakom neoptimalne geometrije izdržljivije od klasičnih vrsta P 10, P 20 i P 30, pri čemu, medjutim, valja imati na umu da je domen ispitivanih brzina za poslednje bio pri  $v < 200$  m/min, tako da dok je u području  $v > 200$  m/min reč o ekstrapolaciji postojanosti za domaće vrste, to se isto odnosi i na strane pri  $v < 200$  m/min.

Uprkos ovom nedostatku pri direktnom poredjenju, moguće je da se za vrednosti brzine rezanja  $v_{60}$  (brzina pri kojoj je postojanost alata  $T = 60$  min) i  $v_{30}$  odredi popravni faktor  $K_a$  iz



Sl. 8. T-v prave za pločice Coromant (pune linije) i domaće pločice (isprekidane linije) pri obradi Č.4730 pri  $\delta = 2 \text{ mm}$  i  $s = 0,4 \text{ mm/o}$

jednačine (1) kao

$$K_{a60(30)} = \frac{\sqrt[60(30)]{c}}{\sqrt[60(30)]{d}} \quad (5)$$

gde se indeksi 60 i 30 odnose na postojanost, indeks c na tri ispitivane vrste pločica Coromant, d na domaće pločice vrste P 20, za koje je ranije [5] bio utvrđen obrazac

$$v = \frac{208}{T^{0,115}} \quad (6)$$

U Tablici 3 su iznete izračunate vrednosti prema obrascu (5) za tri vrste stranih pločica u odnosu na domaće pločice vrste P 20.



Tablica 3

GC	GC 125	GC 135	GC 315
$K_a$			
$K_{a60}$	0,98	0,81	1,37
$K_{a30}$	1,34	1,12	1,60

Obuhvatajući Tablicom 3 samo jedan mali isečak iz daleko širih mogućih primena karbidnih pločica sa tvrdim slojem u pogledu varijacije režima i materijala radnog predmeta, moglo bi se pretpostaviti da bi u cilju punijeg iskorišćenja potencijalnih prednosti ovog u odnosu na klasični alatni materijal valjalo nastaviti sa sistematskim uporednim ispitivanjem, težeći pre svega definisanju podesnije geometrije reznih elemenata za novi materijal. Uvažavajući činjenicu da je geometrija ovih pločica invarijantna u odnosu na proizvedene, pošto njihovo prebrusavanje nije moguće a da se pritom ne skine tvrdi sloj, ovo može biti ključno pitanje u njihovom daljem razvoju.

#### 4. Zaključci

Na osnovu izvedenih eksperimentalnih ispitivanja, zapaženih pratnih pojava i učinjenih osvrta, moguće je, uz isticanje ograničenja sprovedenog programa (ograničeni broj eksperimenata, korišćenje određenih ekstrapolacija, nemogućnost variranja geometrije), predložiti sledeće zaključke:

- (i) Iako karbidne pločice sa tvrdom prevlakom TiC i TaC prema inostranim informacijama imaju znatne prednosti u pogledu viših dopuštenih brzina rezanja, odnosno povećane postojanosti u odnosu na klasične, čini se da zasada korišćena rezna geometrija sa negativnim grudnim uglom nije nužno najpodesnija, i da bi odgovarajući sistematski izvedeni opiti trebalo da dovedu do optimalnih oblika pločica i konstrukcija držača.
- (ii) Na osnovu izvedenih opita moglo bi se zaključiti da klasični karbidni alat sa optimalnom geometrijom može u određenoj

nom domenu brzina, odnosno postojanosti da pokaže bolje rezultate od novog alatnog materijala, posebno ukoliko geometrija poslednjeg nije optimalna.

- (iii) Uvažavajući činjenicu da je u uslovima izvedenih eksperimenata tvrda prevlaka bila probijena kako na ledjnoj, tako, verovatno, i na grudnoj površini, valjalo bi detaljnije izučiti eventualne dopunske zaštitne efekte tvrdog sloja i po njegovom delimičnom istrošenju.

## 5. Literatura

- [1] V. Šolaja, Obrada rezanjem - uvodni referat, Zbornik saopštenja V Savetovanja proizvodnog mašinstva, Kragujevac, III knjiga (1969) 75
- [2] B. Goding, Verschleissverhalten von beschichtetem Hartmetall, Werkst. u. Betr., 103 (1970) 251
- [3] Kolektiv autora, Sistematsko ispitivanje obradljivosti - petogodišnja dostignuća i perspektive, Institut za alatne mašine i alate, Beograd (1969)
- [4] V. Šolaja, V. Mlačić, Jedna informacija o Makroprojektu RAZVOJ I OPTIMIZACIJA OBRADNIH SISTEMA ZA INDIVIDUALNU, MALOSERIJSKU I SREDNJSERIJSKU PROIZVODNJU, Bilten IAMA, 1 (1970) 3; Saopštenja IAMA, 11 (1970) 1539
- [5] D. Vukelja, Rezultati ispitivanja obradljivosti konstrukcijskih čelika, Elaborat 107/69, Institut za alatne mašine i alate, Beograd (1969)
- [6] D. Vukelja, Prilog odredjivanju normativa režima pri obradi rezanjem na strugu domaćih konstrukcijskih materijala domaćim alatima, Saopštenja IAMA, 10 (1969) 1419.

V. Šolaja, D. Vukelja

### Some Experimental Results with Coromant Carbide Tools Having Hard Layers

The paper reviews the results of a limited research programme carried out at the Institute for Machine Tools in Beograd in cutting Cr-alloyed steel C.4730 (Table 1) with Coromant carbide tips GC 125, GC 135 and GC 315 having a thin TiC and TaC wear resistant layer. With the depth of cutting  $\delta = 2$  mm, feed  $s = 0,4$  mm/rev and a speed range of  $v = 200$  to  $300$  m/min, a longer tool-life has been obtained than with conventional carbide tips P 10, P 20 and P 30 (fig. 8). However, it appears

that for a longer tool-life ( $v_{60}$  and  $v_{30}$ ) and with speeds under 200 m/min this may not necessarily be the case (Table 3). From examining the form of chips (figures 2 and 3), the wear at the clearance and rake faces (figures 4, 5 and 6) and the chipping of the cutting edge (figure 7), the authors conclude that the geometry with a negative rake angle seems to be poor, which calls for an optimization of tool geometry in further experiments.



V. Šolaja, D. Vukelja, V. Simonović x)

IDENTIFIKACIJA INTENZITETA HABANJA PRAĆENJEM POVIŠENJA  
TEMPERATURE NA KARBIDNOJ PLOČICI xx)

1. Uvod

Nove tendencije koje se poslednjih godina uočavaju u oblasti rezanja, inače važnom ulaznom članu u obradne sisteme, je težnja da se, pored daljeg unapredjenja alata (materijala, geometrije, tretmana radnih površina itd.), poboljšanja podobnosti za oblikovanje rezanjem materijala obratka, traženja novih postupaka obrade i konstrukcijsko-tehnoloških intervencija u sistemu mašina/alat/radni predmet, iznadju i primene mere za prilagodjavanje sredstava unutar obradnog sistema, sa mogućnošću optimizacije radnih uslova za vreme izvodjenja operacija [1].

Kriterijumi optimalnosti mogu pritom da budu različiti, usmereni ka minimalnim troškovima obrade ili operacija, maksimalnoj proizvodnosti ili kvalitetu obrade definisanog nivoa i pouzdanosti. U većini slučajeva je prisutna težnja ka nekoj optimalnoj postojanosti alata  $T$ , variranjem osnovnih parametara obrade - brzine rezanja  $v$ , dubine rezanja  $\delta$  i pomaka (koraka alata)  $s$ .

U traženju mogućnosti za komponovanje samooptimizirajućih obrad-

---

x) Vladimir Šolaja, dipl.ing., red. profesor Mašinskog fakulteta, direktor Instituta za alatne mašine i alate, Beograd, Dr. Dušan Vukelja, dipl.ing., sam. saradnik Instituta, docent Mašinskog fakulteta Sarajevo, Velimir Simonović, dipl.ing., asistent Mašinskog fakulteta, saradnik Instituta

xx) Saopštenje iz Instituta za alatne mašine i alate, Beograd, odnosi se na projekt TEHNOLOGIJA MAŠINOGRAĐNJE: ISPITIVANJE OBRADLJIVOSTI I GRUPNE TEHNOLOGIJE U POJEDINAČNOJ I SERIJSKOJ PROIZVODNJI i na Makroprojekt RAZVOJ I OPTIMIZACIJA OBRADNIH SISTEMA ZA INDIVIDUALNU, MALOSERIJSKU I SREDNJESERIJSKU PROIZVODNJU, u čijem finansiranju učestvuju Savezni fond za finansiranje naučnih delatnosti, Republička zajednica za naučni rad SR Srbije, i nekoliko industrijskih organizacija.

nih sistema i prema dosadašnjim iskustvima, pitanja su koncentrisana na mogućnosti praćenja i reagovanja u odnosu na promenljive pojave u sistemu, pre svega na promene do kojih dovodi progresivno habanje alata. Ukoliko su dosadašnja ispitivanja i primene u svetu bili uglavnom usmereni na davače i regulacijska kola kod kojih se kao signal koristi promena otpora rezanja u procesu habanja i zatupljenja alata, niz dosadašnjih ispitivanja u Institutu za alatne mašine i alate u Beogradu u oblasti termodinamike rezanja [2]-[6] sugeriše mogućnost uspostavljanja korelacije intenziteta habanja alata i promene temperaturnog polja, odnosno balansa toplotne energije u članovima sistema rezanja, i korišćenje toplotnog signala kojim se, preko veštačkog termopara, identifikuju ove varijacije.

Uvažavajući zametan matematički rad koji je u Institutu bio ranije sproveden [6], bilo je moguće da se u ovom saopštenju uspostavi podestan model i da se njegove predikcije kvantifikuju primenom elektronskog računara Elliot 803-B. Prikazani su i podeseo koncipirani eksperimenti u kojima je bilo potvrđeno da temperaturni nivo u fiksiranoj tački reznog prostora zavisi od stepena pohabanosti alata. Za početak veoma ohrabrujuće verifikacije učinjenih pretpostavki omogućile su, nadalje, indiciranje mogućnosti za praktično korišćenje rezultata i odgovarajuće zaključke.

## 2. Teorijske osnove

Nezavisno od vrste mašinske obrade, praktično celokupna mehanička energija pri rezanju prelazi u toplotnu, što dovodi do stvaranja nestacionarnog temperaturnog polja u zoni rezanja. Generisana toplotna energija se distribuira između alata, strugotine, obratka i okoline, pri čemu je zadovoljen prvi zakon termodinamike,

$$dQ = dU + Adl \quad , \quad (1)$$

koji, pošto materijalni članovi sistema rezanja (obradak, strugotina, alat) ne vrše rad u termodinamičkom smislu (kao što je to, na primer, slučaj pri promeni zapremine gasa), te se dovedena količina toplotne energije troši na promenu unutrašnje energije,

prelazi u

$$U = Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = Q_A + Q_A + Q_P + Q_O, \quad (2)$$

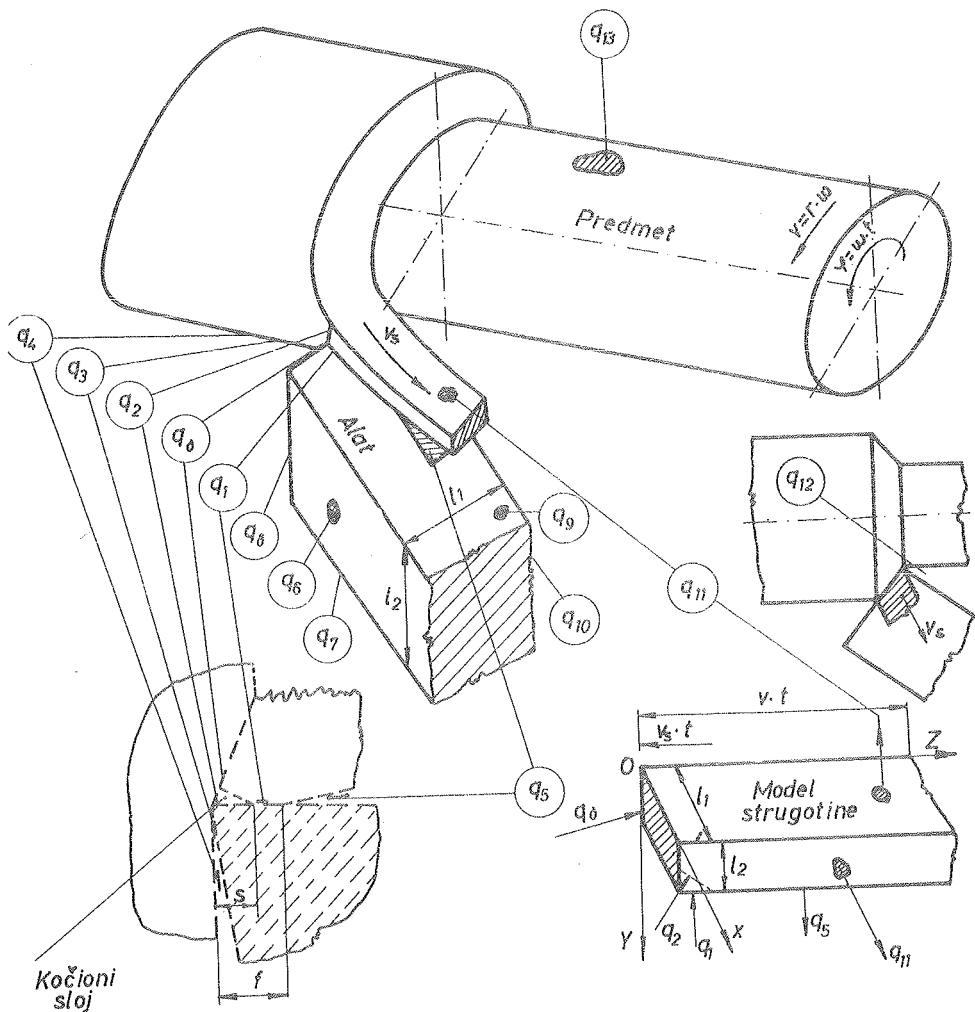
pri čemu su različite količine toplotne energije ekvivalenti :  
 $Q$  = opšta količina energije ekvivalentna ukupno utrošenom radu  
pri rezanju,  $Q_1$  = ekvivalent trenja strugotine o alat,  $Q_2$  =  
= unutrašnje trenje u strugotini (kočionom sloju),  $Q_3$  = otpor  
trenja o površinu rezanja,  $Q_4$  = deformacijski rad smicanja, dok  
se toplotna energija  $Q$  raspoređuje na alat ( $Q_A$ ), strugotinu  
( $Q_S$ ), obradak ( $Q_P$ ) i okolinu ( $Q_O$ ).

Na osnovu principa termodinamike rezanja i teorije plastičnosti  
dobijeni su matematički iskazi specifične snage  $q_1$  [indeks i  
odgovara specifičnim snagama izvora toplotne energije  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  
 $Q_3$  i  $Q_4$  iz jednačine (2)], pri čemu je specifična snaga poje-  
dinih komponenta toplotne energije prikazanih na slici 1 [6]

$$\begin{aligned} q_1 &= \frac{1}{M} \tau_t v_t, \\ q_2 &= \frac{1}{M} \tau_u v_u, \\ q_3 &= \frac{1}{M} \tau_e v, \\ q_4 &= \frac{1}{M} \tau_s \varepsilon_s, \end{aligned} \quad (3)$$

gde je  $\tau_t$  = napon trenja na grudnoj površini,  $v_t$  = brzina kli-  
zanja strugotine po grudnoj površini alata,  $\tau_u$  = napon smica-  
nja u kočionom sloju,  $v_u$  = brzina smicanja u kočionom sloju,  
 $\tau_e$  = napon trenja na površini rezanja,  $\tau_s$  = napon smicanja u  
ravni (predelu) smicanja,  $\varepsilon_s$  = veličina deformacije smicanja  
pri formiranju strugotine,  $M$  = toplotni ekvivalent mehaničkog  
rada.

Za jednostavnije slučajeve (na primer, ortogonalno rezanje, po-  
lazeći delom od osnovnog modela mehanike rezanja koji je pre go-  
tovo trideset godina uspostavio E. M. Merchant [7], a bio je ra-  
zmatran i u nas [8]) je bilo pokazano da se veličine  $q_1$  mogu  
približno odrediti preko izraza



Sl. 1. Prostorni položaj izvora i ponora toplotne energije pri obradi rezanjem na strugu

$$q_1 = q_0 e^{A\left(\frac{x}{f}\right) - B\left(\frac{x}{f}\right)^2}$$

$$q_2 \approx 0 \quad (\text{utvrđeno je da važi u eksperimentima sa hlađenjem}),$$

$$q_3 = \frac{\mu(F_2 \sin \gamma' - F_t \cos \gamma')v}{h \cdot b}, \quad (4)$$

$$q_4 = \frac{F_1 \sin \phi \cos \phi - F_2 \sin^2 \phi}{s \cdot b} \cdot \frac{\lambda^2 - 2\lambda \sin \gamma' + 1}{\lambda \cos \gamma'}$$

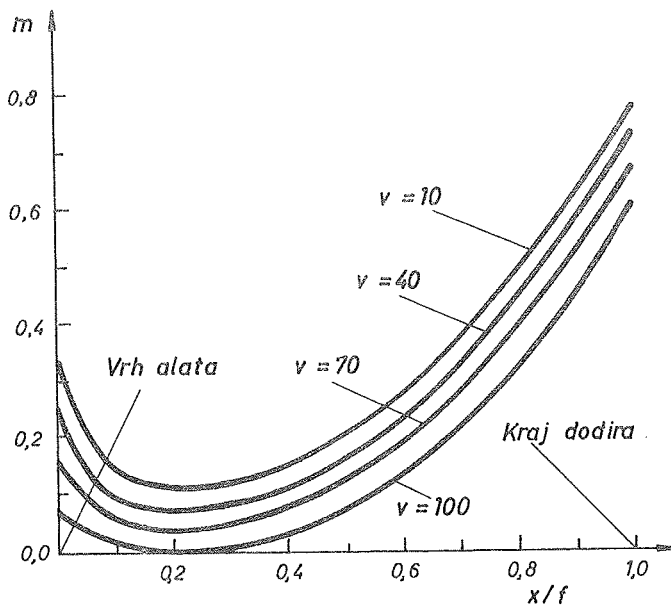
gde su  $q_0$ ,  $A$ ,  $B$  = konstante,  $f$  = dužina kontakta strugotine



i alata,  $x$  = udaljenost od vrha alata ( $0 \leq x \leq f$ ),  $\mu$  = koeficijent trenja,  $F_1$  = glavni otpor rezanja,  $F_2$  = otpor prodiranja,  $\gamma$  = grudni ugao,  $h$  = širina pojasa habanja na ledjnoj površini,  $b$  = širina strugotine,  $\phi$  = ugao smicanja pri formiranju strugotine,  $\lambda$  = stepen sabijanja strugotine.

Nadalje su na slici 1 sa  $q_5$  do  $q_{11}$  označeni svi ponori, a do njihove veličine se dolazi primenom zakona termodinamike i mehanike fluida koji se odnose na prenos toplotne energije zračenjem i konvekcijom.

Na slici 2 je izneta distribucija toplotne energije izmedju ala-



Sl.2. Relativna količina toplotne energije  $m$  koja prelazi u alat na grudnoj površini u zavisnosti od dodira sa strugotinom  $x/f$  i veličine brzine klizanja  $v_t$

ta i strugotine iskazana faktorom  $m = Q_A/Q_S$ , u zavisnosti od brzine klizanja strugotine po grudnoj površini  $v_t$  [2]. Ovaj dijagram odgovara obradi sa oštrim alatom, dok usled habanja dolazi do promene geometrijskih odnosa, do povećavanja veličine kontakta i sa strane ledjne (pojas habanja) i grudne (krater) površine. Sem toga, pohabani deo radnih površina alata je veoma

grub - pogoršanje u odnosu na početni kvalitet može da iznosi i do 10 puta. Pogoršanje kvaliteta prouzrokuje, međutim, povećanje otpora trenja, usled čega se povećava i potrebna mehanička energija, pa prema tome i generisana toplotna energija.

Stoga valja očekivati da sa napredovanjem zatupljenosti raste i komponenta  $Q_A$ , iako pri tome srednja temperatura na kontaktnim površinama merena prirodnim termoparom ostaje približno konstantna [9], što se može objasniti činjenicom da kao zajednička posledica habanja raste i temperatura i veličina kontakta.

U opštem bi se slučaju mogao per analogiam primeniti zakon poluge

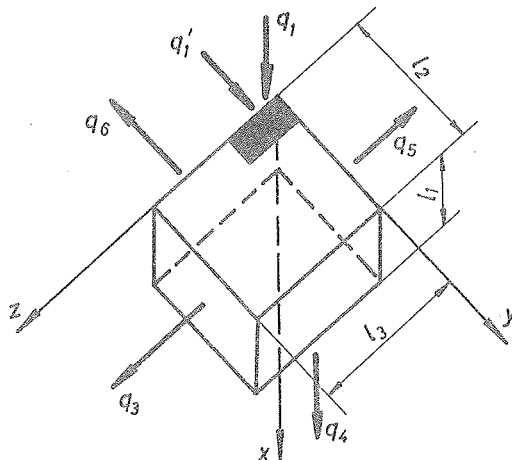
$$\Theta = \frac{\Theta_1 \cdot f + \Theta_2 \cdot h}{f + h} \quad (5)$$

gde je  $\Theta$  = srednja temperatura merena prirodnim termoparom, sa indeksom 1 je označena srednja temperatura kontakta alata i strugotine na grudnoj, a sa 2 alata i obratka na leđnoj površini.

Dovodjenjem toplotne energije alatu povećava se njegova unutrašnja energija, ona se manifestuje povišenjem nivoa temperaturnog polja u alatu, a moguće je da se prati podesnom primenom veštačkog termopara.

U razmatranom slučaju reč je o temperaturnom polju mehanički držane karbidne pločice kvaliteta P 20, dimenzija 2,5 x 12,5 x x 12,5 mm. Pošto se u toku uzdužne obrade na strugu periodično prekida obrada, prisutno je zagrevanje i hladjenje kao vremenska funkcija. Sa izvorima i ponorima lociranim prema slici 1, i za paralelopipedan oblik pločice (zanemaruju se zaobljenja) prema slici 3, izraz za temperaturno polje glasi, polazeći od parcijalne jednačine Fourier-a

$$\begin{aligned} \Theta(x, y, z, t) = & \left( \int_0^t \Theta'_n(t') \int_0^x \int_0^y q_1 d\mathcal{T} dy' dz' + \int_0^x \int_0^h q_1' d\mathcal{T} dx' dz' - \right. \\ & - \int_0^t \int_0^{l_2} \int_0^{l_3} q_2 d\mathcal{T} dz' dy' - 3 \int_0^x \int_0^{l_1} \int_0^{l_2} q_3 d\mathcal{T} dy' dx' - \\ & \left. - \int_0^z \int_0^{l_1} \int_0^{l_2} q_4 d\mathcal{T} dx' dy' - \int_0^t \int_0^{l_2} \int_0^{l_3} d\mathcal{T} dz' dy' \right) \frac{G}{[2a\sqrt{\pi(t-\mathcal{T})}]^3} \end{aligned} \quad (6)$$

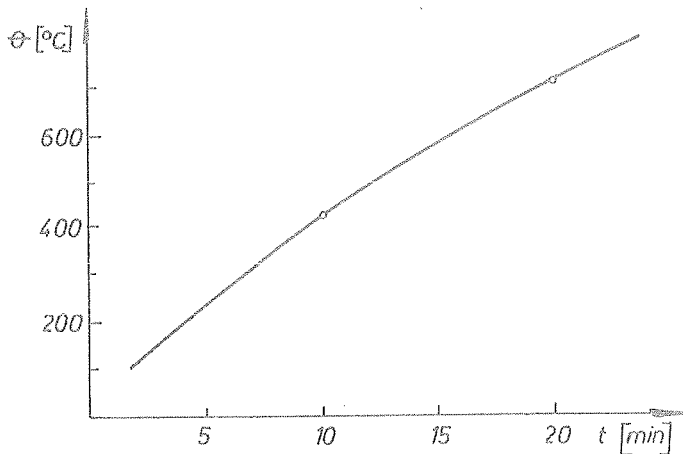


Slika 3. Idealizovana karbidna pločica sa unetim veličinama iz jednačina (6) i (7)

pri čemu je

$$G = \sum_k \sum_m^{+\infty} \sum_n \left[ e^{-\frac{(x-x'+2k\ell_1)^2}{4a^2(t-\tau)}} + e^{-\frac{(x+x'+2k\ell_1)^2}{4a^2(t-\tau)}} \right] \cdot \left[ e^{-\frac{(y-y'+2m\ell_2)^2}{4a^2(t-\tau)}} + e^{-\frac{(y+y'+2m\ell_2)^2}{4a^2(t-\tau)}} \right] \cdot \left[ e^{-\frac{(z-z'+2n\ell_3)^2}{4a^2(t-\tau)}} + e^{-\frac{(z+z'+2n\ell_3)^2}{4a^2(t-\tau)}} \right] \quad (7)$$

Korišćenjem teorijskog modela iskazanog jednačinom (6) i podesnog programa za računar Elliot 803-B, rezultati dobijeni integraljenjem indiciranim u (6) za visinu očekivane temperature u izabranoj tački pri neprekidnom na strugu Č.4730 alatom sa karbidnom pločicom P 20 u zavisnosti od vremena rezanja  $t$  izneti su na slici 4. Pritom valja naznačiti pretpostavljeni režim,  $v = 160$  m/min,  $s = 0,315$  mm/o i  $\delta = 1,5$  mm, kao i činjenicu da je za praćenje intenziteta habanja preko temperature izabrana tačka na kontaktu osnovne pločice i držača sa koordinatama  $x = \ell_1$ ,  $y = \ell_2/2$ ,  $z = \ell_3/2$ . Dalje potrebne veličine su karakteristike materijala P 20 prema literaturi :



Sl. 4. Zavisnost temperature  $\Theta$  od vremena rezanja  $t$  prema jednačini (6)

$c \rho$  [kCal/cm<sup>3</sup> °C] =  $0,65 \cdot 10^{-3}$ ,  $\lambda$  [kCal/cm °C sec] =  $0,065 \cdot 10^{-3}$ ,  $a^2$  [cm<sup>2</sup>/sec] = 0,1, prema ranije predloženim obrascima [6] izračunati su izvori toplotne energije prema slici 3,  $q_1 = 0,02$  [kCal/sec],  $q_2 = 0,04$  [kCal/sec],  $q_3 = 0$ , a od ponora je kao najveći uzet u obzir samo  $q_4 = 1,32 \cdot 10^{-2}$  [kCal/sec].

Posle vremena  $t_1 = 10$  i  $t_2 = 20$  min za koje je izračunata prema (6) temperatura  $\Theta = 420^\circ\text{C}$  i  $\Theta_2 = 710^\circ\text{C}$ , veličina pojasa habanja na ledjnoj površini pri datim uslovima iznosi  $h_1 = 0,3$  mm i  $h_2 = 0,5$  mm, a dužina kontakta strugotine sa grudnom površinom  $f_1 = 0,98$  mm i  $f_2 = 1,4$  mm. Respektovana je takodje i distribucija toplotne energije  $m$  prema slici 2.

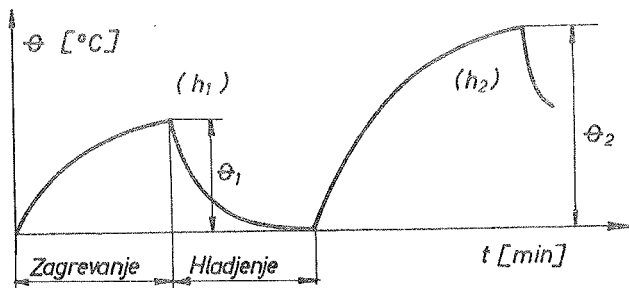
Tendencijom koju iskazuje slika 4 dokazana je očekivana zavisnost temperaturskog nivoa od stepena pohabanosti alata, a cilj istraživanja u teorijskom domenu koja su u toku je, pored ostalog, i transformacija jednačine (6) u podesniji oblik za kvantifikaciju, a takodje i dalji proračun.

### 3. Eksperimentalni rezultati

U cilju verifikacije teorijske analize meren je porast temperature u zavisnosti od veličine habanja na ledjnoj površini. Termopar bakar - konstantan smešten je ispod pločice, a širina po-

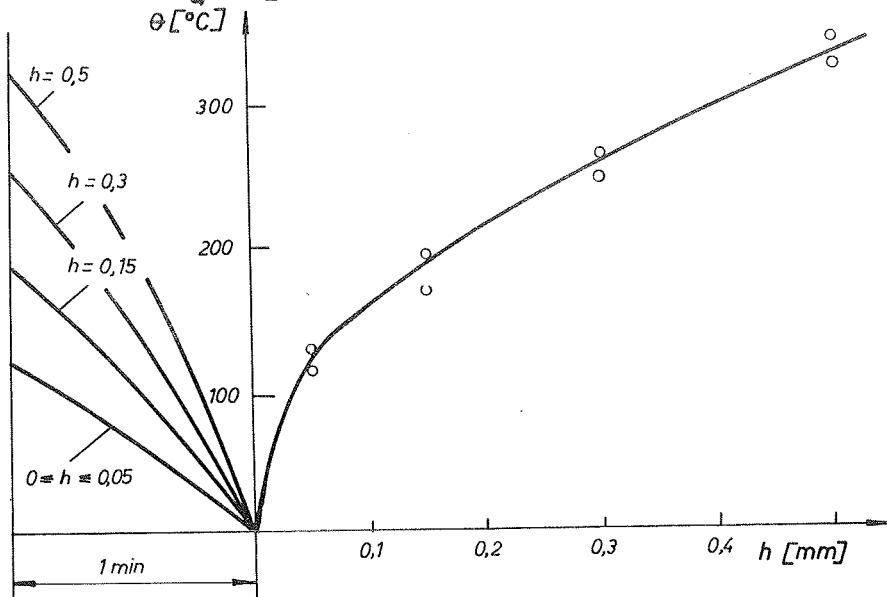
jasa habanja  $h$  je merena mikroskopom. Cilindrični probni deo je stegnut u univerzalnu steznu glavu, a s druge strane poduprt na obrtni šiljak na eksperimentalnom strugu VDF, koji omogućuje konstantnu brzinu rezanja, pošto ima kontinualnu promenu broja obrtaja.

Pri istim uslovima rezanja kao za teorijski model [ $v=160$  m/min,  $s = 0,315$  mm/o i  $\delta = 1,5$  mm, obrada na strugu čelika Č.4730 alatom sa karbidnom pločicom vrste P20,  $l_1 = 2,5$  mm,  $l_2 = l_3 = 12,5$  mm] i sa procesom zagrevanja i hladjenja alata merenim u izabranoj tački s donje strane pločice, prikazanim u opštem slučaju, za dva nivoa pohabanosti  $h_2 > h_1$  na slici 5, za koje je maksimalno postignuta temperatura  $\theta_2 > \theta_1$ , na slici 6 su izneti podaci o izmerenoj temperaturi dostiza-



Sl.5. Zakon zagrevanja i hladjenja karbidne pločice za dva nivoa pohabanosti alata,  $h_2 > h_1$

noj tački s donje strane pločice, prikazanim u opštem slučaju, za dva nivoa pohabanosti  $h_2 > h_1$  na slici 5, za koje je maksimalno postignuta temperatura  $\theta_2 > \theta_1$ , na slici 6 su izneti podaci o izmerenoj temperaturi dostiza-



Sl.6. Zavisnost temperature  $\theta$  merene u izabranoj tački posle rezanja u trajanju  $t = 1$  min u zavisnosti od širine pojasa habanja  $h$

noj posle  $t = 1$  min rezanja za različite veličine širine pojasa habanja  $0 < h \text{ [mm]} < 0,5$ .

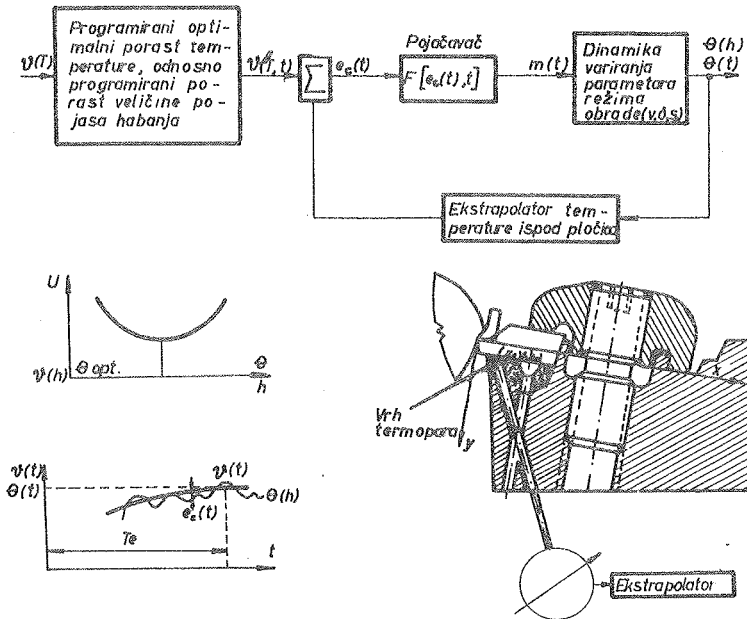
#### 4. Mogućnost korišćenja rezultata

Sprovedena eksperimentalna istraživanja izvedena u Institutu u cilju verifikovanja teorijskog modela prema jednačini (6) i prikazana u prethodnom odeljku omogućuju, u principu, aplikaciju u dva pravca: (i) utvrđivanje stepena zatupljenosti alata bez prekidanja procesa i korišćenja uobičajenih metoda za merenje karakterističnih veličina habanja, i (ii) primena u adaptivnom upravljanju obradnim sistemima.

Uz prvu mogućnost, koju jasno indiciraju rezultati prikazani na slici 6, valja istaći da praćenje habanja alata ne mora biti podesno samo za automatizovanu proizvodnju, već je moguće i u, na primer, pojedinačnoj obradi velikih vratila. Smeštanjem termopara u držač, odgovarajućim povezivanjem sa pokaznim instrumentom i pronalaženjem empirijske zavisnosti varijacije stvarne dubine rezanja, odnosno prečnika obrade na obratku, sa širinom pojasa habanja na ledjnoj površini, odnosno njegovim ekvivalentom preko temperature, moguće je u principu uticati s jedne strane na postojanost alata, s druge strane na tačnost obrade.

Načelnu mogućnost aplikacije u adaptivnom upravljanju sugeriše blok shema samooptimizirajućeg obradnog sistema na slici 7. Pri korišćenju temperature u temperaturskom polju noža za upravljanje sistemom, i pri kriterijumu optimalnosti koji se odnosi na minimalne troškove obrade, može da se, sa oznakama na slici 7, kao cilj postavi da  $e_c(t) = |\mathcal{V}(T) - \Theta(T)|$ , odnosno  $[\mathcal{V}(h) - \Theta(h)]$  budu minimalni.

Ozbiljni napori za dalji razvoj koncepta iznetog u ovom saopštenju su u toku u Institutu.



Sl. 7. Blok shema samooptimizirajućeg obradnog sistema, sa temperaturom u temperaturskom polju noža korišćenom za upravljanje

## 5. Zaključci

Na osnovu dosada izvedenog istraživanja i prezentovanih razmatranja i rezultata moguće je izneti sledeće zaključke:

- (i) Sa porastom pohabanosti alata povećava se toplotna energija koja odlazi u alat, što kao rezultat ima promenu temperaturskog polja uspostavljenog pri oštrom alatu i povišenje temperaturskog nivoa. Ovu predikciju potvrđuje kako izvedena teorijska analiza, tako i eksperimentalna evidencija.
- (ii) Korišćenjem uspostavljenih veza moguće je pratiti intenzitet habanja alata preko toplotnog intenziteta u temperaturskom polju. Pri korišćenju veštačkog termopara iz praktičnih je razloga potrebno isti smestiti na zaštićeno mesto, a kao najpodesnije se pokazala donja strana karbidne pločice.
- (iii) Prikazani rezultati pružaju znatna obećanja za primenu u adaptivnom upravljanju obradnih sistema, i u toku su in-

tenzivni radovi na toj liniji u Institutu za alatne mašine i alate u Beogradu.

## 6. Literatura

- [1] V. Šolaja, Stanje razvoja u tehnologiji rezanja i grupnoj tehnologiji, Zbornik Simpozijuma o Makroprojektu RAZVOJ I OPTIMIZACIJA OBRADNIH SISTEMA, Bled (1970) knjiga II, str. 26; Saopštenja IAMA, 11 (1970) 1703
- [2] D. Vukelja, Temperatura rezanja pri obradi na strugu, Zbornik saopštenja i Savetovanja proizvodnog mašinstva, Beograd (1965) 17.1
- [3] D. Vukelja, Temperatura površine rezanja pri obradi metala na strugu, Mašinstvo, 16 (1967) M.44
- [4] D. Vukelja, Prilog izučavanju toplote trenja pri obradi rezanjem, Zbornik saopštenja IV Savjetovanja proizvodnog mašinstva, Sarajevo (1968) 4.1
- [5] D. Vukelja, Prilog izučavanju toplotnog režima u uslovima prekidnog rezanja, Saopštenja IAMA, 8 (1968) 1153
- [6] D. Vukelja, Termodinamika rezanja, Monografije IAMA, 2 (1970)
- [7] E. M. Merchant, Basic Mechanics of the Metal Cutting Process, J. Appl. Mech., 11 (1944) A-168
- [8] V. Šolaja, Prilog proučavanju faktora obrade na strugu pri malom preseku strugotine, Mašinstvo i elektrotehnika, 4 (1955) 113
- [9] D. Vukelja, V. Šolaja, Utvrđivanje obradljivosti materijala pomoću temperaturske metode, Zbornik VII Savetovanja proizvodnog mašinstva, Novi Sad (1971).

V. Šolaja, D. Vukelja, V. Simonović

The Identification of Tool Wear Intensity via the Increase of the Carbide Tip Temperature

The work carried out so far at the Institute for Machine Tools and Tooling in Beograd in metal cutting research, and especially in thermodynamics of cutting [2] - [6] made it possible to propose a mathematical model of cutting temperature in a defined point of the tool bit, equation (6), and to devise the diagram 4, which gives the time function of the theoretical expectation of temperature at the central part of the tip bottom, as influenced by the progress of tool wear. The experiments reproduced in Fig. 6 confirmed the prediction, which leads in principle to a new method of tool-life control, as well as to the possible use of the temperature signal in adaptive control of manufacturing systems, as indicated in Fig. 7.



D. Vukelja, V. Šolaja \*

UTVRDJIVANJE OBRADLJIVOSTI MATERIJALA POMOĆU TEMPERATURSKE  
METODE \*\*)

1. Uvod

Utvrdjivanje obradljivosti preko skupa parametara vezanih za materijal obratka, vrstu obrade (operacije), alat kao i moguće druge uslove (stanje obradnog sistema, tečnost za podmazivanje i rezanje itd.) je jedan od važnih praktičnih zadataka, sprovedjenih u ovom veku u nizu zemalja, pa od novijeg vremena i u nas [1]. Dobijeni podaci služe pritom kao neophodan ulaz u dobro organizovan pogon mašinske obrade, posebno kada se teži optimizaciji obradnog sistema.

Odavna se, međjutim, javlja želja da se dugotrajni, skupi i stoga samo u slučajevima dovoljne koncentracije mogućnosti (na primer, na nacionalnom [1], ili internacionalnom planu) prihvatljiviji istraživački programi potpuno zamene ili kombinuju sa kratkim opitima, štedeći na taj način resurse i omogućavajući direktnije intervencije u specifičnim slučajevima. Pored kratkih po-

---

\* Dr. Dušan Vukelja, dipl.ing., samostalni saradnik Instituta za alatne mašine i alate, Beograd, docent Mašinskog fakulteta Sarajevo, Vladimir Šolaja, dipl.ing., red. profesor Mašinskog fakulteta Beograd, direktor Instituta za alatne mašine i alate, Beograd

\*\* Saopštenje iz Instituta za alatne mašine i alate, Beograd, oslanja se na deo rezultata iz naučnoistraživačkog projekta ISPITIVANJE REZNIH I STEZNIH ALATA u čijem su finansiranju učestvovali Savezni fond za finansiranje naučnih delatnosti i Republička zajednica za naučni rad SR Srbije, kao i izvestan broj industrijskih organizacija, a odnosi se i na projekt TEHNOLOGIJA MASINOGRADNJE; ISPITIVANJE OBRADLJIVOSTI I GRUPNE TEHNOLOGIJE ZA POJEDINACNU I SERIJSKU PROIZVODNJU, kao i na Makroprojekt RAZVOJ I OPTIMIZACIJA OBRADNIH SISTEMA ZA INDIVIDUALNU, MALO SERIJSKU I SREDNJE SERIJSKU PROIZVODNJU u čijem finansiranju takodje učestvuju društveni fondovi i privreda.

stupaka sa klatnom, sa konstantnom silom pomoćnog kretanja ili sa radioaktivnim alatima u svom prvobitnom obliku, mogu da se od metoda koje su pokušavali proveriti ili razviti domaći autori navedu postupci ispitivanja poprečnom obradom na strugu [2], [3], [4] i primenom radioaktivnih depozita [5].

Ranija istraživanja u oblasti termoelektromotorne sile generisane pri rezanju [6], a posebno intenzivno izučavanje u toku nekoliko poslednjih godina temperaturnog polja [7] i termodinamičke rezanja [8] omogućili su da se u Institutu za alatne mašine i alate u Beogradu razvije ideja o korišćenju toplotnog signala iz zone rezanja u različite svrhe, uključujući i utvrđivanje obradljivosti [9].

U ovom se radu u sledećem odeljku izlažu neophodne osnove uz predloženu metodu, a u narednom se iznosi primer iz sprovedenog ispitivanja koristeći novi postupak, pri čemu se izvod iz matematskog tretiranja daje u posebnom Dodatku radu, dok se četvrti odnosi na zaključke koje omogućava dosadašnji rad.

## 2. Osnove predloženog temperaturnog postupka za ispitivanje obradljivosti

U principu bi obradljivost valjalo tretirati na kompleksan način, koristeći teoriju sličnosti. Relevantni parametri bi obuhvatali fizičke veličine koje se odnose na materijal obratka i alata, a takođe i na energetske odnose u zoni rezanja, preko, na primer, generisane i odvođjene toplotne energije, dok bi veličine kao što su postojanost, otpori rezanja, položaj ravni (odnosno pojasa) smicanja pri formiranju strugotine ili temperatura rezanja bile funkcije datih nezavisnih veličina. Slično kao i u drugim oblastima nauke, i u ispitivanju obradljivosti bi pritom trebalo koristiti adekvatne modele.

Još je, međjutim, F. W. Taylor u svom pionirskom radu na prelasku u ovo stoleće [10] ukazao na obimnost zadatka u kome bi se odredjivale veličine velikog broja parametara, što iz praktičnih razloga ukazuje na prednost pojednostavljenih modela u odnosu, na primer, na jedan kompletniji, u bezdimenzijskom obliku 
$$f(v, \delta, s, \gamma, \alpha, \tau, \epsilon_s, \lambda, c, \beta, \mu, k, \theta_1, \theta_2, T_c, \bar{\alpha}, \ell) = 0, \quad (1)$$

u kome su korišćene uobičajene oznake za različite veličine.

Povezujući razmatranje sa uspostavljenim ciljem ovog rada, moguće je da se u pojednostavljenom modeliranju podje od jednačine za zavisnost srednje temperature rezanja  $\theta^x$  od parametara režima obrade  $v, \delta$  i  $s$  i fizičkih veličina koja prema [7] glasi

$$\theta = k \frac{\tau \delta s \sqrt{v/r_c}}{\sqrt{\lambda c \rho}} \quad (2)$$

gde je  $\tau$  [kp/mm<sup>2</sup>] = početak tečenja pri smicanju,  $\delta$  [mm] = dubina rezanja,  $s$  [mm/o] = korak noža (pomak),  $v$  [m/min] = brzina rezanja,  $r_c$  = faktor rezanja (recipročna vrednost stepena sabijanja strugotine),  $\lambda$  [kCal/cm sek °C] = koeficijent prenošenja toplotne energije,  $c$  [kCal/°C kp] = specifična toplotna energija, i  $\rho$  [kp/cm<sup>3</sup>] = gustoća.

U bezdimenzijskom obliku, i posle odredjenih uprošćavanja, jednačina (2) se može svesti na

$$\theta = C_\theta v^m \delta^x s^y \quad , \quad (3)$$

gde je srednja temperatura kontakta alata sa strugotinom i obratkom  $\theta$  dobijena merenjem pomoću prirodnog termopara približno konstantna do zatupljenja alata, sa tendencijom malog (do 5%) porasta.

Suština predložene temperaturske metode je u utvrđivanju veze između jednačine (3) i klasičnog proširenog obrasca

$$v = \frac{C_v}{T^m \delta^x s^y} \quad , \quad (4)$$

u kome je  $T$  [min] = postojanost u odnosu na određeni kriterijum (na primer, dostizanje date širine pojasa habanja na lednoj površini  $h$ ), pri čemu se definišu dva potrebna uslova:

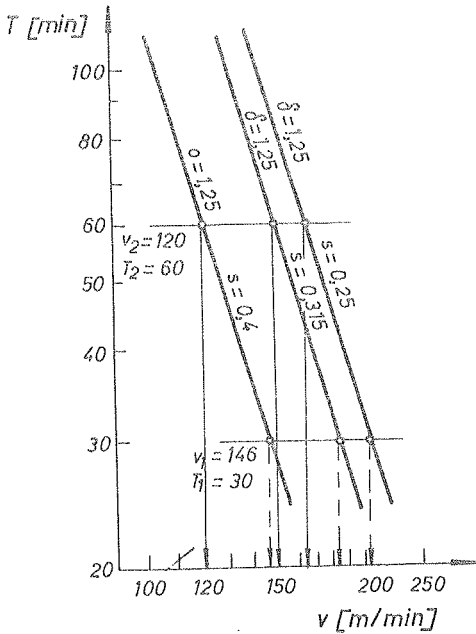
(i) potrebno je da se kombinuje merenje  $\theta$  sa ograničenim brojem klasičnih opita sa habanjem alata, i

(ii) uspostavlja se po intuiciji logična hipoteza da jednakoj po-

<sup>x)</sup> Sa  $\theta$  se u ovom radu označava srednja temperatura kontakta alata sa strugotinom i obratkom, i ona se može eksperimentalno utvrditi prirodnim termoparom, dok je oznaka  $\theta_{sr}$  rezervisana za osrednju vrednost  $\theta$  iz nekoliko merenja.

stojanosti, pri inače istim uslovima materijala i alata, odgovara jednaka temperatura ( $\theta \approx \theta_{sr}$ , gde je sa  $\theta_{sr}$  obeležena osrednjena vrednost  $\theta$  iz nekoliko merenja pri istoj postojanosti).

Za ograničeni broj (po mogućstvu šest) opita klasičnom metodom habanja, pri vrednostima  $v, \delta$  i  $s$  u podesnim parovima, moguće je pri usvojenom kriterijumu postojanosti konstruisati T-v prave



u duplologaritamskim koordinatama. Takav primer, detaljnije razradjen u narednom odeljku, iznet je na slici 1. Istovremeno se pri izvodjenju ovih opita meri i temperatura  $\theta$ , dok je korišćena tehnika bila prikazana na drugom mestu [9], [11].

Povlačenjem horizontalne prave  $T = \text{const.}$  (u primeru na slici 1, gornjoj pravoj odgovara  $T = 60$  min) dobijaju se preseči koji opredeljuju brzine rezanja, a prema (3) temperature rezanja za različite prave su

$$\theta_i = C_\theta v_i^{m'} \delta_i^{x'} s_i^{y'}$$

$$(i = 1, 2, 3)$$

Sl.1. T-v dijagram dobijen pri obradi na strugu čelika Č.4730 alatom sa tvrdim metalom P 20 domaće proizvodnje

pri čemu je u prilog pretpostavci da je  $\theta_1 \approx \text{const.} \approx \theta_{sr}$  moguće zasada izneti eksperi-

mentalnu evidenciju u Tablici 1. Izmereni termonapon  $\mathcal{E}$  je za Tablica 1

$v/\delta/s$	Termonapon $\mathcal{E}$ [mV]		$\theta$ [°C]	$\mathcal{E}_{sr}/\theta_{sr}$
	Č. 4730	Č. 4732	Č. 4730	
120/1,25/0,4	15,5	-	860	15,8/877 (3,8/3,4 %)
150/1,25/0,315	15,8	-	880	
165/1,25/0,25	16,1	-	890	
120/1,2/0,5	-	18,0	-	17,97/- (1,7/- %)
160/1,5/0,35	-	17,8	-	
150/1,5/0,4	-	18,1	-	

slučaj Č.4730 preračunat u temperaturu  $\theta$ , pri čemu je utvrđjena približno linearna veza, dok je u procentima iskazan raspon u odnosu na srednju vrednost (podaci u poslednjoj koloni iskazani u %) u svim slučajevima bio manji od 4%. Dalji eksperimentalni rad treba, međjutim, da verifikuje istinitost ove inače logične hipoteze i sigurnije definiše granice pouzdanosti.

Sada se, uzimajući srednje vrednosti temperature za  $T = 60$  min iz  $T$ - $v$  pravih na slici 1, rešavanjem jednačine (3) dobija

$$v_{60} = \left( \frac{\theta_{sr}}{C_{\theta}} \right)^{\frac{1}{m'}} \cdot \frac{1}{\delta \frac{x'}{m'} \cdot s \frac{y'}{m'}} \quad (5)$$

Konstanta  $C_v$  i eksponent  $m$  u jednačini (4) određuju se na osnovu geometrijskog razmatranja slike 1, pri povučenoj drugoj horizontalnoj pravoj za, na primer,  $T = 30$  min,

$$m = \frac{\log v_1 - \log v_2}{\log T_2 - \log T_1} \quad (6)$$

$$C_v = v_{60} 60^m \delta \frac{x'}{m'} \cdot s \frac{y'}{m'}$$

U cilju dobijanja konstante  $C_{\theta}$  i eksponenta  $m'$ ,  $x'$  i  $y'$  eksperimentalni rezultati se obrađuju metodom najmanjih kvadrata. Korišćene su moderne statističke metode i matricna algebra za plan i potreban broj eksperimenata, dok je provera i ocena tačnosti predložene jednačine u odnosu na osnovni skup izvodjena primenom statistika Student-a i Fischer-a [12], [13], [14].

U sledećem odeljku se prikazuje izvedeni primer sa čelikom Č.4730 prikazan na slici 1, pri čemu se u Dodatku rada iznose nužni elementi korišćene matematske obrade.

### 3. Primer utvrđivanja obradljivosti na strugu za čelik Č.4730 karbidnim alatom P 20

Sa osnovom na razvijenom konceptu iznetom u prethodnom odeljku, a uz oslon na detaljno izloženu matematsku obradu u Dodatku, iznosi se praktičan primer pri obradi na strugu čelika Č.4730 alatom sa domaćim tvrdim metalom vrste P 20, kao i poredjenje sa ranijim rezultatima klasičnog ispitivanja habanja ostvarenim u

Institutu za alatne mašine i alate u Beogradu u inače istim uslovima.

Pristup preko statistike i matrične algebre [izrazi (7) - (14)] doveo je do plana temperaturnih opita iznetog u Tablici 3<sup>x)</sup>, pri čemu je prva serija od šest eksperimenata prikazana u (15), dok su traženi parametri [koeficijent i eksponenti u jednačini (3)] dobijeni u matričnom obliku (18). Sa rezultatima prve serije opita pregledno iznetim u tablici 4 bilo je moguće uspostaviti traženu jednačinu (3) u obliku

$$\theta = 23 v^{0,820} s^{0,295} \delta^{0,025} \quad (30)$$

pri čemu je sprovedena analiza intervala poverenja, tačnosti i disperzija [obrasci (21) - (23)] pokazala, međjutim, da je neophodno izvesti kompletan eksperimentalni program sa još 6, ukupno 12 temperaturnih opita.

I za taj su slučaj utvrđjeni parametri u jednačini (3) u matričnom obliku [obrasci (24) - (27), Tablica 6] i dobijena je konačno jednačina

$$\theta = 22,5 v^{0,807} s^{0,286} \delta^{0,062} \quad (31)$$

koja zadovoljava u pogledu širine intervala poverenja, kao i tačnosti parametara.

Iz iznetog primera je očigledno da je statističkim planiranjem broj eksperimenata znatno smanjen: izvedeno je u obe serije ukupno 12, dok bi ranije trebalo sprovesti i više od 50 pojedinačnih opita. Pritom se druga serija izvodi samo u slučaju nedovoljne tačnosti koju obezbeđuje prva. Prema tome se može pretpostaviti da prikazani plan eksperimenata predstavlja istovremeno i optimalni plan.

Nadalje je moguće da se, korišćenjem rezultata dobijenih u delu eksperimenata habanjem koji pripadaju predloženom postupku i prikazanih na slici 1, kao i jednačina (5) i (6) predje na prošireni obrazac za brzinu rezanja

x) Zbog kontinuiteta redosled obeležavanja tablica, slika i obrazaca prenet je u Dodatak. Napominje se da plan matrica u Tablici 3 odgovara površini prvog reda, te za slučaj da ona ne bi dovoljno dobro aproksimirala pojavu, trebalo bi odrediti površinu drugog reda, što bi, međjutim, zahtevalo plan matricu sa 20 opita.

$$v_{60} = \frac{95}{\delta^{0,13} s^{0,53}} \quad (32)$$

Uvažavajući činjenicu da je još u toku druge, krajem 1969 godine završene dvogodišnje etape istraživanja sistematskog ispitivanja obradljivosti [1] bilo izvedeno istraživanje metodom habanja i prezentirane informacije i za razmatrani materijal i alat, moguće je da se u cilju poredjenja u Tablici 7 uporedno iznesu

Tablica 7

Korak noža s [mm/o]	Dubina rezanja [mm]							
	1	1,5	2	3	4	5	6	7
	Brzina rezanja $v_{60}$ [m/min]							
0,160	237 (181)	233 (168)						
0,200	217 (165)	214 (153)	211 (146)	208 (136)				
0,250	199 (150)	196 (140)	194 (133)	191 (123)				
0,315	181 (136)	179 (127)	177 (120)	174 (112)	172 (106)	171 (102)	169 (100)	168 (97)
0,400	165 (123)	163 (114)	161 (109)	158 (101)	157 (97)	155 (93)	154 (90)	153 (88)
0,500	151 (112)	149 (104)	147 (99)	145 (93)	143 (88)	142 (85)	141 (82)	140 (80)
0,630	138 (101)	136 (95)	134 (90)	132 (84)	131 (80)	130 (77)	129 (74)	128 (72)
0,800				120 (76)	119 (73)	118 (70)	117 (67)	117 (66)
1,000						108 (63)	107 (61)	107 (55)
1,200						101 (59)	100 (57)	99 (55)
1,400						95 (54)	94 (53)	94 (52)
1,600							89 (50)	89 (49)

podaci na osnovu oba programa; pritom su kao osnovni uneti podaci dobijeni metodom habanja <sup>x)</sup>, a u zagradi podaci izračunati prema jednačini (32) koja je dobijena temperaturskim postupkom.

x) Kompletni podaci za obradu na strugu čelika Č.4730 domaćim karbidnim alatima sadržani su u vidu tablice, proširenog obrasca i nomograma na listu 134.01 publikacije PRIRUCNIK IAMA - REŽIMI REZANJA, koja stoji na raspolaganju u potrebnom broju primeraka svim industrijskim partnerima u projektu sistematskog ispitivanja obradljivosti [1].

Poredjenje podataka u Tablici 7 pokazuje da su brzine dobijene metodom habanja 1,3 do 1,8 puta veće od onih koje daje temperaturska, pri čemu ta razlika raste sa porastom dubine rezanja i koraka noža. Ovako velike razlike, ukoliko ne bi bile posledica nekog sistematskog uticaja, mogle bi da bace u sumnju vrednost kratkog temperaturskog postupka u odnosu na, zasada se vauje, pouzdaniji klasični, dugotrajni i skupi postupak habanja. Uzrok koji je, medjutim, po efektu sličan zapaženim razlikama je uticaj nehomogenosti materijala pločice tvrdog metala po zapremini, pošto je zapaženo da sa brojem preoštravanja postojanost varira [3], odnosno znatno opada [15]. Eksperimenti metodom habanja u periodu 1968/69 godine bili su, naime, izvedeni sa potpuno novim pločicama, a nedavni, temperaturskom metodom, korišćenjem istih pločica, koje su, medjutim, do tada bile preoštravane i preko deset puta.

Iako je ovaj zaključak zasada samo kvalitativan, sigurno je da eliminisanje pretpostavljenog uticaja može da znatno poboljša podudarnost dvaju postupaka, što se i pokazuje u nastavljenim radovima koji su u toku. Dovoljna verifikacija pouzdanosti temperaturske metode, što autori i očekuju, mogla bi stoga da je učini ne samo varijantnim postupkom za skraćeno uporedno testiranje obradljivosti, sa istovremeno ograničenim mogućnostima predikcije, već i podesnom nadopunom klasičnog postupka, nepodesnog inače u rešavanju specifičnih slučajeva zbog veoma visoke cene i obeshrabrujuće dugog vremena neophodnog za eksperimentalni rad.

#### 4. Zaključak

Na završetku prve, po shvaćanju autora krucijalne, faze proveravanja mogućnosti za nov kratki postupak utvrđivanja obradljivosti pri rezanju korišćenjem temperaturskog signala iz zone kontakta radnih površina alata sa strugotinom, odnosno rezanjem upravo otkrivenom površinom obratka, moguće je da se iznesu sledeći zaključci:

- (i) Verovatno je da zasada ograničeno verifikovana hipoteza o približno jednakim srednjim temperaturama kontakta u zoni rezanja za iste postojanosti predstavlja solidnu osnovu za



razvoj temperaturske metode za ispitivanje obradljivosti prema konceptu iznetom u radu.

- (ii) Nova metoda se zasniva na kombinaciji veoma ograničenog (4 - 6) broja klasičnih eksperimenata habanjem i primenom striktnih statističkih postupaka minimiziranog broja (6-12) merenja srednje temperature primenom tehnike prirodnog termopara. Čime se u principu drastično smanjuju troškovi i vreme opita, uz verovatne znatne prednosti u odnosu na niz drugih kratkih postupaka većim približavanjem eksperimentalnog modela stvarnim fizičkim parametrima merodavnim za postojanost.
- (iii) Iako poredjenje dosadašnjih eksperimentalnih rezultata dobijenih klasičnom metodom habanja i temperaturskim postupkom pokazuju međusobne razlike i do 1,8 puta, čini se da je za to od osnovnog uticaja bilo opadanje rezne sposobnosti karbidne pločice usled prebrušavanja, na što ukazuju i dalji opiti koji su u toku. Uz postignuto dovoljno približavanje stvarnosti eliminacijom sistematskih faktora ove vrste, čini se da bi temperaturski postupak mogao da posluži kao ozbiljna nadopuna metode habanja, ako ne, u nešto daljoj perspektivi, i kao njena zamena.

## 5. Literatura

- [1] Kolektiv autora, Sistematsko ispitivanje obradljivosti - petogodišnja dostignuća i perspektive, Institut za alatne mašine i alate, Beograd (1969)
- [2] V. Šolaja, Ispitivanje postojanosti alata metodom poprečne obrade na strugu, Mašinstvo i elektrotehnika, 5(1956)ME 125
- [3] V. Milačić, V. Šolaja, Ekspresna metoda za određivanje postojanosti i broj oštrenja reznog alata, Saopštenja IAMA, 1 (1966) 65
- [4] Z. Seljak, Kratkotrajni preskus obstojnosti hitroreznih jekel s prečnim struženjem, Zbornik V Savetovanja proizvodnog mašinstva, Kragujevac (1969) II knjiga, str. OR.8.1
- [5] B. Ivković, Nova radioaktivna metoda za ispitivanje obradljivosti konstrukcijskih materijala i eksploatacijskih karakteristika višesečnih reznih alata, Zbornik V Savetovanja proizvodnog mašinstva, Kragujevac (1969) II knjiga, str. OR.10.1
- [6] V. Šolaja, Električne pojave pri obradi na strugu, Mašinstvo, 8 (1959) M. 134

- [7] D. Vukelja, Temperatura rezanja pri obradi na strugu, Zbornik I Savetovanja proizvodnog mašinstva, Beograd (1965) 17.1
- [8] D. Vukelja, Termodinamika rezanja, Monografije IAMA, 2 (1970)
- [9] D. Vukelja, Eksperimentalna termodinamika rezanja, Elaborat 131/70, Institut za alatne mašine i alate, Beograd (1970)
- [10] F. W. Taylor, On the Art of Cutting Metals, Trans. ASME (1901)
- [11] V. Šolaja, D. Vukelja, Prilog analizi uticaja nekih prop-  
ratnih pojava pri obradi na stabilnost rezanja, Saopštenja  
IAMA, 12 (1971)
- [12] R. A. Fischer, The Design of Experiments, Olive and Boyd,  
London (1949)
- [13] H. Young, Statistical Treatment of Experimental Data, Mc  
Graw Hill Co., N. York (1962)
- [14] E. V. Markova, Latinskie prjamougolniki i kubi v planiro-  
vani eksperimenta, Zavodska laboratorija (1968) No 7
- [15] D. Vukelja, J. Stanić, Rezultati ispitivanja obradljivos-  
ti pri obradi na strugu domaćih konstrukcijskih materija-  
la domaćim alatima, Elaborat 82/68, Institut za alatne ma-  
šine i alate, Beograd (1968)
- [16] N. A. Reznikov, Teplofizika rezanja, Mašinstvoenije, Mos-  
kva (1969)

#### DODATAK

U izradi plana eksperimenata polazi se od modela datog empirij-  
skom jednačinom (3), čije logaritmovanje daje

$$\ln \theta = \ln C_{\theta} + m' \ln v + x' \ln \delta + y' \ln s \quad , \quad (7)$$

ili podesnom zamenom

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 \quad , \quad (8)$$

pri čemu se parametri  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$  i  $b_3$  određuju obradom eks-  
perimentalnih rezultata metodom najmanjih kvadrata. Formira se  
stoga razlika kvadrata veličina koje su dobijene proračunom po-  
moću jednačine (3) i veličina koje su dobijene u eksperimentu,

$$(y - b_0 - b_1 x_1 - b_2 x_2 - b_3 x_3)^2 = \mathcal{M}^2 \quad , \quad (9)$$

gde je  $\mathcal{M}$  = greška eksperimenta.

Diferencijalnjem po parametrima  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$  i  $b_3$  i izjednača-  
vanjem sa nulom dobija se

$$\begin{aligned}
\sum \frac{\partial \mu}{\partial b_0} &= \sum (y - b_0 - b_1 x_1 - b_2 x_2 - b_3 x_3) = 0 \\
\sum \frac{\partial \mu}{\partial b_1} &= \sum (y - b_0 - b_1 x_1 - b_2 x_2 - b_3 x_3) x_1 = 0 \\
\sum \frac{\partial \mu}{\partial b_2} &= \sum (y - b_0 - b_1 x_1 - b_2 x_2 - b_3 x_3) x_2 = 0 \\
\sum \frac{\partial \mu}{\partial b_3} &= \sum (y - b_0 - b_1 x_1 - b_2 x_2 - b_3 x_3) x_3 = 0 .
\end{aligned} \tag{10}$$

Sredjivanjem se dolazi do sistema normalnih jednačina

$$\begin{aligned}
\sum b_0 + b_1 \sum x_1 + b_2 \sum x_2 + b_3 \sum x_3 &= \sum y \\
b_0 \sum x_1 + b_1 \sum x_1 x_1 + b_2 \sum x_1 x_2 + b_3 \sum x_1 x_3 &= \sum x_1 y \\
b_0 \sum x_2 + b_1 \sum x_1 x_2 + b_2 \sum x_2 x_2 + b_3 \sum x_2 x_3 &= \sum x_2 y \\
b_0 \sum x_3 + b_1 \sum x_1 x_3 + b_2 \sum x_2 x_3 + b_3 \sum x_3 x_3 &= \sum x_3 y
\end{aligned} \tag{11}$$

Uvodjenjem smena za članove pod znakom sume dobija se

$$\begin{aligned}
b_0 a_{11} + b_1 a_{12} + b_2 a_{13} + b_3 a_{14} &= B_0 \\
b_0 a_{21} + b_1 a_{22} + b_2 a_{23} + b_3 a_{24} &= B_1 \\
b_0 a_{31} + b_1 a_{32} + b_2 a_{33} + b_3 a_{34} &= B_2 \\
b_0 a_{41} + b_1 a_{42} + b_2 a_{43} + b_3 a_{44} &= B_3 .
\end{aligned} \tag{12}$$

Korišćenjem elemenata linearne (matrične) algebre, sistem (12) se piše kraće kao proizvod dveju matrica

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{vmatrix} x \begin{vmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} B_0 \\ B_1 \\ B_2 \\ B_3 \end{vmatrix} \tag{13}$$

U cilju pojednostavljenja prethodnih jednačina i njihovog rešavanja kodiraju se i izabiru promenljive eksperimenata pomoću

$$\begin{aligned}
x_1 &= 1 + 2 \frac{\ln v - \ln v_{\max}}{\ln v_{\max} - \ln v_{\min}} , \\
x_2 &= 1 + 2 \frac{\ln s - \ln s_{\max}}{\ln s_{\max} - \ln s_{\min}} , \\
x_3 &= 1 + 2 \frac{\ln \delta - \ln \delta_{\max}}{\ln \delta_{\max} - \ln \delta_{\min}} ,
\end{aligned} \tag{14}$$

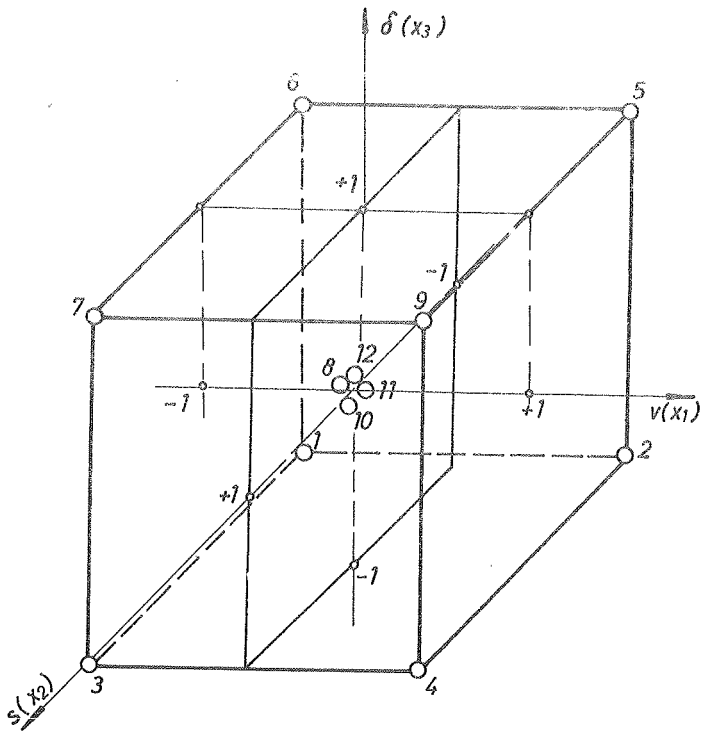
a rezultati su identični za sva tri parametra režima obrade: za maksimalni nivo,  $x_i = +1$ , za srednji,  $x_i = 0$ , i za minimalni  $x_i = -1$ , pri čemu je  $i = 1, 2, 3$ .

Sada je moguće da se u Tablici 2 izlože rezultati kodiranja za

Tablica 2

Nivo opita, položaj nezavisno promenljive	$v$ [m/min]	$\delta$ [mm]	$s$ [mm/o]	Kod normirane promenljive		
				$x_1$	$x_2$	$x_3$
maksimalni	160	2,25	0,500	+1	+1	+1
srednji	120	1,50	0,350	0	0	0
minimalni	90	1,00	0,250	-1	-1	-1

konkretne veličine parametara režima obrade koji se u eksperimentima variraju. Grafička interpretacija broja eksperimenata pomoću latinskog kuba je na slici 2, pri čemu su, zbog provere tačnosti faktornog eksperimenta  $2^3$  u tački (0,0,0) dodata još četiri opita.



Sl. 2. Grafički prikaz plana eksperimenata

Na osnovu slike 2 formirana je plan matrica eksperimenata izneta u Tablici 3, pri čemu su za prvu seriju odabrani opiti

Tablica 3

Broj opita	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>
1	1	-1	-1	-1
2	1	+1	-1	-1
3	1	-1	+1	-1
4	1	+1	+1	-1
5	1	+1	-1	+1
6	1	-1	-1	+1
7	1	-1	+1	+1
8	1	0	0	0
9	1	+1	+1	+1
10	1	0	0	0
11	1	0	0	0
12	1	0	0	0

$$X = \begin{vmatrix} 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & +1 & +1 & -1 \\ 1 & +1 & -1 & +1 \\ 1 & -1 & +1 & +1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \begin{matrix} 1 \\ 4 \\ 5 \\ 7 \\ 8 \\ 12 \end{matrix} \quad (15)$$

U pogledu redosleda izvodjenja opita, matrice su tako komponovane da su randomizacijom dobijene ortogonalne matrice, koje omogućavaju da se množenjem sa svojom transponovanom matricom dobija dijagonalna. Na ovaj se način uprošćava obrada rezultata, a dobija se

$$(X^{\circ}.X) = \begin{vmatrix} 6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4 \end{vmatrix} \quad (16)$$

čime se olakšava rešavanje sistema od četiri normalne jednačine (12) i (13).

Pošto je ona dijagonalna, inverzna matrica za (16) je

$$(X^{\circ}.X)^{-1} = \begin{matrix} 1/6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/4 \end{matrix} \quad (17)$$

Prema tome su izrazi za nepoznate parametre  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$  i  $b_3$  u matričnom obliku

$$\begin{matrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{matrix} = \begin{vmatrix} 1/6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/4 \end{vmatrix}^x \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & +1 & +1 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & +1 & -1 & +1 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & +1 & +1 & 0 & 0 \end{vmatrix}^x \begin{matrix} y_1 \\ y_4 \\ y_5 \\ y_7 \\ y_8 \\ y_{12} \end{matrix} \quad (18)$$

i na osnovu toga proizilazi za prvu seriju opita

$$\begin{aligned}
 b_0 &= \frac{1}{6} (y_1 + y_4 + y_5 + y_7 + y_8 + y_{12}) \\
 b_1 &= \frac{1}{4} (-y_1 + y_4 + y_5 - y_7) \\
 b_2 &= \frac{1}{4} (-y_1 + y_4 + y_5 + y_7) \\
 b_3 &= \frac{1}{4} (-y_1 - y_4 + y_5 + y_7)
 \end{aligned}
 \tag{19}$$

gde je  $y$  = prirodni logaritam temperature, a indeks označava broj eksperimenta.

Dobijeni rezultati se iznose u Tablici 4, dok su na osnovu jed-

Tablica 4

Broj opita	Serija opita	PLAN MATRICA EKSPERIMENATA							Rezultati	
		v	s	$\delta$	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$\theta$	$\ln \theta$
		Parametri režima obrade			Kod eksperimenta					
1	Prva	90	0,25	1,00	1	-1	-1	-1	600	6,40
2	Druga	160	0,25	1,00	1	+1	-1	-1	900	6,80
3	Druga	90	0,50	1,00	1	-1	+1	-1	700	6,55
4	Prva	160	0,50	1,00	1	+1	+1	-1	1200	7,08
5	Prva	160	0,25	2,25	1	+1	-1	+1	950	6,85
6	Druga	90	0,25	2,25	1	-1	-1	+1	650	6,48
7	Prva	90	0,50	2,25	1	-1	+1	+1	720	6,58
8	Prva	120	0,35	1,50	1	0	0	0	750	6,62
9	Druga	160	0,50	2,25	1	+1	+1	+1	1250	7,12
10	Druga	120	0,35	1,50	1	0	0	0	720	6,58
11	Druga	120	0,35	1,50	1	0	0	0	710	6,56
12	Prva	120	0,35	1,50	1	0	0	0	750	6,60

načine (19) i Tablice 4 dobijene vrednosti parametara  $b_0 = 33,51/6 = 6,7$ ,  $b_1 = 0,97/4 = 0,242$ ,  $b_2 = 0,39/4 = 0,097$  i  $b_3 = 0,25/4 = 0,0625$ .

Prelaskom na prvobitne koordinate, pri čemu se ne iznosi detaljna računica, dobijeno je  $b_0 = 3,130$ ,  $b_1 = 0,820$ ,  $b_2 = 0,295$  i  $b_3 = 0,025$ , što omogućava da se zavisnost temperature od režima rezanja iskaže jednačinom

$$\theta = 23 v^{0,820} s^{0,295} \delta^{0,025} \tag{20}$$

U Tablici 5 iznose se proračuni temperature primenom jednačine (20) za prvu seriju od šest opita iz prethodne Tablice.

U Tablici 5 su iznete i proračunate takodje i širine intervala poverenja, pri čemu se u daljem tekstu daju neophodna objašnjenja.

Tablica 5

Broj opita	Stvarne vrednosti		Vrednost $\theta$ dobijena proračunom	$(y - \hat{y})$	$(y - \hat{y})^2$	Interval poverenja	
	$\theta$	$\ln \theta$				$y = \ln \theta$	95% $\delta$
1	600	6,40	611	0,02	0,0004	6,42	121 - 1101
4	1200	7,08	1200	0,01	0,0001	7,09	710 - 1690
5	950	6,85	1000	0,06	0,0036	7,91	510 - 1490
7	720	6,58	765	0,14	0,0196	6,64	648 - 1068
8	750	6,62	858	0,14	0,0196	6,76	648 - 1068
12	750	6,62	863	0,16	0,0256	6,78	653 - 1073

Respektujući verovatnostni karakter procesa, tačnost dobijene jednačine (20) ocenjuje se proračunom intervala poverenja, a na osnovu odabranog nivoa značajnosti.

Veličina greške logaritama temperatura određuje se preko

$$y \pm t_{f, \alpha} \sqrt{\hat{\sigma}^2 (v)^2}, \quad (21)$$

koji se koristi i za određivanje intervala poverenja

$$p \left\{ \left[ y - t_{f, \alpha} \sqrt{\hat{\sigma}^2 (\hat{y})} \right] \leq \ln \theta \leq \left[ y + t_{f, \alpha} \sqrt{\hat{\sigma}^2 (\hat{y})} \right] \right\} = 1 - \alpha \quad (22)$$

gde je  $\hat{y}$  = prirodni logaritam temperature prema jednačini (2),  $t_{f, \alpha}$  = koeficijent određen preko statistike Fischer-a [12], a na osnovu broja stepeni slobode  $f$  i nivoa značajnosti  $(1 - \alpha)$ ,  $\hat{\sigma}^2 (\hat{y}) = C_{ii} S^2$  = disperzija veličine  $\hat{y}$ ,  $C_{ii}$  = element  $i$ -te kolone i  $i$ -te vrste matrice  $(X' \cdot X)^{-1}$ ,  $S^2 = \sum (y - \hat{y})^2$  = disperzija razlika teorijskih i eksperimentalnih vrednosti temperatura.

Proračun u Tablici 4 je izveden za slučaj nivoa značajnosti  $(1 - \alpha) = 0,95$ .

Za prvih šest opita i za pet stepeni slobode,  $S = 0,0342$ , dok je standardna devijacija

$$\text{za } 1, 4, 5 \text{ i } 7 \text{ opit } \hat{\sigma}^2 (\hat{y}) = (1/6 + 1/4 + 1/4 + 1/4) S^2 = 11/12 S^2,$$

$$\text{za } 8 \text{ i } 12 \text{ opit } \hat{\sigma}^2 (\hat{y}) = (1/6 + 0 + 0 + 0) S^2 = 1/6 S^2, \quad (23)$$

te je na osnovu toga interval poverenja za nivo značajnosti 95% i pet stepeni slobode ( $f = 5$ ,  $\alpha = 0,05$ )

$$\text{za } 1, 4, 5 \text{ i } z \text{ opit } \hat{y} \pm 0,760,$$

$$\text{za } 8 \text{ i } 12 \text{ opit } \hat{y} \pm 0,326.$$

Sem toga izvodi se i ocena tačnosti konstanti  $b_i$  ( $i = 0,1,2,3$ )

jednačine (8), tačnost eksperimenta i neadekvatnost odabranog modela.

Za ocenu tačnosti dobijenih rezultata koristi se statistika Fischer-a, preko analize njihove disperzije i poredjenjem te disperzije sa disperzijom u centralnoj tački (0, 0, 0).

(i) Disperzija konstante i eksponenata

$$S_{b_i} = b_i \sum X_i \cdot Y$$

$$S_{b_0} = b_0 \sum Y_0 \cdot Y = 6,7(6,4+7,08+6,85+6,58+6,62+7,8) = 274$$

$$S_{b_1} = b_1 \sum X_1 \cdot Y = 0,242(-6,4+7,08-6,85+6,58) = 0,10$$

$$S_{b_2} = b_2 \sum X_2 \cdot Y = 0,097(-6,4+7,08+6,85-6,58) = 0,092$$

$$S_{b_3} = b_3 \sum X_3 \cdot Y = 0,0625(-6,4-7,08+6,85+6,58) = 0,003$$

(ii) Disperzija rezultata opita u tački (0, 0, 0)

$$S_e = \sum_{i=1}^{n_0} y_{oi}^2 - \frac{1}{n_0} (\sum y_{oi})^2 = 6,62^2 + 6,60^2 - \frac{1}{2} (6,62 + 6,60)^2 = 0,0024$$

(iii) Ocena efekta značajnosti

$$b_0, F_{1,1} = S_{b_0}/S_e = 128.000$$

$$b_1, F_{1,1} = S_{b_1}/S_e = 39,4$$

$$b_2, F_{1,1} = S_{b_2}/S_e = 41,8$$

$$b_3, F_{1,1} = S_{b_3}/S_e = 1,29$$

(iv) Ocena neadekvatnosti matematičkog modela

$$S_1 = \sum (y - \hat{y})^2 - \sum_{n=1}^{n_0} (y_{oi} - y_0)^2 = 0,0597 - 0,0002 = 0,0595$$

$$F_{1,2} = 0,0595/0,0024 = 24,8$$

$$F_{1,2} < F_t \quad (F_t = \text{tablična vrednost [12]}) .$$

Sa izvedenom analizom disperzije može se utvrditi da odabrani matematički model odgovara, međjutim, usled nedozvoljeno velike širine intervala poverenja izvedena je i druga serija od šest opita, odgovarajuće označena u Tablici 4, koja se sada sa opitima iz prve serije objedinjava u jedinstveni sistem.

Uz isto rezonovanje kao i pri obradi rezultata prve serije izno-



si se:

Ortogonalna plan matrica

$$X = \begin{vmatrix} 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & +1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & +1 & -1 \\ 1 & +1 & +1 & -1 \\ 1 & +1 & -1 & +1 \\ 1 & -1 & -1 & +1 \\ 1 & -1 & +1 & +1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & +1 & +1 & +1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \quad (24)$$

Transponovana matrica

$$X' = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & +1 & -1 & +1 & +1 & -1 & -1 & 0 & +1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & +1 & +1 & -1 & -1 & +1 & 0 & +1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & +1 & +1 & +1 & 0 & +1 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \quad (25)$$

Proizvod plan i transportovane matrice

$$(X'X) = \begin{vmatrix} 12 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 8 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 8 \end{vmatrix} \quad (26)$$

Izrazi za konstantu i eksponente u matričnom obliku

$$b = (X'X)^{-1} \cdot X'X \quad (27)$$

$$\begin{vmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{1}{12} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{8} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{8} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{8} \end{vmatrix}^{-1} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & +1 & -1 & +1 & +1 & -1 & -1 & 0 & +1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & +1 & +1 & -1 & -1 & +1 & 0 & +1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & +1 & +1 & +1 & 0 & +1 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ \vdots \\ y_{11} \\ y_{12} \end{vmatrix} \quad (28)$$

Na osnovu eksperimentalnih i računskih rezultata iznetih u Tablici 6 dobijene su za veličine  $b_i$  ( $i = 0, 1, 2, 3$ ) i prelaskom na prvobitne koordinate sledeće vrednosti:  $b_0 = 3,095$ ,  $b_1 = 0,807$ ,  $b_2 = 0,286$  i  $b_3 = 0,062$ , što omogućava da se za ovaj slučaj zavisnost temperature od režima rezanja iskaže jednačinom

$$\theta = 22,5 v^{0,807} s^{0,286} \delta^{0,062} \quad (29)$$

Proračun širine intervala poverenja izveden je kao i za prvu seriju opita na osnovu izraza (21) i iznet u tablici 6. Analogno ranijem:

Tablica 6

Red. broj	$\theta$	$\ln \theta$	$\hat{y}$	$y - \hat{y}$	$(y - \hat{y})^2$	Širine inter- vala poverenja
1	600	6,40	6,32	0,08	0,0064	510 - 600
2	900	6,80	6,98	0,18	0,0324	1000 - 1120
3	700	6,55	6,52	0,03	0,0009	640 - 715
4	1200	7,08	6,98	0,10	0,0100	1000 - 1120
5	950	6,85	6,82	0,03	0,0009	840 - 990
6	650	6,48	6,36	0,12	0,0144	550 - 610
7	720	6,58	6,78	0,20	0,0400	820 - 940
8	750	6,62	6,67	0,05	0,0025	750 - 820
9	1250	7,12	7,02	0,10	0,0100	1060 - 1200
10	720	6,58	6,67	0,09	0,0081	750 - 820
11	710	6,56	6,67	0,11	0,0121	750 - 820
12	750	6,60	6,67	0,07	0,0049	750 - 820

(i) Disperzija konstante i eksponenata

$$S_{b_0} = 6,67 \cdot 86,22 = 575$$

$$S_{b_1} = 0,23 \cdot 1,74 = 0,400$$

$$S_{b_2} = 0,1 \cdot 0,8 = 0,08$$

$$S_{b_3} = 0,062 \cdot 0,2 = 0,012$$

(ii) Disperzija rezultata opita u tački (0, 0, 0)

$$S_e = (6,58^2 + 6,56^2 + 6,60^2 + 6,62^2) - \\ - \frac{1}{4} (6,58 + 6,56 + 6,60 + 6,62)^2 = 0,002$$

(iii) Ocena efekta značajnosti

$$b_0, F_{1,1} = 575/0,002 = 287.500$$

$$b_1, F_{1,1} = 0,4/0,002 = 200$$

$$b_2, F_{1,1} = 0,08/0,002 = 40$$

$$b_3, F_{1,1} = 0,012/0,002 = 6$$

(iv) Ocena neadekvatnosti matematičkog modela

$$S_1 = 0,1446$$

$$F_{1,2} = 0,1446/0,016 = 9$$

$$F_{1,2} < F_t$$

Intervali poverenja kod proširene (objedinjene) serije su uži, a takodje su smanjene disperzije, usled čega je svakako tačnost parametara  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$  i  $b_3$ , i njihova pouzdanost u praktičnim proračunima veća.

The Determination of Machinability via Cutting Temperature

Following the earlier attempts by the authors in the fields of thermo-e.m.f. generated at the seat of cutting [6] and thermodynamics of cutting [7], [8], [9], and in respect to the ambitious programme in machinability research carried out at the Institute for Machine Tools and Tooling in Beograd, the concept of a short test is being proposed in the paper, based on the assumption that, in otherwise identical conditions, the mean temperature of cutting is nearly constant for the same tool-life, and does not depend greatly on speed, feed and depth of cutting. Some experimental evidence to back up this hypothesis is given in Table 1, and the authors propose connections between the temperature equation (3) and cutting speed equation (4), leading to the determination of the constant and exponents via equations (5) and (6). By the use of Fisher's and Student's statistics, reproduced to the necessary extent in Appendix, the limited number of classical wear experiments (4 to 6, Fig. 1) have been combined with further 6 to 10 tests in which mean temperature of cutting was measured [expressions (7) - (28), Tables 2 - 6], and the cutting temperature equation (29) and the cutting speed equation (30) have been obtained. Some discrepancies observed when the results in classical wear experiments have been compared with the present (Table 7) may be attributed to the influence of the resharpener of the carbide tool-bit. Further research in progress at the Institute aims at a reliable verification of the new promising method, which might serve as an appropriate addition to the classical and modern arsenal of machinability testing.



D. Vukelja, M. Jovičić, V. Simonović x)

JEDAN NAČIN ZA SNIŽENJE TEMPERATURE BRUŠENJA PRI ZAVRŠNOJ  
OBRADI ALATA OD BRZOREZNOG ČELIKA xx)

## 1. Uvod

Pri završnom brušenju alata od brzoreznog čelika, usled pojave visoke temperature u zoni rezanja, dolazi do strukturnih promena u površinskom sloju brušene površine, što se nepovoljno odražava na postojanost alata. Kako su ranije ispitivanja pokazala [1], ove pojave su naročito izražene pri produžnom brušenju, pošto se tada temperatura u zoni brušenja povećava i radi smanjenja rezne sposobnosti tocila (zatupljenje reznih elemenata zrna sredstva za brušenje, lepljenje čestica metala na radnoj površini tocila - začepljenje pora).

Valja istaći da se u uslovima brušenja brzoreznog čelika sa konvencionalnim tocilima, sa elektrokorundom ili silicijum karbidom kao sredstvom za brušenje, praktično ne može izbeći pojava strukturnih promena u površinskom sloju brušene površine, već se na izvesne načine može umanjiti njihov intenzitet, a time smanjiti i njihovo štetno dejstvo na postojanost alata. Ovo se može postići već poznatim načinima: preko izbora režima brušenja i karakteristike tocila (mada je pri tome teško naći optimalno rešenje za izbegavanje strukturnih promena i ostvarivanje visok-

---

x) Dr. Dušan Vukelja, dipl.ing., samostalni saradnik Instituta, docent Mašinskog fakulteta u Sarajevu, Mgr. Milenko Jovičić, dipl.ing., docent Mašinskog fakulteta u Beogradu, saradnik Instituta, Velimir Simonović, dipl.mat., asistent Mašinskog fakulteta, Beograd

xx) Saopštenje iz Instituta za alatne mašine i alate, Beograd, odnosi se na istraživanja u okviru projekta "Istraživanje reznih i steznih alata u čijem finansiranju učestvuju Savezni fond za finansiranje naučnih delatnosti, Republička zajednica za naučni rad SR Srbije i privredne organizacije.

kog kvaliteta brušene površine), primenom sredstva za hladjenje pri brušenju, kao i u poslednje vreme sve šire primenjivanom primenom tocila sa nekontinualnom radnom površinom.

Primenom tocila sa nekontinualnom radnom površinom, tj. tocila sa žljebovima na radnoj površini, može se postići znatno sniženje temperature brušenja, a time i smanjenje intenziteta strukturalnih promena u površinskom sloju brušene površine. Pored primene kod oštrenja alata, ovaj način sniženja temperature brušenja nalazi sve širu primenu i pri produkcionom brušenju [2], [3].

U radu se daje teorijski proračun temperature brušenja pri radu sa tocilima sa nekontinualnom radnom površinom i prikazuju neki eksperimentalni rezultati, dobijeni u toku uporednog ispitivanja procesa brušenja brzoreznog čelika elektrokorundnim tocilima sa kontinualnom i nekontinualnom radnom površinom.

## 2. Prethodna razmatranja

Pri obradi brušenjem generiše se u zoni rezanja znatna količina toplotne energije, koja nastaje usled plastičnog deformisanja materijala koji se obradjuje pod dejstvom zrna sredstva za brušenje i njihovog trenja o površinu rezanja. Razvijena toplotna energija koncentriše se u vrlo maloj zapremini što dovodi do pojave visokih temperatura u površinskom sloju, usled čega nastaju promene strukture materijala (promena tvrdoće) i druge pojave, kao što su razugljenisanje, unutrašnja naprezanja, naprsline i drugi efekti, koji nepovoljno utiču na eksploatacijska svojstva dela, odnosno postojanost alata.

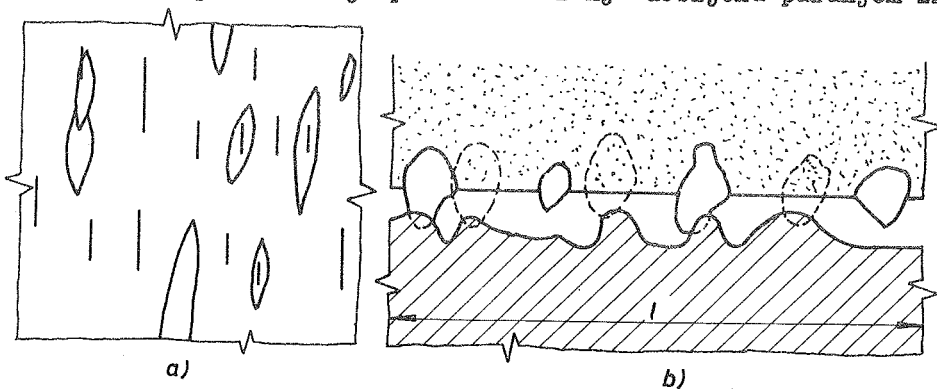
Primenom tocila sa žljebovima na radnoj površini snižava se temperatura brušenja, a time umanjuje intenzitet pomenutih pojava u površinskom sloju brušene površine. Povoljan uticaj tocila sa žljebovima na radnoj površini na sniženje temperature brušenja objašnjava se većim stepenom obnavljanja zrna (jače izraženim efektom samooštećenja), dejstvom žljebova na skraćenje vremena kontakta, tj. vremena generisanja toplote, a delimično i ventilacijskim delovanjem žljebova, usled čega se ubrzava odvodjenje toplote iz zone rezanja.

### 3. Analiza toplotnih pojava i proračun temperature brušenja

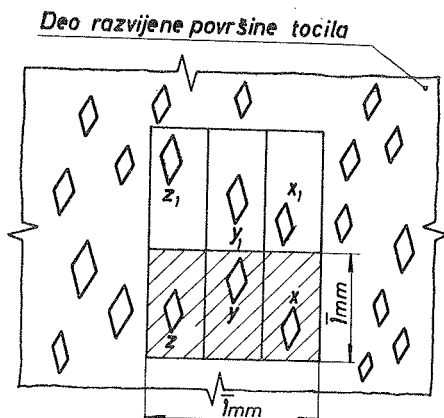
Kao osnova za proračun temperature brušenja korišćen je model diskretnog dodira tocila i površine brušenja, pri čemu kontakt svakog zrna sredstva za brušenje predstavlja izvor toplotne energije. Zrna su pritom neravnomerno raspoređena po površini i zapremini te ne učestvuju u rezanju istovremeno.

Da bi se prišlo proračunu temperaturnog polja pri brušenju neophodno je da se odredi položaj zrnaca u prostoru, kao i njihov raspored, odnosno distribucija.

Na slici 1. prikazana je površina rezanja dobijena paranjem zr-



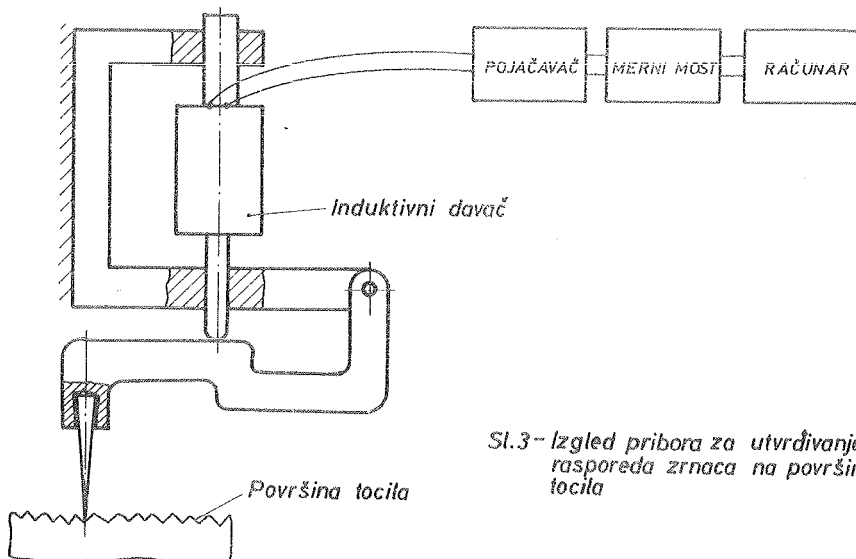
Sl.1-Shematski izgled načina nastajanja površine rezanja brušenjem  
a-površina brušenja ; b-presek tocila i površine brušenja



Sl.2-Radna površina tocila

naca tocila po površini rezanja (slučaj ravnog brušenja) a na slici 2, dat je izgled radne površine tocila.

Raspored zrnaca tocila za oštro i tupo tocilo određivan je pomoću pribora datog na slici 3, koji se sastoji od igle čiji se vrh kreće po površini tocila, a podiže preko poluge inductivni davač, koji je dalje spojen sa pojačavačem i statističkim računarom.



Sl.3- Izgled pribora za utvrđivanje rasporeda zrnaca na površini tocila

Dobijeni rezultati (korelaciona funkcija i spektar gustina zrnaca) dati su na slikama 4, 5, 6 i 7 za oštro i zatupljeno tocilo. Na slici 8 date su vremenske funkcije dobijene snimanjem radne površine tocila.

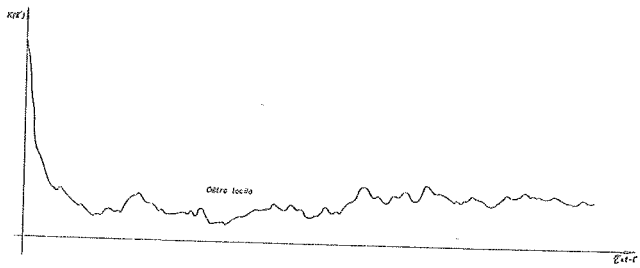
Za ove funkcije nije poznat matematički izraz. Medjutim, i bez njega moguće je da se izvrši diskusija dobijenih dijagrama korišćenjem već poznatih izraza za korelacione funkcije i spektar gustine amplitude. Prema [4] korelacione funkcije mogu da se aproksimiraju izrazima

$$K_1(t) = \delta^2 e^{-\alpha|t|} ,$$

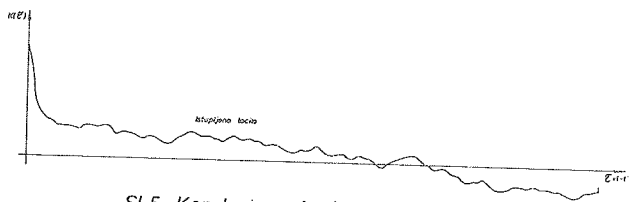
$$K_2(t) = \delta^2 e^{-\alpha|t|} \cdot \left( \cos \beta t \pm \frac{\alpha}{\beta} \sin \beta |t| \right) ,$$

ka i nekim drugim [4].

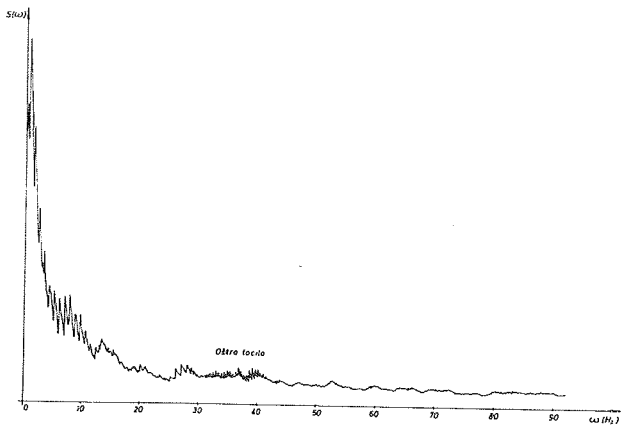




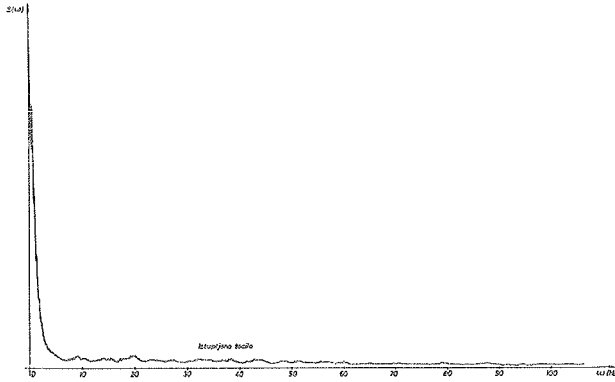
Sl.4 --Korelaciona funkcija



Sl.5-Korelaciona funkcija



Sl.6-Spektar gustine zrnaca



Sl. 7 - Spektar gustine zrnaca

Odgovarajući izraz za spektar gustine amplituda za te funkcije je

$$S_1(\omega) = \frac{\sigma^2}{\pi} \cdot \frac{\alpha}{\omega^2 + \alpha^2},$$

$$S_2(\omega) = \frac{\sigma^2}{2\pi} \left[ \frac{\alpha}{\alpha^2 + (\omega + \beta)^2} + \frac{\alpha}{\alpha^2 + (\omega - \beta)^2} \right] + \frac{\sigma^2}{2\pi} \cdot \frac{\alpha}{\beta} \left[ \frac{\alpha\omega}{\alpha^2 + (\omega + \beta)^2} - \frac{\alpha\omega}{\alpha^2 + (\omega - \beta)^2} \right].$$

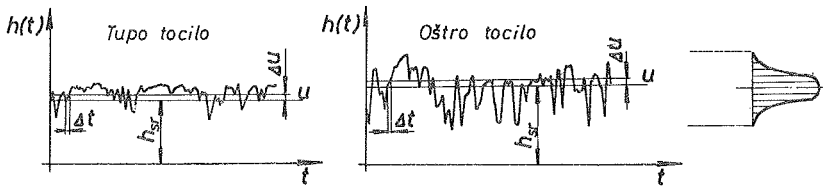
U prvom slučaju ponašanje korelacione funkcije zavisi od faktora  $\alpha$ . Za veliko  $\alpha$  korelaciona funkcija veoma brzo teži nuli, usled čega zavisnost  $t$  i  $t^2$  brzo iščezava, a raspored zrnaca je haotičniji, kod manjeg  $\alpha$  to se odvija sporije.

Spektar gustine zrnaca je u tim slučajevima: kod manjeg  $\alpha$  gustina je veća u oblasti manjih učestanosti, a sa porastom  $\alpha$  spektar postaje ujednačeniji i ne prevladavaju niže učestanosti.

Ponašanje korelacione funkcije  $K_2$  zavisi od odnosa veličine  $\alpha$  i  $\beta$ . Kod većeg  $\alpha$  dolazi do brze amortizacije oscilacija.

S obzirom da zrnca predstavljaju toplotne izvore (zrnca koja su

trenutno u kontaktu), ponašanje ovih funkcija odgovara ponašanju generisanja toplotne energije, a time i načinu nastajanja temperaturnih polja.



Sl.8 -Vremenska funkcija (profil radne površine tocila)

Broj zrnaca na jedinici dužine ili jedinici površine može se odrediti ako se povuče horizontalna linija (pod određenim uslovima), koja se da seče profil tocila, slika 8, pri čemu broj preseka profila predstavlja broj zrnaca. Sa  $h(t)$  je pritom obeležena funkcija profila tocila, slika 8.

Broj preseka krive  $h(t)$  sa pravom  $u$  u intervalu  $(u + \Delta u)$  bira se tako da ne bude nula funkcije  $h'(t)$ .

Da bi se izvela matematička analiza uvodi se slučajna funkcija

$$\eta(t, \Delta u) = \begin{cases} 1 & \text{ako je } u \leq h(t) < u + \Delta u \\ 0 & \text{ako je } h(t) < u \end{cases}$$

Između pravih  $u$  i  $u + \Delta u$  leže delovi profila, tj. u svakoj tački tog profila je  $\eta(t, \Delta u) = 1$ .

Prema slici 10 važi

$$|t_i| = \int_{t_i}^{t_i'} \eta(t, \Delta u) dt \quad \Delta t_i = t_i' - t_i$$

pa je u vezi s tim,

$$\sum t_i = \int_0^t \eta(t, \Delta u) dt, \quad i - \text{ broj preseka profila sa linijom } u.$$

Ako je  $\Delta u$  malo tada se dužina  $|t_i|$  može približno predstaviti izrazom

$$|t_i| = \frac{\Delta u}{|h'(t)|}$$

Na osnovu toga, broj presečnih tačaka linije profila sa pravom  $u$  je

$$n(u) = \lim_{\Delta u \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta u} \int_0^t \eta(t, \Delta u) |h'(t)| dt .$$

Matematičko očekivanje broja preseka je

$$E(n(u)) = E \lim_{\Delta u \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta u} \int_0^t \eta(t, \Delta u) |h'(t)| dt .$$

Imajući u vidu osobinu, da se može promeniti redosled izvodjenih operacija, dobija se

$$E(n(u)) = \lim_{\Delta u \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta u} \int_0^t E \eta(t, \Delta u) |h'(t)| dt .$$

Kod proračuna matematičkog očekivanja važno je sledeće napomenuti:

- (i) analizuje se neprekidni proces, usled čega korelaciona funkcija ima izvode svih redova,
- (ii) ako stacionarni proces  $\xi(t)$  ima korelacionu funkciju  $K\xi(t)$  tada stacionarni proces ima korelacionu funkciju,
 
$$K\xi''(t) = -d^2 K\xi(t)/dt^2 = -K\xi''(t)$$
- (iii) izvod od normiranog stacionarnog procesa je normalni stacionarni proces, pri čemu su slučajne veličine  $\xi(t)$  i  $\xi'(t)$  nezavisne.

Ako je zadovoljen uslov

$$E(\eta(t, \Delta u)) = P(u \leq h(t) \leq u + \Delta u)$$

i  $h(t)$  ima normalnu raspodelu, tada je

$$E(\eta(t, \Delta u)) = \phi\left(\frac{u + \Delta u}{\sigma}\right) - \phi\left(\frac{u}{\sigma}\right) .$$

Respektujući da  $h_t$  i  $h'_t$  predstavljaju stacionarne procese dobija se da je

$$\begin{aligned} E(n(u)) &= \lim_{\Delta u \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta u} \left[ \phi\left(\frac{u + \Delta u}{\sigma}\right) - \phi\left(\frac{u}{\sigma}\right) \right] 2 \sqrt{\frac{K h''(t)}{2}} t = \\ &= \frac{1}{\sigma} \sqrt{\frac{-K h''(0)}{\sigma}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} . \end{aligned}$$

matematičko očekivanje broja preseka sa srednjom linijom profila je

$$E(n(0)) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{-Kh''(0)}{6}} t .$$

Lako se pokazuje da je

$$G^2 = \frac{-u^2}{\frac{2 \ln u E(n(u))}{E(n(0))}}$$

Ako je nivo preseka  $u$  takav da je

$$\frac{E(n(u))}{E(n(0))} = 0,6065 ,$$

pri čemu je  $E(n(u))$  broj preseka profila sa linijom  $u$  (slika 10) i  $E(n(0))$  broj preseka profila sa srednjom linijom profila.

Korišćenjem ovoga iznosa došlo se do broja zrna koji se nalaze na dužini ( $t$ ) u kontaktu <sup>x)</sup>.

Za točilo koje je ispitivano, i sa kojim su kasnije vršeni opiti dobijen je broj zrnaca  $3,62/\text{mm}^2$  <sup>xx)</sup>, što se veoma dobro slaže sa rezultatima drugih autora [5]. Valja očekivati da je isti raspored i u radijalnom smeru.

x) Vršeno je određivanje broja zrna koji se nalaze u kontaktu pri čeonom brušenju lončastim točilom. Zanemarena je pri tome krivina točila, tj. sva zrna poseduju jednaku brzinu rezanja.

xx) Kod određivanja broja zrna po jedinici površine pošlo se od opšteg izraza za korelacionu funkciju

$$K(t) = G^2 \cdot e^{-\alpha|t|} \left( \cos \beta t + \frac{\alpha}{\beta} \sin \beta|t| \right) \quad (t = \ell - \text{lučna dužina točila}).$$

Očigledno da je za  $t = 0$ ,  $K(0) = G^2$ . Korišćenjem dijagrama (slika 4 i 6) nalazi se grafičkim diferenciranjem iste korelacione funkcije drugi izvod u tački  $t=0, t_1, K''(0)$ . Sa tom vrednošću ulazi se u jednačinu

$$E(n(0)) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{-K h''(0)}{6}} t$$

čime se dobija  $E(n(u)) = 0,6065 E(n(0))t$ .

Snimanjem sa dijagrama 4, 5 dobijene su sledeće vrednosti

$K(0) = G^2 = 5,8$  (tupo točilo);  $G^2 = 8$  za oštro točilo;  
 $K''(0) = -65$  za tupo točilo i  $K''(0) = -100$ , za oštro točilo.

$$E(n(0)) = 1,65 \cdot t$$

$$E(n(u)) = 1,9 \cdot t .$$

Na sličan način dolazi se do broja zrnaca u radijalnom pravcu. Prema tome, ukupan broj zrnaca na jedinicu površine iznosi

$$E(n(u)) \cdot E'(n(u)) = 1,9 \cdot 1,9 = 3,62 \text{ zrna}/\text{mm}^2 .$$

S obzirom da nam je poznat raspored zrnaca, proračun temperatura brušenja izvršen je za tri slučaja:

- (i) proračun temperatura pri brušenju točilom sa kontinualnom radnom površinom, bez hladjenja,
- (ii) pri brušenju točilom sa žljebovima na radnoj površini, bez hladjenja, i
- (iii) pri brušenju sa hladjenjem.

Prema [1] izraz za temperaturu brušenja kada se nalazi u kontaktu jedno zrno je

$$\Theta(x, y, z, t) = \frac{q \cdot m}{4 \cdot c \cdot \gamma (\sqrt{\pi} a)^{3/2}} \exp\left(\frac{v x}{2a^2}\right) \cdot \int_0^t \frac{dt}{(t_0 + t)^{3/2}} \exp\left\{ \frac{(x-x')^2 + (y-y')^2 + z^2}{4a^2(t_0 + t)} + \frac{v^2(t_0+t)}{4a^2} \right\} \left[ 1 - \phi\left(-\frac{z}{2} \sqrt{\frac{t_0}{a^2 t(t_0+t)}}\right) \right]$$

gde je  $v$  = brzina kretanja zrna po predmetu,  $t_0$  = vremenska konstanta zrna,  $c$  = specifična toplotna energija,  $\gamma$  = specifična težina materijala koji se obradjuje,  $a$  = koeficijent termičke difuzije,  $\lambda$  = koeficijent provodjenja toplotne energije.

Superponiranjem delovanja svih zrna, ukoliko ih ima više u kontaktu, izraz za temperaturu brušenja je u tim uslovima <sup>x)</sup>

$$\Theta(x, y, z, t) = \frac{q \cdot m}{4 c \gamma (\sqrt{\pi} a)^{3/2}} \sum_{m=0}^M \sum_{n=0}^N \exp\left(-v \left(\frac{x - \sum_{i=0}^N b_i}{2a^2}\right)\right) \int_0^t \frac{dt}{(t_0+t)^{3/2}} \cdot \exp\left\{ \frac{\left(x - \sum_{i=0}^N b_i\right)^2 + \left(y - \sum_{i=0}^M c_i\right)^2 + z^2}{4a^2(t_0 + t)} + \frac{v^2(t_0+t)}{4a^2} \right\} \left[ 1 - \phi\left(\frac{z}{2} \sqrt{\frac{t_0}{a^2 t(t_0+t)}}\right) \right]$$

<sup>x)</sup> Kod proračuna temperatura brušenja za točilo sa žljebovima vreme generisanja toplotne energije umanjivano je pomoću koeficijenta čeonih površina točila sa žljebovima prema površini točila bez žljebova

$$t' = t \frac{A_1}{A_2} = 0,62 \cdot t$$

Pri brušenju uz primenu sredstva za hladjenje izraz za temperaturu brušenja je

$$\theta(x, y, z, t) = \frac{2q}{c\gamma(4\pi a^2)^3} \sum_{m=0}^M \sum_{n=0}^N \int_0^{\infty} dz' \int_{-\infty}^{\infty} dx' \int_{-\infty}^{\infty} dy' \cdot$$

$$\cdot \int_0^{t'} d\tau \frac{1}{(t_0 + \tau)^{3/2}} \frac{1}{(t_0 - \tau)^{3/2}} \exp - \frac{(x'^2 + y'^2 + z'^2)}{4a^2(t_0 + \tau)} \cdot$$

$$\cdot \exp \frac{(x-x'-v\tau - \sum_{i=0}^N b_i)^2 + (y-y' - \sum_{i=0}^M c_i)^2 + (z-z')^2}{4a^2(t - \tau)}$$

$$\cdot \left\{ 1 - \frac{\alpha}{\lambda} \sqrt{a^2(t - \tau)} \cdot \left[ 1 - \phi\left(\frac{z - z'}{2\sqrt{a^2(t - \tau)}}\right) + \right. \right.$$

$$\left. \left. + \frac{\alpha}{\lambda} \sqrt{a^2(t - \tau)} \cdot e^{-\frac{z - z'}{2\sqrt{a^2(t - \tau)}}} + \frac{\alpha}{\lambda} \sqrt{a^2(t - \tau)} \right] \right\}$$

U datim jednačinama značenje oznaka je:

$\theta$  = temperatura,  $x, y, z$  = tekuće koordinate,  $t$  = vreme delovanja izvora (vreme paranja); uzima se da su vremena paranja zrna približno međusobno jednaka,  $x', y', z'$  = položaj izvora,  $z=0$ ,  $t_1$  = vremenska konstanta izvora ( $t_0 = \frac{R'^2}{12a^2} F$ ,  $R'$  = radius vrha zrna),  $q$  = specifična snaga izvora;  $q = \frac{F \cdot v}{M \cdot A}$ ,  $F = K \cdot \zeta^{0,6} \cdot s^{0,7} \cdot v_R^{0,7}$  [kp] = srednja tangencijalna sila brušenja,  $K$  = popravni faktor kojim se obuhvata vrsta materijala koji se brusi; za nekaljen konstrukcijski želik  $K = 2,1$ , a za kaljen čelik  $K = 2,5$ .

Kod proračuna temperaturnog polja pošlo se je od Fourier-ove parcijalne diferencijalne jednačine i rubnih uslova druge vrste. Time je dobijen izraz za temperaturno polje, nastalo pod delovanjem trenutnog tačkastog izvora. Superponiranjem delovanja tačkastog izvora po prostoru i vremenu i prelaskom na pokretne koordinate, došlo se do izvora za temperaturna polja pod delovanjem jednog zrna. Sumiranjem delovanja svih zrna dobijen je iz-

raz opšteg temperaturskog polja nastalog pod delovanjem ostalih zrna koja se nalaze trenutno u kontaktu, čiji broj je slučajan. Uticaj sredstva za hladjenje obuhvaćen je koeficijentom prenosa toplotne energije  $\alpha$ .

Pored pobrojanih uticajnih faktora, koji povoljno deluju pri brušenju točilom sa žljebovima, valja istaći da se izbegava perljenje površine i zbog toga što se brušenje (zagrevanje) prekida, a zatim hladi površina brušenja, usled čega nisu ostvareni uslovi za nastanak transformacije mikrostrukture.

Korišćenjem gornjih jednačina dobijene su sledeće veličine temperatura pri brušenju brzoreznog čelika Č.6880:

a) Za točila sa kontinualnom radnom površinom, bez hladjenja.

$$\theta_1 = 1100^{\circ}\text{C},$$

zamenom sledećih vrednosti u obrasce,

$$v_t = 32 \text{ m/s}$$

$$v_r = 12 \text{ m/min}$$

$$\lambda = 0,4 \cdot 10^{-4}$$

$$c = 0,102$$

$$\gamma = 7,8 \cdot 10^{-3}$$

$$a^2 = 0,5$$

$$\delta = 0,03 \text{ mm (dubina brušenja)}$$

b) za točila sa žljebovima na radnoj površini, bez hladjenja

$$\theta_2 = 740^{\circ}\text{C}$$

c) za točilo sa kontinualnom radnom površinom, sa hladjenjem.

$$\theta_3 = 500^{\circ}\text{C} \text{ (odnosi se na brušenje uz primenu 5% rastvora)}$$

$$\alpha = 90000 \text{ kcal/cm}^2\text{sek}.$$

Proračun temperatura izvršen je za jednu širinu žljeba točila  $b = 10$ . Sigurno je da se točilo sa žljebom brže troši od točila bez žljebova. Međutim, s obzirom na efekte koji se ostvaruju u pogledu osetnog sniženja temperatura, moguće je da se nađe optimalna širina žljeba pri kojoj bi bila zadovoljena oba uslova: minimalno trošenje točila i maksimalno sniženje temperatura.

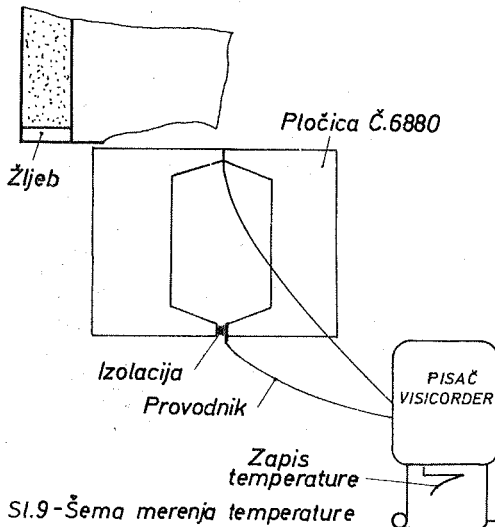


#### 4. Eksperimentalno određivanje temperature brušenja

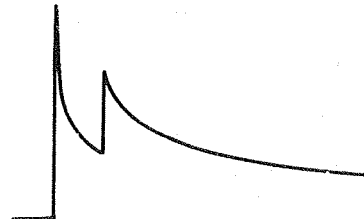
Da bi se eksperimentalno odredila temperatura brušenja i proverila izložena metodologija proračuna, izvedeni su uporedni opiti brušenja tocilima sa kontinualnom i nekontinualnom radnom površinom.

Opiti su vršeni pri ravnom brušenju brzoreznog čelika Č.6880 lomčastim tocilom 4B46L domaće proizvodnje, a izvodjeni su na univerzalnoj brusilici za oštrenje alata UOZA-5.

Temperatura je merena poluprirodnim termoparom Pt-Č.6880, koji je bio formiran na način prema slici 9. Prečnik žice termopara iznosio je 0,025 mm, te na ovaj način merene temperature u zoni brušenja predstavljaju temperaturu nastalu dejstvom pojedinačnih zrna sredstva za brušenje. Da bi se isključio uticaj greške koja nastaje radi zagrevanja hladnog spoja u toku brušenja, posle svaka dva prolaza činjeni su prekidi u cilju hladjenja uzorka.

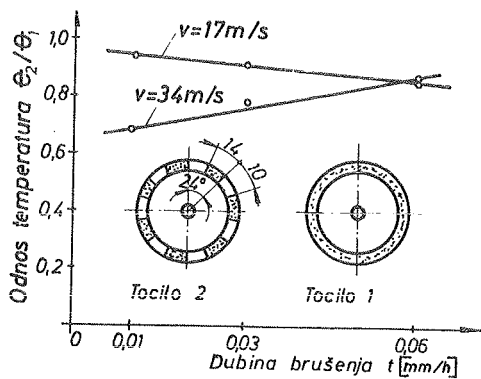


Slika 9 - Šema merenja temperature



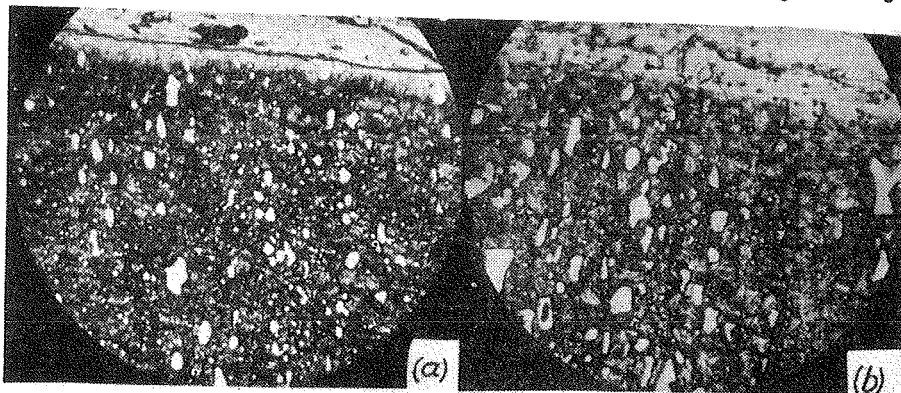
Slika 10 - Izgled zapisa temperature pomoću pisaača Visicordera pri merenju temperature

Rezultati dobijeni pri merenju temperature brušenja prikazani su na slikama 10 i 11, pri čemu je na slici 10 dat zapis temperature dobijen na pisaaču Visicorder, tip 906T, Honeywell, a na slici 11 odnos temperatura  $\theta_2/\theta_1$  (temperatura brušenja dobijena pri brušenju tocilom sa žljebovima na radnoj površini, prema temperaturi dobijenoj pri brušenju tocilom sa kontinualnom



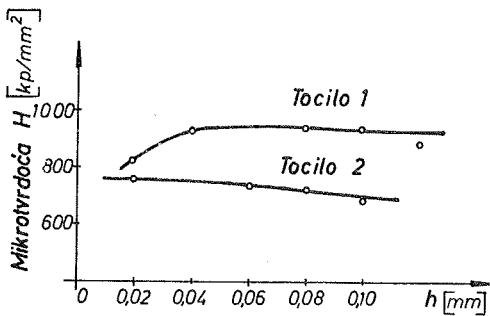
Sl.11 - Odnos temperatura brušenja pri radu sa točilom 2 (sa žljebovima na radnoj površini) i točilom 1 (sa kontinualnom radnom površinom) u zavisnosti od dubine brušenja i obimne brzine točila; materijal uzorka Č.6880, točila 4B46L; brzina pom. kretanja  $s_0 = 4\text{m/min}$ .

mikrostrukture dat je na slici 12, odakle se vidi da je deblji-



Sl.12 - Mikrostruktura površinskog sloja brusene površine pri povećanju 1000x: a - pri brušenju točilom 2; b - pri brušenju točilom 1. Uslovi brušenja kao na sl.13

na belog sloja manja pri brušenju točilom sa žljebovima (a) u odnosu na brušenje točilom sa kontinualnom radnom površinom (b). Promena mikrotvrdoće  $H$  na dubini površinskog sloja  $h$  data je na slici 13: u slučaju brušenja točilom sa kontinualnom radnom površinom nastalo je sniženje tvrdoće (otpuštanje) u odnosu na polaznu tvrdoću, dok se efekt sniženja mikrotvrdoće pri bruše-



Sl.13 - Promena mikrotvrdoće  $H$  po dubini površinskog sloja  $h$  brušene površine uzorka iz Č.6880, pri brušenju točilom 1 i 2 (2-tocila sa žljebovima i 1 -tocila sa kontinualnom površinom),  
 Režim brušenja:  $v_t = 17 \text{ m/s}$ ,  
 $t = 0,03 \text{ mm/hodu}$   $s_u = 4 \text{ m/min}$

nju točilom sa žljebovima nije javio. Pritom treba napomenuti da je polazna tvrdoća uzoraka bila različita.

## 5. Zaključak

Na osnovu iznetog mogu se izvesti ovi zaključci:

- (i) Primenom tocila sa žljebovima, snižava se osetno temperatura brušenja u odnosu na tocila sa kontinualnom radnom površinom. Dobija se zahvaljujući tome kvalitetniji površinski sloj obradljivog predmeta, što naročito povoljno utiče na poboljšanje performansi alata.
- (ii) Kod proračuna temperatura brušenja pošlo se od diskretnog dodira tocila i predmeta. Predmet koji se brusi predstavljen je modelom poluograničenog tela, a izvore toplotne energije predstavljaju zrna tocila.  
 Broj zrna i njihovo rastojanje, određivani statističkom obradom eksperimentalnih rezultata pomoću računara, dobijeni su pri snimanju hrapavosti tocila.
- (iii) S obzirom na početne, pozitivno verifikovane rezultate

dobijene primenom tocila sa žljebovima, valjalo bi nastaviti sa eksperimentima.

## 6. Literatura

- [1] M. Jovičić, D. Vukelja, Uticaj zatupljenja tocila na temperaturu brušenja, Saopštenja IAMA, 5 (1967) 643
- [2] A. V. Jakimov i dr., Preryvistoe šlifovanie, Vestnik mašinstroenija (1967) 3
- [3] G. G. Rahmatulin, B. I. Potemkin, Šlifovanie stali 16HGTL krugami s preryvistoj poverhnost'ju, Stanki i instrument (1970) 8
- [4] L. B. Glatman i dr., Primenenie metodov teorii slučajnyh funkcij dlja izučeniya processa razrušenija gornyh podov, Razrušenje gornyh podov šarasečnym instrumentom, "Nauka", Moskva (1966)
- [5] S. A. Popov, Analiz shem stružkoobrazovanija v svjazi s geometrijej rabočej poverhnosti šlifoval'nogo kruga. Osnovnye voprosy vysokoproizvoditel'nogo šlifovanija, Mašgiz, Moskva (1960)

D. Vukelja, M. Jovičić, V. Simonović

### EINE METHODE ZUR VERRINGERUNG DER SCHNEIDTEMPERATUR BEIM SCHLEIFEN

Die Schneidtemperatur beim Schleifen kann man neben anderen Weisen (z.B. durch die Anwendung des Kühlmittels) auch durch die Verwendung der Schleifscheiben, die mit den Nuten an der Schneidfläche versehen sind, herabsetzen. Im Artikel wird die Berechnung von Schneidtemperatur beim Schleifen mit der Schleifscheibe mit ununterbrochener Schneidfläche ( $\theta_1$ ), der Schleifscheibe mit den Nuten an der Schneidfläche ( $\theta_2$ ) - in beiden Fällen ohne Kühlung und beim Schleifen mit der Kühlung ( $\theta_3$ ) gegeben. Die Verteilung der Schleifkörner wurde durch die Tasten der Schleifscheibenschneidfläche und dann durch die Bearbeitung dieser Tastendiagramme mit dem statistischen Rechner bestimmt. Die Berechnung und die durchgeführten Versuche haben gezeigt, dass die Schleiftemperatur beim Schleifen mit der genuteten Schleifscheibe ziemlich abnimmt. Beim Schleifen von Schnellstahl C. 6880 mit einer Edelkorundscheibe 4B46L wurden durch die Berechnung die Temperaturen  $\theta_1 = 1100^\circ\text{C}$ , und  $\theta_2 = 740^\circ\text{C}$ , bzw. durch die Versuche das Verschmeltniss  $\theta_1/\theta_2 < 1$  (Bild 11) bekommen, was zu einer Verbesserung des Oberflächenschichtes führt (Bild 12 und 13).

S. Zahar, R. Mitrović x)

NEKI PROBLEMI OBRADLJIVOSTI ČELIKA "PROKRON 13" GLODAČKIM  
GLAVAMA SA PIOČICAMA OD TVRDOG METALA xx)

## 1. Uvod

Primena običnih konstrukcijskih materijala (ugljeničnih i nisko-  
legiranih čelika) za izradu delova savremenih mašina i motora  
čije radne procese karakterišu velike brzine, visoka optereće-  
nja i temperatura je ograničena, usled male izdržljivosti ovih  
materijala na povišenim temperaturama. Zbog toga se za izradu  
odgovornih delova mašina koji rade pod visokim opterećenjima i  
na povišenim temperaturama, koriste visokolegirani čelici na ba-  
zi Ni, Cr, W, Mo i dr., koji imaju odliku da zadržavaju svoje  
dobre mehaničke osobine i pri trajnom delovanju visokih tempe-  
ratura.

Međutim, usled ovih svojih osobina, čelici otporni na visokim  
temperaturama spadaju u grupu teško obradljivih materijala pri  
obradi rezanjem, što predstavlja problem pri obradi. Niska ob-  
radljivost, koja je ponekad i nekoliko puta lošija od obradlji-  
vosti običnih konstrukcijskih čelika, određena je njihovim fi-  
zičko-hemijskim svojstvima. Kako je u nekim slučajevima obrad-  
ljivost toliko loša da ih je u normalnim uslovima nemoguće ob-

---

x) Svetislav Ž. Zahar, dipl.ing., asistent Odeljenja Mašinskog  
fakulteta u Kragujevcu, saradnik Instituta za alatne mašine  
i alate, Beograd; Ratko V. Mitrović, dipl.ing., asistent Ode-  
ljenja Mašinskog fakulteta u Kragujevcu, saradnik Instituta  
za alatne mašine i alate, Beograd

xx) Saopštenje iz Instituta za alatne mašine i alate predstavlja  
deo naučnoistraživačkog projekta SISTEMATSKO ISPITIVA-  
NJE OBRADLJIVOSTI PRI OBRADI REZANJEM DOMAĆIH KONSTRUKCIJS-  
KIH MATERIJALA DOMAĆIM ALATIMA, u čijem finansiranju učest-  
vuju Savezni i Republički fond za naučni rad i niz privred-  
nih i vanprivrednih organizacija.

radjivati, to je veoma važno definisati odgovarajuće uslove pod kojima bi se obradljivost pri obradi rezanjem ovih materijala poboljšala, što bi uslovalo i smanjenje troškova, uz povećanu proizvodnost.

U okviru naučnoistraživačkog projekta "Sistematsko ispitivanje obradljivosti pri obradi rezanjem domaćih konstrukcijskih materijala domaćim alatima" čiji je nosilac IAMA - Beograd, učinjen je pokušaj prilaženju ovom problemu. Tako je u Laboratoriji Odeljenja Mašinskog fakulteta u Kragujevcu vršeno ispitivanje obradljivosti pri obradi glodanjem visokolegiranog čelika "Prokron 13"

## 2. Program i uslovi ispitivanja

"Prokron 13" spada u grupu čelika za ventile, a upotrebljava se i za izradu visokopterećenih delova na mašinama i motorima sa temperaturskim opterećenjem do 850°C.

Hemijski sastav i mehaničke osobine dati su u tablici 1.

TABLICA 1

Mehaničke osobine		Hemijski sastav									
$\sigma_m$ k p/mm	HB	C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	Ni%	Mo%	Cu%	Nb%
48 60	140 146	0.08	0.8	1.72	0.012	0.018	16.63	2.05	10.59	0.19	0.90

Programom ispitivanja predviđena je obrada glodačkom glavom sa pločicama od tvrdog metala kao i cilindričnim glodalima izradjenim od brzoreznog čelika.

Pri ispitivanju obradljivosti glodačkim glavama sa pločicama od tvrdog metala, predviđena je obrada sa 3 - 5 vrednosti brzine rezanja, 3 vrednosti pomaka po zubu i 3 vrednosti dubine rezanja uz ostale konstantne uslove, da bi se dobila zavisnost brzine rezanja od postojanosti alata, pomaka i dubine, tj. funkcija

$$v = \frac{C}{T^m \cdot S^y \cdot \delta^x}$$

Kako o obradi ovog čelika praktično nije bilo nikakvih podataka,

to je preliminarnim ispitivanjima trebalo doći do uslova pod kojima je moguće ovaj materijal obradivati, tj. trebalo je najpre odrediti vrstu alatnog materijala, kao i vrednosti elemenata režima rezanja sa kojima bi se vršilo ispitivanje obradljivosti.

Ispitivanja su vršena na univerzalnoj glodalici PGU-3 proizvodnje PRVOMAJSKA - Zagreb sa ukupnom instalisanom snagom od 10 kW. Krutost je bila sasvim zadovoljavajuća. Kao alat je korišćena glodačka glava sa mehaničkim stezanjem pločice proizvodnje švedske firme FAGERSTA BRUKS AB. Pločice su bile proizvodnje SINTAL iz Zagreba dimenzija 12,7 x 12,7 x 3,18 mm sa osnovnom geometrijom  $\alpha = 7^\circ$ ,  $\gamma = -7^\circ$ ,  $\varphi = 60^\circ$ . Obrada je vršena bez primene sredstava za hladjenje i podmazivanje. Širina radnog predmeta iznosila je 68 mm, a prečnik glave 100 mm.

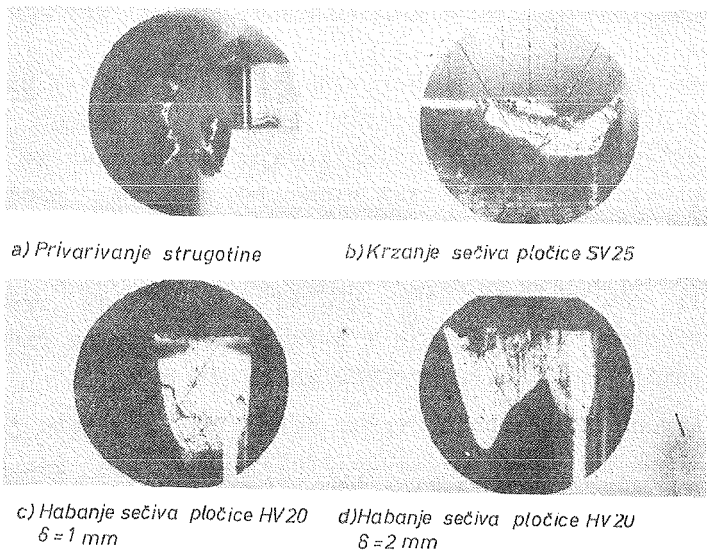
Merenje stepena pohabanosti reznog dela pločice vršeno je na alatnom mikroskopu MMI sovjetske proizvodnje čija je tačnost očitavanja 0,005 mm. Obrada je vršena jednozubim glodalom.

### 3. Preliminarna ispitivanja

Apstrahujući preporuke koje su date u sovjetskoj literaturi o režimima rezanja vatrootpornih čelika, izabrane su vrednosti za brzinu rezanja u granicama od 60 - 120 m/min, sa pomakom oko 0,1 mm/zubu i dubinom rezanja do 2 mm. Ove vrednosti su u toku ispitivanja morale biti modificirane, i to u smeru smanjenja pomaka i dubine uz povećanje brzine rezanja.

Položaj ose glodačke glave u odnosu na radni predmet je izabran tako da je rastojanje od ivice radnog predmeta do najudaljenije tačke trajektorije zuba glodala na strani njegovog izlaska bilo  $K = 5$  mm. Ovaj položaj izabran je zato jer je prema ranijim ispitivanjima utvrđeno da se samo pri tom položaju ostvaruju optimalni rezultati u pogledu postojanosti, temperature rezanja i drugih faktora koji se pri rezanju javljaju [1]. Važnost pravilnog međusobnog položaja glodačke glave i radnog predmeta pri obradi čelika otpornih na visokim temperaturama je daleko veća nego pri obradi ostalih konstrukcijskih materijala, što su potvrdila i uvodna ispitivanja čelika "Prokron 13", jer su ovi

čelici veoma podložni privarivanju delića strugotine na grudnu površinu reznog dela pločice. Na slici 1a prikazan je snimak reznog dela pločice sa privarenim delićima strugotine, što se jav-



Slika 1

ljalo pri simetričnog glodanju, tj. u slučaju kada se osa glodala poklapa sa osom radnog predmeta. Pomeranjem ose glodačke glave u optimalni položaj  $K = 5 - 7 \text{ mm}$ , pojava svarivanja je veoma smanjena.

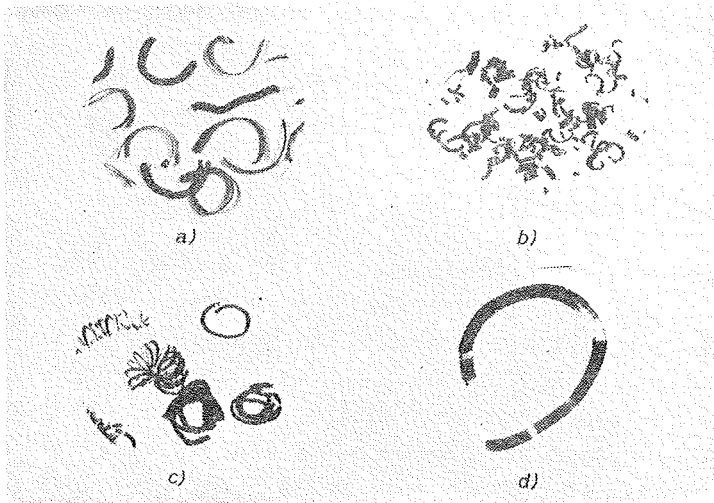
### 3.1. Obrada sa pločicom SV 25

U preliminarnim ispitivanjima korišćene su najpre pločice od tvrdog metala SV 25 proizvodnje SINTAL-a iz Zagreba, koje su preporučene za obradu raznih vrsta čelika. Ranija ispitivanja [2] obradljivosti konstrukcijskih čelika čeonim glodalima, koja su vršena u okviru IAMA, pokazala su da je kvalitet ovih pločica visok i da ne zaostaje za kvalitetom tvrdog metala odgovarajuće vrste zapadnih proizvođača.

U principu, habanje reznog dela pločice pri glodanju glodačkim glavama sa pločicama od tvrdog metala lavlja se kako po leđnoj površini u vidu pojasa habanja, čija ujednačenost po celoj du-



žini aktivnog dela sečiva zavisi od vrste obradljivog materijala i režima rezanja, tako i po grudnoj površini u vidu kratera [3] čija je osa paralelna glavnom sečivu, a rastojanje ose kratera od sečiva zavisi od uslova rezanja (obradljiv materijal, režim rezanja i dr.). Praćenjem oblika habanja pločice SV 25 u preliminarnim ispitivanjima obradljivosti čelika "Prokron 13", utvrđeno je da se napred navedeni oblik habanja javlja samo u početnom periodu rezanja dok širina pojasa habanja po ledjnoj površini sečiva ne dostigne vrednost 0,1 - 0,2 mm, posle čega dolazi do krzanja rezne ivice, tako da je dalje rezanje onemogućeno. Moment u kome se javlja krzanje pločice je lako uočljiv praćenjem oblika strugotine, kvaliteta obradjene površine kao i rada mašine. U početku rezanja, dok je rezni deo pločice oštar ili dok širina pojasa ima malu vrednost, rad mašine je veoma ujednačen a strugotina ima pravilan oblik (slika 2a). U tre-



Slika 2

nutku pojave krzanja sečiva mašina počinje da radi sa udarima koji postaju sve jači, a strugotina koja se tada javlja ima oblik malih, drobljenih delića veoma deformisanih (slika 2b). U isto vreme obradjena površina pokazuje veliku hrapavost. Ukoliko se dalje nastavi sa radom javlja se visoka temperatura rezanja, tako da se strugotina usija do crvenog usijanja, a ubrzo zatim dolazi do potpunog loma pločice. Na slici 1b dat je iz-

gled okrzanog sečiva pločice. Vreme rezanja do pojave krzanja u svim opitima iznosilo je između 1 i 5 minuta u zavisnosti od režima rezanja. Smanjivanje pomaka po zubu do vrednosti 0,02 mm/zubu nije dovelo do nikakvih poboljšanja, a takodje ni variranje brzine rezanja.

Kako primena pločica od tvrdog metala ima opravdanja samo pri obradi materijala kod kojih se javlja normalno habanje reznog dela pločice, tj. u slučajevima gde se ne javlja krzanje rezne ivice, to se došlo do zaključka da se čelik "Prokron 13" ne može obradivati pločicama SV 25, odnosno da je takva obrada neekonomična.

Zbog toga je isključena primena pločica SV 25 pri daljem ispitivanju obradljivosti ovog čelika, a u nastavku preliminarnih ispitivanja korišćene su pločice HV 20 koje se preporučuju za obradu sivog liva. Ove pločice imaju veću žilavost od pločica SV 25, mada im je otpornost na habanje manja. Kako u ranijem slučaju razlog prekida rezanja nije bilo prekomerno habanje reznog dela već njegovo krzanje, to se pošlo od pretpostavke da će u ovom slučaju bolje zadovoljiti žilavije pločice tipa H.

### 3.2. Obrada pločicom HV 20

Rad sa pločicom HV 20 pri brzinama rezanja  $v = 80 - 220$  m/min, dubini rezanja do 2 mm i pomakom do 0,08 mm/zubu dokazao je tačnost gornje pretpostavke. Habanje reznog dela pločice javljalo se pretežno po ledjnoj površini sečiva, dok je krater bio manje izražen i javljao se uz samo sečivo. Pri manjim vrednostima pomaka i dubine krzanje je bilo neznatno i javljalo se pri širini pojasa habanja od 1,5 - 2 mm i to više kao posledica spajanja habanja po grudnoj sa habanjem po ledjnoj površini sečiva. Na slikama 1c i 1d prikazana su dva primera habanje pločice HV 20.

Rad mašine je bio veoma ujednačen čak do vrednosti širine pojasa habanja od 2 mm. Strugotina je imala pravilan oblik za vreme celog perioda rezanja i njen oblik je prikazan na slici 2a. Privarivanje strugotine na grudnu površinu pločice nije bilo tako izraženo, niti je imalo veće posledice na postojanost alata.

Međutim, pri radu sa položajem ose glodala pri kome je debljina strugotine na izlazu zuba imala veću vrednost, ovo privarivanje je uticalo na oblik strugotine koji je u tim slučajevima bio sličan obliku strugotine pri struganju ili bušenju (slika 2c). Ovo se može objasniti na sledeći način. Pri izlazu zuba iz materijala kraj strugotine je ostao prilepljen na grudnu površinu, tako da se pri sledećem ulasku zuba u zahvat sa materijalom početak novorezane strugotine, usled velikih pritisaka i visoke temperature koji se javljaju, a i podložnosti materijala svarivanju, privari na kraj prilepljene strugotine, tako da u fizičkom pogledu sačinjavaju jednu celinu. Ovo se ponavlja više puta, tako da strugotina ima oblik neprekiđane trakaste strugotine. Pažljivim posmatranjem ove strugotine lako se mogu uočiti mesta sastava - lepljenja kraja strugotine (slika 2d).

Pri pomacima većim od 0,08 mm/zubu i dubinama preko 2 mm javljalo se izraženo krzanje rezne ivice uz naglo smanjenje postojanosti rezne ivice.

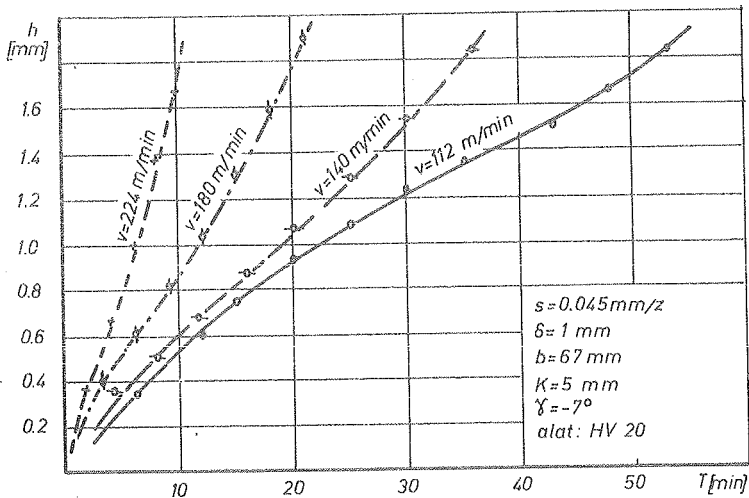
### 3.3. Definisanje uslova za ispitivanje obradljivosti čelika "Prokron 13"

Iz rezultata preliminarnih ispitivanja došlo se do zaključka, da se "Prokron 13" može obradljivati samo pločicama kvaliteta H, kod kojih se javlja normalno habanje bez izraženog krzanja sečiva. Zato je kao rezni alat za ispitivanje izabrana pločica HV 20 proizvodnje SINTAL-a iz Zagreba.

Utvrđeno je takođe, da povećanje pomaka i dubine rezanja dovede do pojačanog krzanja reznog dela pločice, tako da su ove vrednosti ograničene i to pomak do 0,08 mm/zubu, a dubina rezanja do 2 mm. Na osnovu preliminarnih ispitivanja definisan je program ispitivanja obradljivosti čelika "Prokron 13".

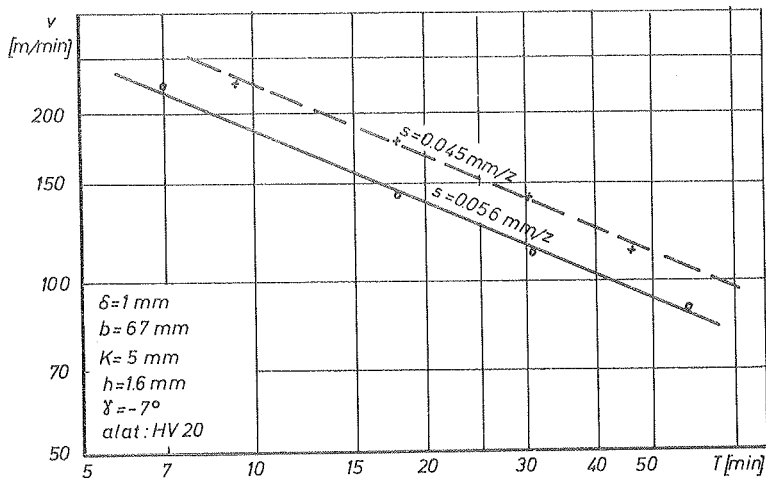
### 4. Rezultati ispitivanja obradljivosti

Rezultati ispitivanja su pokazali da brzina rezanja pri obradi čelika "Prokron 13" ima veliki uticaj na postojanost alata (vrednost koeficijenta  $m = 0,3$ ). Na slici 3 prikazano je nekoliko



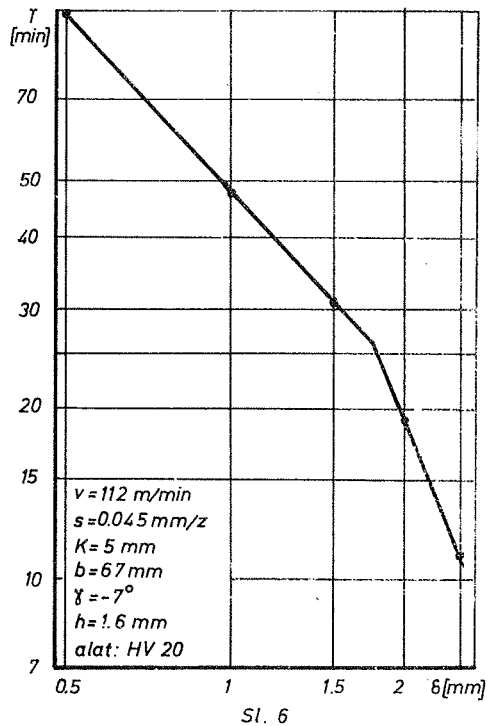
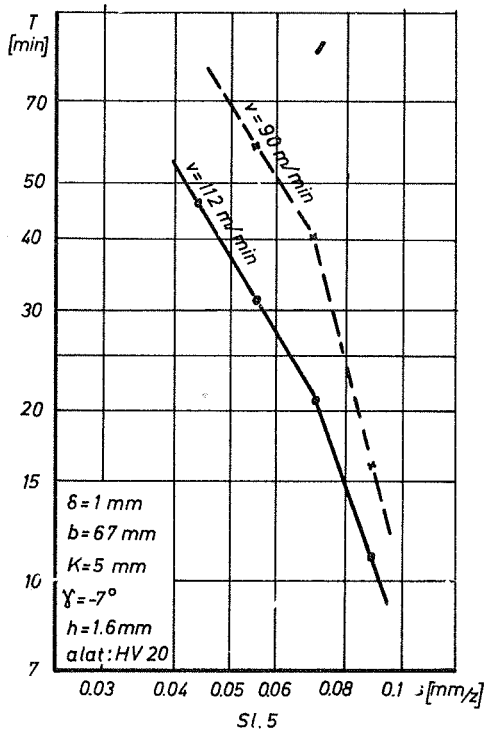
Sl. 3

primera krivih habanja ledjne površine pločice za jedan presek strugotine pri različitim brzinama rezanja na osnovu kojih se došlo do formiranja Tajlorove krive  $T = f(v)$  prikazane na slici 4.



Sl. 4

Uticaj dubine rezanja i veličine pomaka po zubu prikazan je na slikama 5 i 6.



## 5. Zaključci

Rezultati sprovedenih ispitivanja omogućili su da se dodje do sledećih zaključaka, vezanih za obradljivost čelika "Prokron 13"

- (i) Obradljivost pri obradi rezanjem čelika otpornog na visokim temperaturama "Prokron 13" je dosta manja u odnosu na obradljivost ugljeničnih konstrukcijskih čelika.
- (ii) Primena pločica od tvrdog metala kvaliteta SV 25, koje se preporučuju za obradu čelika, je u ovom slučaju neadekvatna zbog veoma izraženog krzanja reznog dela pločice. Nasuprot tome, primena pločica kvaliteta HV 20, koje su namenjene za obradu sivog liva i sličnih materijala, pokazala se kao opravdana pri obradi ovog čelika.
- (iii) Veličina pomaka po zubu je ograničena i ne preporučuju se

vrednosti preko 0,1 mm/zubu, dok je granica za dubinu rezanja 2 mm. Preko ovih vrednosti dolazi do izraženog krzanja sečiva pločice.

## 6. Literatura

- [1] S. Zahar, Uticaj položaja ose čeonih glodala sa tvrdim metalom na srednju temperaturu rezanja, habanje sečiva i postojanost, Zbornik V Savetovanja proizvodnog mašinstva, knjiga I, Kragujevac (1969)
- [2] Eksploatacijske karakteristike čeonih glodala sa pločicama od tvrdog metala domaće proizvodnje, Elaborat 93/68, IAMA, Beograd (1968)
- [3] R. Mitrović, Oblik habanja sečiva i izbor kriterijuma za tupljenja čeonih glodala sa tvrdim metalom, Zbornik V Savetovanja proizvodnog mašinstva, knjiga I, Kragujevac (1969)

S. Zahar, R. Mitrović

### Some Problems of Machinability of Steel "PROKRON 13" in Carbide Milling

Within the research project "Systematic Tests of Machinability when Cutting Yugoslav Costructional Materials with Yugoslav Tools", in testing of steel "Prokron 13" machining was done by milling with carbide tipped cutters. The tests showed that the application of carbide plates of quality S recommended for steel machining, is unadequate in this case because of the wear of cutting part of carbide plate. Consequently, quality H carbide has been used that appeared to be much better. The results of research showed that machining of this steel, belonging to the steel group resistant to high temperatures, is much worse when compared to carbonic steel. Values of feed per tooth and depth cut have been limited to  $s_1 = 0,1 \text{ mm/z}$ , i.e.  $\delta = 2 \text{ mm}$ .

D. Vukelja, S. Zahar x)

PRILOG IZUČAVANJA UTICAJA POLOŽAJA GLODALA U ODNOSU NA OBRADAK  
NA TOPILOTNI REŽIM U USLOVIMA ČEONOG GLODANJA xx)

1. Uvod

Na postojanost alata pri čeonom glodanju, sem parametara režima obrade, vrste materijala alata i stanja materijala predmeta, utiče i veći broj drugih faktora. U ovom se radu analizuje uticaj položaja glodala prema predmetu na toplotni režim, a preko njega na postojanost.

Do sada se ovim problemom bavilo više istraživača [1], [2], [6], a takodje i kod nas [3], [4], pri čemu su istraživanja vršena za potrebe jugoslovenskog projekta obradljivosti. Rad [3] u kojem je dat spisak literature se odnosi na pripremnu etapu, a [4] na nastavak radova.

Analiza toplotnog režima vršena je za dva položaja glodača prema predmetu, položaj kod kojega se ostvaruje istosmerno, i položaj kod kojega se ostvaruje suprotnosmerno glodanje, a korišćeni su rezultati dobijeni merenjem otpora rezanja, kao i simuliranjem procesa čeonog glodanja na strugu pomoću specijalne e-pruvete.

U daljem tekstu daje se analiza toplotnog režima pri čeonom glodanju.

---

x) Dr Dušan Vukelja, dipl.ing., samostalni saradnik Instituta za alatne mašine i alate, Beograd, docent Mašinskog fakulteta u Sarajevu, Svetislav Zahar, dipl.ing., asistent Odeljenja Mašinskog fakulteta u Kragujevcu, saradnik Instituta za alatne mašine i alate, Beograd

xx) Saopštenje iz Instituta za alatne mašine i alate, Beograd, predstavlja deo naučnoistraživačkog projekta "Sistematsko ispitivanje obradljivosti pri obradi rezanjem domaćih konstrukcijskih materijala domaćim alatima", u čijem finansiranju učestvuje Republička zajednica za naučni rad SR Srbije i privredne organizacije.

## 2. Analiza uslova rada sečiva glodala pri čeonom glodanju

Pri čeonom glodanju sečivo glodalo izloženo je dvema vrstama dinamičkih opterećenja: mehaničkim, kod sudara sečiva glodala sa predmetom, i toplotnim, nastajanjem stacionarnih temperaturskih polja usled generisanja toplotne energije u toku rezanja.

U zavisnosti od položaja glodala, tj. prema tome da li se glodje suprotnosmerno ili istosmerno, veličine opterećenja variraju u toku obrade.

Mehanička opterećenja prestaju delovati pri nailasku sečiva glodala na prekid površine rezanja. Toplotna su, međjutim, s obzirom na postojanje nestacionarnog temperaturskog polja prisutna u sečivu i posle prekida. Pod delovanjem takvih opterećenja dolazi do krzanja sečiva i izvaljivanja vrha alata. Povećava se intenzitet adhezionog i abrazivnog habanja, a isto tako i intenzitet zavarivanja čestica obradljivog materijala za radnu površinu alata.

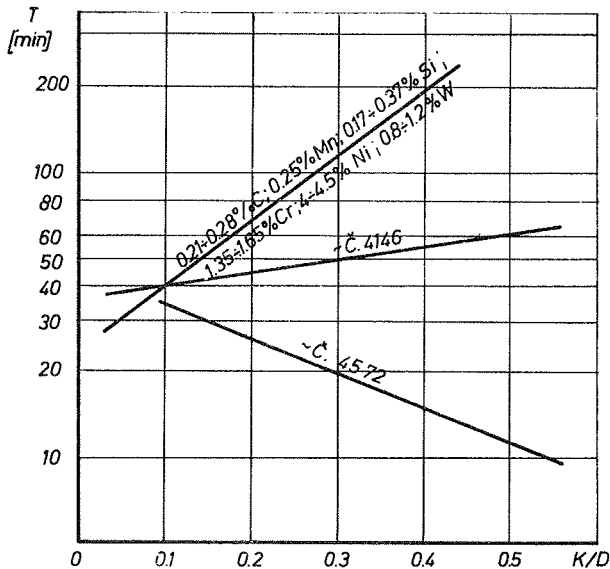
Bitnu ulogu pri čeonom glodanju, izuzetno žilavih čelika - nerđjajućih i vatrootpornih - i čelika sa većom tvrdoćom, ima položaj glodala prema predmetu.

Mogućna su tri glavna položaja: položaj kod kojega se ostvaruje istosmerno glodanje, položaj kod kojega se ostvaruje suprotnosmerno glodanje i položaj kod kojega se ostvaruje simetrično glodanje, i ako položaj nije optimiziran, može doći do veoma nepovoljnog uticaja na postojanost alata.

Prema [1] rezultati ispitivanja prikazani na slici 1 pokazuju da se postojanost pri čeonom protusmernom glodanju ( $K/D = 0,5$ , značenje veličine  $K$  dato je u Tablici 1) nerđjajućeg čelika smanjuje za oko tri puta, dok je pri istosmernom glodanju postojanost veća za oko tri puta. Pri obradi tvrdih i dublje prokaljivih materijala dobija se, međjutim, suprotan efekat.

Promena postojanosti u zavisnosti od položaja glodala prema predmetu povezivana je sa uticajem geometrije početnog kontakta do dobijanja potpunog preseka strugotine. Izneto je i mišljenje [2] da je, analogno delovanju impulsa sile, najpovoljniji kontakt koji najduže traje.





Slika 1.

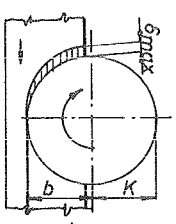
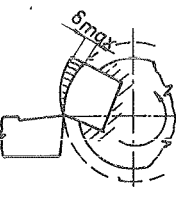
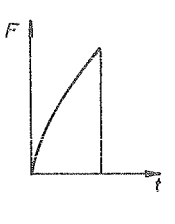
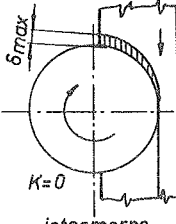
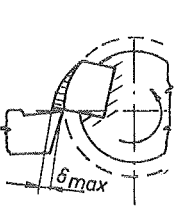
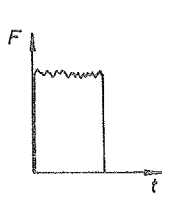
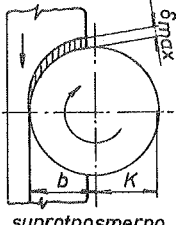
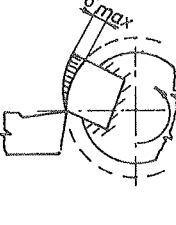
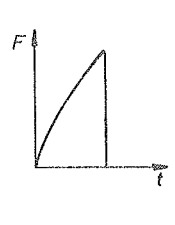
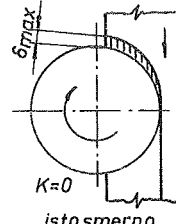
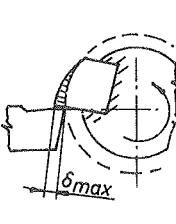
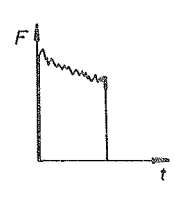
Po mišljenju autora, s obzirom da je reč o dve različite grupe materijala (žilavi i tvrdi), a na osnovu teorije dislokacija, može se smatrati da je prevashodno reći o uticaju različitih mikrostruktura vezanog za tzv. "uticaj veličine" (size effect).

Ispitivanja izvodjena u Institutu za alatne mašine i alate i prikazana u [4] i ova sada, dobro se slažu sa rezultatima datim u [1]. Kod ispitivanja uticaja položaja glodala na postojanost korišćena je metoda dinamometrije, a preko dobijenih eksperimentalnih rezultata izvršena je analiza toplotnog režima.

Ispitivanja su vršena na strugu simuliranjem čeonog glodanja. Otpor rezanja je meren pomoću mernih traka, koje su bile nalepljene direktno na nož, u neutralnim osama noža. Zapis otpora vršen je pomoću svetlosnog pisača Visicorder. Zahvaljujući osetljivosti mernih traka, bilo je moguće meriti trenutne vrednosti otpora rezanja.

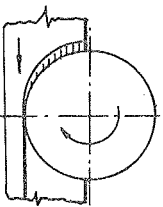
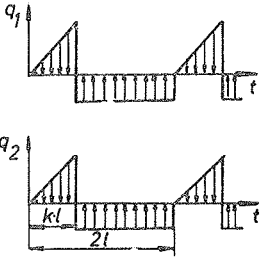
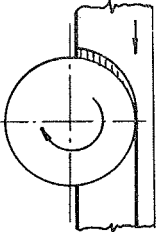
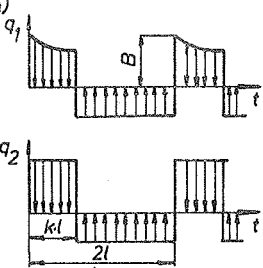
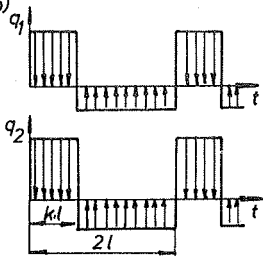
Čeono glodanje simulirano je pomoću epruvete ekscentrično postavljene na strug, u poseban držač, prethodno pripremljen, što je omogućavalo da se obradjuje sa različitom dubinom rezanja. Izgled epruvete, kao i rezultati merenja dati su u Tablici 1.

TABLICA 1

Red. broj	Način glodanja	Odgovarajući model na strugu	Izgled zapisa sile	Obrađivani materijal	Odnos $F_1/F_2$
1	 <p>suprotnosmerno</p>			Č.4574	10
2	 <p><math>K=0</math> istosmerno</p>			Č.4574	1.5
3	 <p>suprotnosmerno</p>			Č.1730	1.3
4	 <p><math>K=0</math> istosmerno</p>			Č.1730	1.2
<p>Režim rezanja : <math>v = 90 \text{ m/min}</math> <math>s = 0.4 \text{ mm/o}</math> <math>b = 1.5 \text{ mm}</math></p>					

Pri suprotnosmernom glodanju čelika Č.4574 dolazilo je do povećavanja radijalne sile, pri čemu je tangencijalna ostajala konstantna. Povećavanjem radijalne sile pri ovom vidu glodanja dolazilo je do intenzivnijeg habanja, što je nepovoljno uticalo na postojanost alata. Kod istosmernog glodanja odnos sila je povoljniji. Radijalna sila je manja za iste uslove. Pri obradi čelika Č.1730 promena radijalnih otpora nije tako velika kao pri obradi čelika Č.4574.

Korišćenjem rezultata merenja iznetih u Tablici 1 razvijeni su matematički izrazi za periodične izvore toplotne energije, razvojem u Fourier-ov red, Tablica 2. Uvažavan je pritom, usled Tablica 2

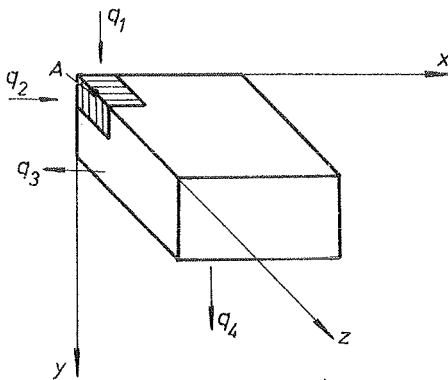
Red. broj	Način glodanja	Izgled toplotnog izvora	Matematički izraz za periodični izvor toplot. energije
1			$f(t) = q_0 \frac{k^2 l}{2} - q_0'(2-k) +$ $+ \sum_{k=1}^{\infty} \left\{ \frac{q_0}{\pi n} \sin(\pi n k) + q_0 \left[ \frac{l}{n^2 \pi^2} \right. \right.$ $+ \frac{k l}{\pi n} \sin(\pi n k) - \frac{l}{n^2 \pi^2} \cos(\pi n k) \left. \right\} \times$ $\times \cos\left(\frac{\pi n}{T} t\right) + \frac{q_0'}{\pi n} \cos(\pi n k) + q_0 \times$ $\times \left[ \frac{l}{n^2 \pi^2} \sin(\pi n k) - \frac{k l}{\pi n} \cos(\pi n k) \right] \sin\left(\frac{\pi n}{T} t\right)$
2		a) 	$f(t) = \frac{B}{\mathcal{L}} (1 - e^{-\mathcal{L} t}) \left[ \frac{\sqrt{\pi} n}{T} \sin(\pi n k) - \right.$ $\left. - \mathcal{L} \cos(\pi n k) \right] \frac{e^{-\mathcal{L} k l}}{\mathcal{L}^2 + (\pi n)^2} + \frac{\mathcal{L}}{\mathcal{L}^2 + (\pi n)^2} \times$ $\times \cos\left(\frac{\pi n}{T} t\right) + \left[ \frac{1}{\mathcal{L}^2 + (\pi n)^2} - \frac{e^{-\mathcal{L} k l}}{\mathcal{L}^2 + (\pi n)^2} \right] \times$ $\times \left[ \mathcal{L} \sin(\pi n k) + \frac{\pi n}{T} \cos(\pi n k) \right] \times$ $\times \sin\left(\frac{\pi n}{T} t\right)$
		b) 	$f(t) = k \frac{q_0' + q_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} \left\{ k (q_0' + q_0) \times \right.$ $\times \cos\left(\frac{\pi n}{T} t\right) \cdot \sin(\pi n k) + \frac{q_0' - q_0}{\pi n} \times$ $\times \sin\left(\frac{\pi n}{T} t\right) \left[ \cos(\pi n k) - 1 \right] \left. \right\}$

obrtnja glodala, prenos toplotne energije u okolinu, tj. hladjenje. Prethodno je pre razvoja u Fourier-ov red na osnovu oblika promene otpora, odabrana odgovarajuća funkcija sa kojom je vršena aproksimacija otpora rezanja. Šrafirana površina iznad apscisne ose predstavlja period zagrevanja (period generisanja toplotne energije), a površina ispod apscisne ose, period hladjenja.

Pod delovanjem takvih izvora toplotne energije, dolazi do nastajanja nestacionarnih temperaturnih polja u zoni rezanja. Nastala temperaturna polja mogu se proračunati korišćenjem elementarnih matematičke fizike, koji se odnose na provođenje toplotne energije u nestacionarnim uslovima. Polazi se pritom od Fourier-ove parcijalne diferencijalne jednačine i rubnih uslova druge vrste. Dobija se posmatranjem delovanja trenutnog tačkastog izvora toplotne energije izraz

$$G(z', r', t - \tau) = \frac{4}{(2a\sqrt{\pi(t-\tau)})^3} \left\{ \exp - \frac{(z_0 - z')^2 + r'^2}{4a^2(t-\tau)} + \exp - \frac{(z_0 + z')^2 + r'^2}{4a^2(t-\tau)} \right\} \quad (1)$$

Sumiranjem njegovog delovanja po vremenu i prostoru  $x^1$  u kojem deluje dobija se izraz za temperaturu u tački A (slika 2)



Slika 2.

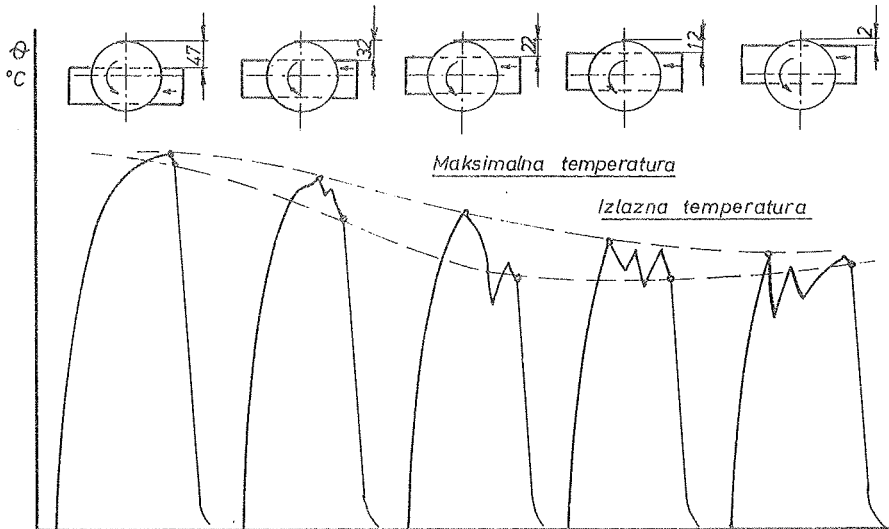
$$\Theta(z_0, t) = \int_{-\infty}^t d\tau \int_0^{\delta} dz' \int_0^{r_1} dr' Gq(\tau, r') \quad (2)$$

gde je  $G$  = temperaturna funkcija data jednačinom (1),  $q_1$  = specifična snaga periodičnog izvora toplotne energije (Tablica 2) za odgovarajuću shemu obrade (istosmerno ili protusmerno glodanje),  $r'$  = koordinata položaja tačkastog izvora energije,  $a^2$  = koeficijent termičke difuzije,  $\tau$  = vreme delovanja izvora, tj. proteklo vreme od početka rezanja do nastajanja prekida,  $t$  = vreme.

<sup>x)</sup> Periodično delovanje izvora toplotne energije iskazano je pomoću periodičke funkcije razvojem funkcije izvora u Fourier-ov red.

Integraljenje jednačine (2) dato je u [5]. Na osnovu te analize temperatursko polje ima ista svojstva periodičnosti kao i izvor pod čijim je delovanjem nastalo.

Analizom amplituda temperatura dobijeno je da je temperatura pri istosmernom glodanju niža u odnosu na protusmerno, što i eksperimenti potvrđuju (slika 3). Ovi su rezultati dobijeni me-



Slika 3.

renjem srednje temperature rezanja pomoću prirodnog termopara pri obradi čelika Č.1730 čeonim glodačem od tvrdog metala, u uslovima različitih položaja glodala prema predmetu. Pri obradi čelika OC 100 u istim uslovima pri istosmernom glodanju dolazilo je, sem do skoka sile i do skoka srednje temperature rezanja (Tablica 2, slučaj a).

### 3. Zaključak

Na osnovu iznetog može se zaključiti:

- (i) Pod uticajem "efekta veličine" pri protusmernom glodanju žilavih čelika povećava se radijalni otpor rezanja. To povećanje radijalne komponente otpora utiče na povećanje napona trenja na ledjnoj površini i temperature, a usled toga nastaje intenzivnije habanje i smanjenje postojanosti.

- (ii) Pri suprotnosmernom glodanju tvrdih čelika uticaj veličine je manji, ali je zato pri istosmernom glodanju, pri sudaru sečiva i materijala, dinamički efekat veći. Veće su sile akcije i reakcije, prema tome, usled čega su i ove komponente dinamičkih naprezanja veće. Zbog toga se preporučuje suprotnosmerni način glodanja tvrdih čelika.

#### 4. Literatura

- [1] I.N.Zorev, N.P.Virko, Stejkost' i proizvoditel'nost tarcevyh frez pri smeščenij zagotovki otnositeljno frezy, Zbornik isledovanij v oblasti tehnologii obrabotki metallov rezaniem, redakcija Isaev A.I., Mašgiz, Moskva (1957)
- [2] M.Kronenberg, Grundzüge der Zerspanungslehre, Zweiter Band, Springer - Verlag, Berlin (1963)
- [3] M.Jovičić, Neka pitanja eksploatacije čeonih glodala sa tvrdim metalom, Mašinstvo 14 (1965) 2320
- [4] S.Zahar, Uticaj položaja ose čeonih glodala sa tvrdim metalom na srednju temperaturu rezanja, habanje sečiva i postojanost, Zbornik V Savetovanje proizvodnog mašinstva, Kragujevac (1969)
- [5] D.Vukelja, Prilog izučavanju toplotnog režima u uslovima prekidnog rezanja, Saopštenja IAMA 8 (1968)
- [6] H.Opitz, W.Lehwald, Untersuchungen über den Einsatz von Hartmetallen beim Fräsen, Forschungsber. Landes Nordrhein Westfalen, Nr. 1146 (1963)

D. Vukelja, S. Zahar

#### EIN BEITRAG ZUR ANALYSE DES EINFLUSSES DER LAGE DES WERKZEUGES ZUM WERKSTÜCK AUF DIE THERMISCHEN VERHÄLTNISSE BEIM STIRNFRÄSEN MIT HARTMETALL

Beim Stirnfräsen mit Hartmetall hat die Lage des Werkzeuges zum Werkstück, die durch die Grösse K definiert ist, einen grossen Einfluss auf die Standzeit des Werkzeuges. Im Rahmen des Projekts "Systematische Untersuchung der Zerspanbarkeit von einheimischen Werkstoffen mit den einheimischen Werkzeugen", der im IAMA Beograd durchgeführt wird, wurde auch dieser Einfluss untersucht. Indieser Arbeit werden einigen Ergebnissedargestellt, die sich bei der Analyse von thermischen Verhältnissen beim Stirnfräsen für das Gleichlauf- und Gegenlaufräsen ergeben wurden. Es wurde festgestellt, dass beim Gegenlaufräsen die radiale Schnittkraft wächst und dadurch die Schneidtemperatur und der Verschleiss grösser sind, was auf den Einfluss der Grösse (size effect) zurückzuführen ist. Dieser Einfluss ist ausgeprägter beim Fräsen von zähen Werkstoffen, während beim Fräsen von harten Werkstoffen entsteht eine dynamische Wirkung beim Auftreffen des Fräsmessers mit dem Werkstück, so dass für solchen Werkstoffe das Gegenlaufräsen geeigneter ist.

B.Ivković<sup>x</sup>

DEFINISANJE OBRADLJIVOSTI KONSTRUKCIJSKIH MATERIJALA U RADIONI-  
ČKIM USLOVIMA POMOĆU RADIOAKTIVNIH IZOTOPA<sup>xxx</sup>

## 1.Uvod

Poznavanje osobina obradljivosti konstrukcijskih materijala je-  
dan je od osnovnih preduslova za pravilan izbor ekonomičnih re-  
žima rezanja. Ostvarivanje ekonomične postojanosti alata u proi-  
zvodnji zavisi, veoma mnogo, od standardnosti kvaliteta konstru-  
kijskih materijala sa gledišta obradljivosti. U serijskoj proi-  
zvodnji većeg obima, a naročito u masovnoj proizvodnji poremeća-  
ji koji se mogu javiti u razvoju tehnološkog procesa, kao posle-  
dica intezivnijeg habanja alata od predviđenog, mogu da budu  
veoma veliki i da imaju znatnog odraza na vremenski stepen kori-  
šćenja proizvodnih mašina kao i na dužinu trajanja proizvodnog  
ciklusa. Ovo su razlozi zbog kojih se kontrola osobina obradlji-  
vosti konstrukcijskih materijala pre početka izrade svake seri-  
je smatra vrlo korisnom a u masovnoj proizvodnji i neophodnom.

Istraživački radovi koji se na polju obradljivosti neprekidno  
vrše u istraživačkim institutima i laboratorijama omogućavaju  
sagledavanje oblasti u kojima se kreću moguće brzine rezanja, mo-  
guće veličine pomoćnog kretanja, moguće dubine rezanja i slično  
pri obradi raznih vrsta konstrukcijskih materijala. Međutim, po-  
lufabrikati na kojima se rezanje vrši, vrlo često poseduju raz-  
ličite osobine u pogledu obradljivosti bez obzira što se uvek  
radi o materijalima istog ili sličnog hemijskog sastava.

---

<sup>x</sup> Dr.Branko Ivković, dipl.ing., docent Mašinskog fakulteta Odelenje  
u Kragujevcu.

<sup>xxx</sup> Saopštenje je proizašlo iz rada na razvoju industrijskih meto-  
da kontrole kvaliteta materijala i alata koje se zasnivaju na  
primeni radioaktivnih izotopa.

Put koji vodi do upoznavanja obradljivosti nekog materijala preko upoznavanja kompletnog ili nekompletnog proširenog izraza za brzinu rezanja moguće je ostvariti samo kroz realizaciju odgovarajućih istraživačkih projekata u institutima i laboratorijama. Vreme potrebno za realizaciju ovakvih projekata upotrebom bilo kojih istraživačkih metoda, pa i radioaktivnih, je takve veličine da unapred isključuje mogućnost korišćenja ovog puta za kontrolu obradljivosti materijala u redovnoj proizvodnji.

U tekstu koji sledi razmatra se mogućnost uvođenja kontrole kvaliteta materijala sa gledišta obradljivosti merenjem otpornosti na habanje alata novom radioaktivnom metodom.

## 2. Obradljivost konstrukcijskih materijala

Pojam obradljivosti materijala veoma je složen. Definicija obradljivosti ima više ali se za ni jednu ne može reći da ovaj pojam objašnjava u potpunosti. Možda je najbliža opštoj definicija po kojoj se pod pojmom "obradljivost" podrazumeva lakoća sa kojom materijal može da bude obradjen u odredjenim proizvodnim uslovima.

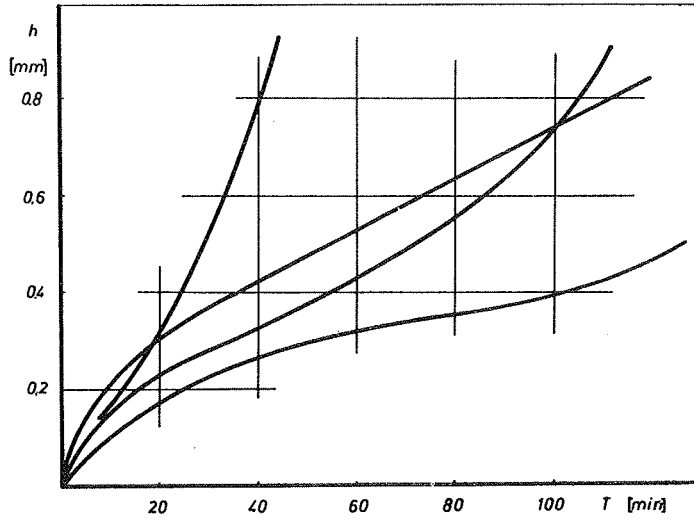
Kriterijuma za ocenu obradljivosti materijala ima, takodje, veoma mnogo. Najčešće se, međjutim, koristi kriterijum zasnovan na poznatom Tajlorovom izrazu za brzinu rezanja.

$$v \cdot T^m = C$$

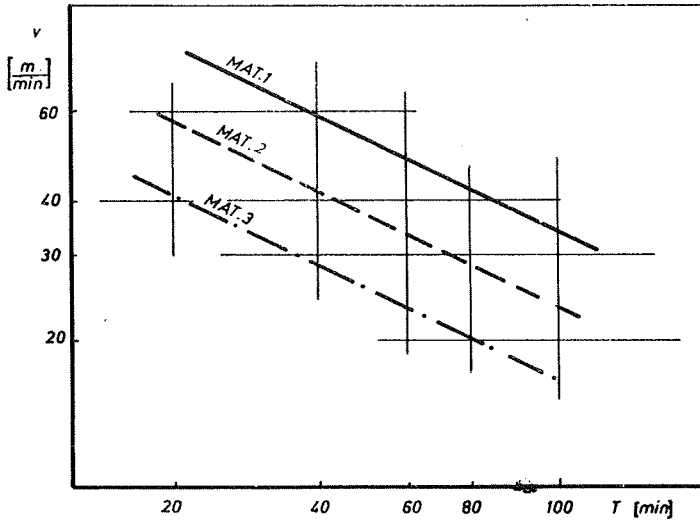
Drugim rečima položaj Tajlorove krive u duplo logaritamskom koordinatnom sistemu u dovoljnoj meri jasno ukazuje na odnos u osobinama obradljivosti, na primer, dve ili tri vrste konstrukcijskih materijala./slika 1/.

Da bi se definisala jedna Tajlorova kriva neophodno je, eksperimentalnim putem, dobiti najmanje tri tačke u koordinatnom sistemu  $\log T, \log v$ . Ovo znači da za upoznavanje obradljivosti tri vrste konstrukcijskih materijala potrebno je, eksperimentalnim putem, dobiti najmanje devet tačaka. Do eksperimentalnih tačaka potrebnih za definisanje položaja Tajlorove krive u koordinatnom sistemu  $\log T,$





SI.2



SI.1

logv dolazi se rezanjem do potpunog zatupljenja alata odnosno definisanjem eksperimentalnih krivih habanja.

## 2.1. Krive habanja

Praćenje razvoja procesa habanja reznog dela alata registrovanjem promena na grudnoj ili ledjnoj površini u toku rezanja, do vodi do mogućnosti konstruisanja eksperimentalnih krivih habanja u odgovarajućim koordinatnim sistemima. U većini slučajeva kao parametar habanja koristi se širina pojasa habanja na ledjnoj površini reznog dela alata. Praćenjem promena širine pojasa habanja u toku rezanja dolazi se do eksperimentalnih krivih habanja čiji oblik i položaj u koordinatnom sistemu  $h, T$  zavisi od proizvodnih uslova pod kojima se rezanje vrši. Na slici 2 prikazano je nekoliko tipičnih oblika krivih habanja kojima je registrovan proces razvoja pojasa habanja na ledjnoj površini reznog dela glodala, strugarskih noževa i spiralnih burgija.

U većini slučajeva eksperimentalne krive habanja mogu biti aproksimirane sa dve parabole oblika

$$h = C_1 T^{z_1} \quad \left| \begin{array}{l} T = T_1 \\ T = 0 \end{array} \right.$$
$$h = C_2 T^{z_2} + C_3 \quad \left| \begin{array}{l} T = T_K \\ T = T_1 \end{array} \right.$$

Vrednost konstanti  $C_1, C_2, C_3$  i eksponenata  $z_1$  i  $z_2$  zavisi od vrlo velikog broja faktora kojima su definisani proizvodni uslovi pod kojima se obrada vrši.

Da bi se konstruisale tri Tajlorove krive potrebno je imati devet eksperimentalnih krivih habanja, što znači da je potrebno rezati ukupno:

$$T_u = \sum_{i=1}^n T_i$$

$T_i$  - Postojanost alata za usvojeni kriterijum zatupljenja.

Očigledno je da ispitivanje obradljivosti konstrukcijskih materijala u radioničkim uslovima pre početka izvodjenja svake serije proizvoda, po izloženom postupku nije moguće sprovesti, jer odnosi veoma mnogo vremena a osim toga javlja se i problem verodosto-

jnosti dobivenih rezultata s obzirom da bi broj uzoraka /pretstav-  
nika serije/ na kojima bi se ovakva ispitivanja vršila bio veoma  
mali.

Da bi se upoznala osobina obradljivosti serije polufabrikata neo-  
phodno je statističkom metodom odabrati odgovarajući broj repreze-  
ntativnih uzoraka i na svima izvršiti ispitivanje obradljivosti. O-  
vo su razlozi zbog kojih utvrđivanje obradljivosti serije polufa-  
brikata pre početka izrade svake serije proizvoda nije moguće spr-  
ovesti metodama koje se zasnivaju na poznavanju položaja Tajlorove  
krive u odgovarajućem koordinatnom sistemu.

Dosadašnji razvoj radioaktivnih metoda za ispitivanje procesa ha-  
banja alata omogućio je merenje i inteziteta habanja i otpornosti  
na habanje. I jedna i druga veličina može da bude izmerena ili me-  
renjem radioaktivnosti strugotine skinute radioaktivnim alatom ili  
merenjem opadanja radioaktivnosti reznog dela alata koji je pret-  
hodno bio ozračen.

## 2.2. Intezitet habanja i otpornost na habanje

Ako se eksperimentalna kriva habanja aproksimira sa dve parabole  
oblika

$$h = C_1 \cdot T^{z_1} \quad \left| \begin{array}{l} T = T_f \\ T = 0 \end{array} \right.$$

$$h = C_2 \cdot T^{z_2} + C_3 \quad \left| \begin{array}{l} T = T_k \\ T = T_f \end{array} \right.$$

što je moguće učiniti u većini slučajeva tada diferenciranjem obe  
funkcije po vremenu T dobivaju se odgovarajući izrazi za intezi-  
tet habanja.

$$\frac{dh}{dT} = C_1 \cdot z_1 \cdot T^{z_1-1} = f_1(T)$$

$$\frac{dh}{dT} = C_2 \cdot z_2 \cdot T^{z_2-1} = f_2(T)$$

Izvedeni izrazi za intezitet habanja pokazuju da je i intezitet  
habanja funkcija vremena rezanja. U zavisnosti od veličine ekspo-  
nenata  $z_1$  i  $z_2$  intezitet habanja raste ili opada, sa vremenom  
rezanja.

Do sada izveđa istraživanja pokazuju da u prvom periodu rezanja intezitet habaja opada sa vremenom rezanja, odnosno vrednost eksponenta  $z_1$  manja je od jedinice. Vrednost eksponenta  $z_2$  uvek je veća od jedinice tako da u drugom periodu rezanja intezitet habanja raste a u izvesnim slučajevima ostaje konstanta u dužem vremenskom periodu.

Merenjem radioaktivnosti strugotine skinute za vreme rezanja u kratkom vremenskom intervalu dolazi se do inteziteta habanja reznog dela alata. Da bi se razvijena radioaktivna metoda, koja se zasniva na merenju radioaktivnosti strugotine, koristila za definisanje inteziteta habanja alata neophodno je da specifična aktivnost reznog dela alata bude oko 2-3mC/g. Ovako visoka specifična radioaktivnost ograničava moguću težinu reznog elementa na 2-3gr. što uslovljava primenu razvijene metode na rezne alate čiji se rezni elementi mehanički pričvršćuju za nosač /strugarski noževi, rezne glave i slično/.

Definisanje inteziteta habanja alata velike mase izradjenih od brzoreznog čelika mora se očigledno vršiti radioaktivnom metodom razvijenom na drugačijim osnovama. Takodje je očigledno da kontrola obradljivosti polufabrikata nije moguća, u radioničkim uslovima, sa reznim alatima čija ukupna radioaktivnost iznosi oko 5mC.

Analitički izraz za krivu habanja može da bude napisan i u drugačijem obliku.

$$T = K_1 h^{u_1} \left| \begin{array}{l} h = h_1 \\ h = 0 \end{array} \right.$$

$$T = K_2 h^{u_2} + K_3 \left| \begin{array}{l} h = h_K \\ h = h \end{array} \right.$$

Diferenciranjem vremena T po stepenu pohabanosti alata h dolazi se do izraza za otpornost na habanje.

$$O_1 = \frac{dT}{dh} = K_1 u_1 h^{u_1-1} = f_1(T)$$

$$O_2 = \frac{dT}{dh} = K_2 u_2 h^{u_2-1} = f_2(T)$$

Otpornost na habanje je veličina recipročna intezitetu habanja.

### 3. Kontrola obradljivosti materijala merenjem otpornosti na habanje alata

Merenjem otpornosti na habanje moguće je vršiti pri različitim stepenima pohabanosti alata bilo kojom radioaktivnom metodom. Obe funkcije  $O=f/h/$  u duplo logaritamskom koordinatnom sistemu pretstavljene su pravim linijama.(sl.3)

$$\log O_1 = \log(K_1 u_1) + (u_1 - 1) \log h$$

$$\log O_2 = \log(K_2 u_2) + (u_2 - 1) \log h$$

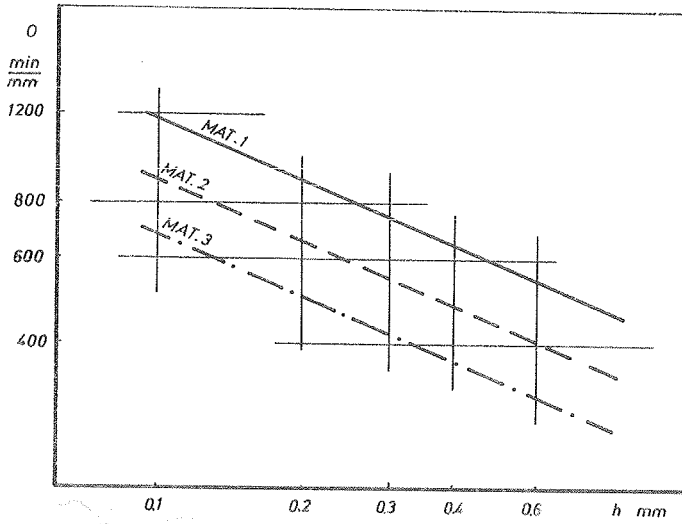
Merenjem otpornosti na habanje i tri stepena pohabanosti alata koji pripadaju, na primer, drugom periodu habanja moguće je definisati funkciju  $O_2=f_2/h/$ . Definisanjem ove funkcije za različite slučajeve obrade /različite u pogledu, na primer, upotrebljene brzine rezanja moguće je definisati i funkciju  $O=f/v/$  i to za različite kriterijume zatupljenja alata, /slika 4/. Kako su funkcije  $O=f/v/$  pretstavljene u odgovarajućim duplo logaritamskom koordinatnom sistemu pravim linijama to je očigledno da su i ove funkcije eksponencijalne prirode oblika:

$$O = \frac{C_0}{v^k}$$

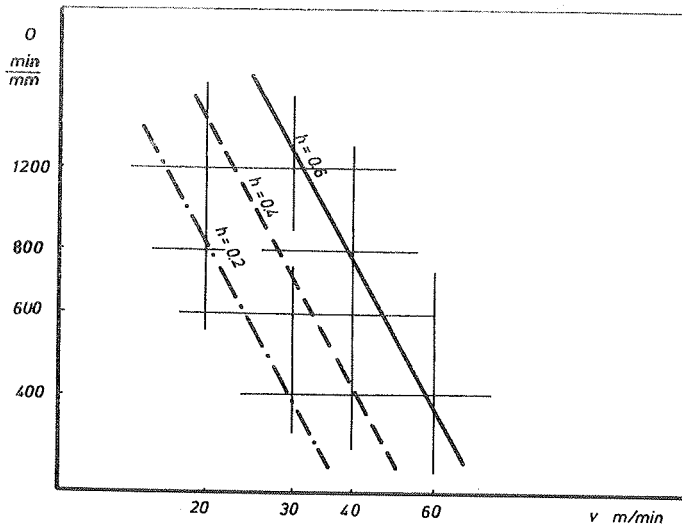
gde je  $C_0$  konstanta a  $k$  eksponent čije veličine zavise od proizvodnih uslova pod kojima se rezanje vrši. Nije nepotrebno potsetiti da i veličina konstante  $C$  i eksponenta  $m$  koje sadrži Tajlorov izraz za brzinu rezanja takodje zavise od proizvodnih uslova pod kojima se rezanje vrši.

$$C v^m = C \quad ; \quad v O^{\frac{1}{k}} = C_0$$

Obe funkcije definišu se sistematskim ispitivanjem obradljivosti materijala pri obradi pod različitim proizvodnim uslovima koje karakterišu vrsta obrade, dubine rezanja, veličine pomoćnog kretanja, vrste sredstava za hladjenje i podmazivanje itd. Poznavanje obe funkcije za jednu vrstu materijala pri obradi jednom vrstom



SI.3



SI.4

obrade, pruža mogućnost uspostavljanja veze između postojanosti alata i otpornosti na habanje i uvođenje kontrole obradljivosti materijala merenjem samo otpornosti na habanje.

Na primer ako se sistematskim ispitivanjem došlo do veličine eksponenata  $m$  i  $k$  i konstanti  $C$  i  $C_0$  pri obradi glodanjem valjkastim glodalima onda se može napisati da je u opštem slučaju :

$$\frac{C}{C_0} = x_1 \quad \frac{m}{k} = x_2$$

Poznavanjem navedenih odnosa između konstanti i eksponenata koje sadrže izrazi za otpornost na habanje i postojanost alata moguće je merenjem samo otpornosti na habanje jedne serije polufabrikata definisati i odgovarajuće brzine rezanja koje omogućuju ostvarivanje ekonomične postojanosti alata. Pri tome je neophodno napomenuti da kontrolu obradljivosti konstrukcijskih materijala moguće je uvesti samo za one materijale koji su bar jednom na sistematski način ispitani i za koje imamo i proširene izraze za brzinu rezanja i odgovarajuće izraze za otpornost na habanje.

Kako je za merenje otpornosti na habanje potrebno rezati vrlo kratko vreme i izmeriti odgovarajući korak pohabanosti alata, odnosno kako je potrebno ispuniti uslov

$$\frac{\Delta T}{\Delta h} = \frac{dT}{dh}$$

to je neophodno raspolagati i sa odgovarajućom instrumentacijom koja može da registruje i vrlo male promene u pohabanosti alata.

Potreba za ispunjenje gornjih uslova navodi odmah i na zaključak da je moguće, primenom odgovarajućih etalon alata, vršiti kontrolu obradljivosti serije polufabrikata statističkom metodom izdvajajući odgovarajući broj uzoraka i vršeći na njima kratkotrajno rezanje koje neće smetati daljoj obradi komada a omogućiće realno sagledavanje osobina obradljivosti cele serije polufabrikata.

#### 4. Merna instrumentacija

Kontrolni punktovi za izvodjenje kontrole obradljivosti polufabrikata u proizvodnim organizacionim jedinicama moraju da budu izgradjeni tako da ispunjavaju sledeće uslove:

- Kontrola obradljivosti mora da bude tako organizovana da ne uslovljava zastoje u razvoju tehnološkog procesa.
- Kontrola obradljivosti polufabrikata mora da obuhvati dovoljan broj uzoraka koji reprezentuju celu seriju.
- Kontrola obradljivosti ne sme da uslovljava uništavanje određenog broja polufabrikata jer su oni po pravilu i veoma skupi, naročito ako se radi o odlivcima i otkovcima.
- Kontrola obradljivosti treba da obezbedi merenje otpornosti na habanje pri onim vrstama obrade koje su u procesu obrade polufabrikata najviše zastupljene.

Sve navedene uslove moguće je ostvariti izgradnjom kontrolnih punktova u kojima će se za kontrolu obradljivosti koristiti radioaktivna metoda zasnovana na praćenju promena u radioaktivnosti reznog elementa u toku rezanja.

Kontrolni punkt koji bi koristio novu radioaktivnu metodu za merenje otpornosti alata na habanje trebao bi da sadrži:

- Brojački komplet za merenje radioaktivnosti ozračenih alata.
- Određeni broj ozračenih alata raznih vrsta ozračenih po onim površinama reznog elementa koje se najizrazitije habaju.
- Odgovarajući scintilacionu sondu sa potrebnim priborom koji obezbedjuje konstantnu geometriju merenja radioaktivnosti ozračenih alata.

Na slici 5 prikazana je potrebna instrumentacija za jedan kontrolni punkt namenjen kontroli obradljivosti pri obradi glodanjem. Svu potrebnu instrumentaciju izrađuje institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" iz Beograda.

#### 5. Zaključci

Kontrola obradljivosti materijala, posebno polufabrikata koji u proizvodnji dolaze u obliku otkovaka i odlivaka, smatra se neophodno naročito u serijskoj proizvodnji većeg obima i masovnej proizvodnji.

OR.23.10.



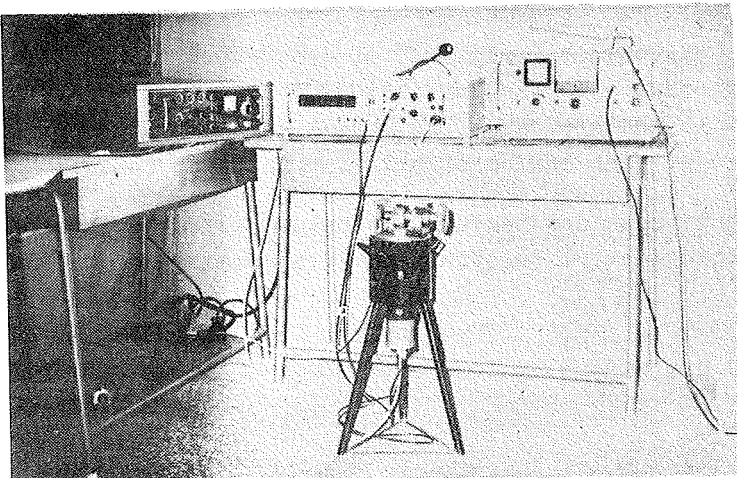
Upoznavanje mogućih režima rezanja /brzine rezanja/svake serije polufabrikata pre početka obrade omogućuje:

- Ostvarenje ekonomične postojanosti alata i minimalne moguće troškove obrade u postojećim proizvodnim uslovima,
- kontinualan razvoj tehnološkog procesa po programu koji je tehnološkom dokumentacijom predviđen jer se eliminiše pojava intezivnijeg habanja alata od predviđenih pa prema tome i veći broj zastoja mašine zbog potrebe za promenom alata,
- definisanje realnog veka trajanja alata i optimalno programiranje njihove nabavke.

Kontrola obradljivosti materijala metodom zasnovanom na merenju otpornosti alata na habanje omogućava:

- Uvodjenje statističke kontrole kvaliteta materijala sa gledišta obradljivosti,
- definisanje optimalnih režima rezanja za sva proizvodna radna mesta na kojima su troškovi obrade relativno veliki.

Kontrola obradljivosti materijala zasnovana na merenju otpornosti alata na habanje moguća je samo u slučaju kada radioaktivnost alata ne prelazi 0,03 mikro kirija.



Sl. 5

Ovako nisku radioaktivnost imaju samo alati koji se ozračuju metodom deponovanja radioaktivnog kobalta na odgovarajuće površine reznog elementa.

## Literatura

- 1 N.F.Kazakov, Radioaktivnie izotopi v issledovanii iznosa re-  
žušćego instrumenta, Mašgiz, Moskva /1960/
- 2 M.E.Merchant, H.Ernst, E.J.Krabacher, Radioactive Cutting  
Tools for Rapid Tool-Life Testing, ASME /1953/
- 3 B.Colding, L.G.Erwall, Wear Studies of Irradiated Carbide Cu-  
tting Tools, Nucleonics, February /1953/
- 4 B.Ivković, Odredjivanje obradljivosti konstrukcijskih materi-  
jala i eksploatacijskih karakteristika glodala merenjem inte-  
zитета habanja pomoću radioaktivnih izotopa, Mašinstvo, 16/1957/  
M.184
- 5 B.Ivković, Nova radioaktivna metoda za ispitivanje obradljivo-  
sti konstrukcijskih materijala i eksploatacijskih karakteris-  
tika višesećnih reznih alata, V-to savetovanje proizvodnog  
mašinstva, Kragujevac /1969/.

B.Ivković

### MATERIALS MACHINABILITY TESTS IN WORKSHOP CONDITIONS BY RADIOAC- TIVE ISOTOPES

Besides the systematic researches of constructional materials ma-  
chinability, that are constantly being done at Institutes and Labo-  
ratories, it is indispensable, in serial and mass production a ma-  
chining test of each series of half-fabric to be done.

In this report new fundamentals are being suggested for industrial  
methods development of constructional materials machinability tests.

Z. SELJAK \*

POGOJI OBDELAVE S STRUŽENJEM KONSTRUKCIJSKIH JEKEL \*\*

Kadar obravnavamo obdelavo s struženjem, zasledujemo pomemben faktor v proizvodnji, to je ekonomičnost obdelave. Stremeti moramo za tem, da obdelujemo pod optimalnimi pogoji. Mnogo avtorjev je že obravnavalo teoretično razmerje med hitrostjo rezanja in obstojnostjo, ki je podano z naslednjo enačbo:

$$T \cdot v^n = C \quad (1)$$

Pri določanju pogojev obdelave pa ne moremo upoštevati samo razmerja med hitrostjo in obstojnostjo, pač pa so pomembne tudi druge karakteristike. Te so npr. rezalne sile in delo, ki je potrebno za odjem določene količine odrezkov, oblika odrezkov, kvaliteta obdelane površine in natančnost obdelave /1/. Naštete karakteristike predstavljajo tudi omejitve, kadar ugotavljamo optimalne pogoje obdelave.

OBDELOVALNOST

V naši raziskavi smo z eksperimenti ugotavljali obstojnost orodja iz karbidne trdine za različne rezalne in podajale hitrosti pri obdelavi legiranega konstrukcijskega jekla.

Obdelovalni material: Č.4144 (OCR4, Železarna Ravne) kovani obroči  $\varnothing 254 \times \varnothing 190 \times 92$  mm, normalizirani, trdnost 80 do 90 kp/mm<sup>2</sup>.

Orodje: dvostranske ploščice iz karbidne trdine SNMG 1906, P30 (po ISO) z žlebom na cepilni ploskvi za oblikovanje odrezkov, mehansko vpete v držala Tmax P PSBNR 20-6hR 1743 3232-19

geometrija orodja: 

$\alpha$	$\beta$	$\lambda$	$\chi$	$\epsilon$	$r$
6°	-8°	6°	75°	90°	1,6 mm

Obdelovalni stroj: univerzalna stružnica, Prvomajska UT 250.

\* Mag. Zoran Seljak, dipl.ing., sodelavec Fakultete za strojništvo, Univerze v Ljubljani

\*\* Raziskava je potekala na Inštitutu za strojništvo, Ljubljana.

Obrabo na prosti ploskvi smo merili na orodjarskem mikroskopu tako, da smo ploščice izpenjali v določenih časovnih intervalih iz držal in postavljali na odgo-varjajoč podstavek na mikroskopu.

Na merilniku hrapavosti Talysurf M4 je bila merjena hrapavost obdelane površine.

Pogoji obdelave:

reزالne hitrosti:  $v = 83,5$  do  $178,7$  m/min (8 hitrosti)

podajalne hitrosti:  $s = 0,125, 0,250$  in  $0,350$  mm/vrt. brez hlajenja.

Zbrane merilne rezultate smo vrednotili statistično /2/. Z multiplo regresijo je bilo možno ugotoviti korelacijo med obrabo, hitrostjo rezanja in hitrostjo podajanja. Upošteevano je naslednje razmerje:

$$VB = a \cdot v^B \cdot s^C \cdot T^D \quad (2)$$

Linearno obliko te enačbe lahko dobimo z logaritmiranjem

$$\log VB = \log a + B \log v + C \log s + D \log T \quad \text{ali} \quad (3)$$

$$Y = A + BX_1 + CX_2 + DX_3 \quad (4)$$

Zvezo med spremenljivkami določimo z metodo najmanjših kvadratov. Izpolnjena morata biti dva pogoja:

- a) vsota vseh odstopkov posameznih točk od premice, dobili smo jih z eksperimenti, mora biti enaka nič
- b) vsota vseh kvadratov odstopkov mora biti minimalna.

Prostor nam tu ne dopušča matematičnih izvajanj enačb za multiplo regresijo.

Vsi izračuni so bili opravljeni na računalniku IBM 1130, Inštituta za matematiko Univerze v Ljubljani. Program je bil pisan v programskem jeziku FORTRAN IV.

Izračunana vrednost za regresijsko enačbo je naslednja:

$$Y = -7,13799 + 1,38200 X_1 + 0,07787 X_2 + 0,52272 X_3 \quad \text{ali} \quad (5)$$

$$VB = e^{-7,13799} \cdot v^{1,38200} \cdot s^{0,07787} \cdot T^{0,52272} \quad (6)$$

$$A = -7,13799 \quad C = 0,07787$$

$$B = 1,38200 \quad D = 0,52272$$

#### OPTIMIZACIJA OBDELOVALNIH POGOJEV

Ugotavljanje optimalnih obdelovalnih pogojev je bilo že večkrat obravnavano. Pri

tem so bile različno natančne analize. Problem je predvsem v natančni analizi elementov, ki sestavljajo ceno obdelave struženega obdelovanca. Zaradi vedno dražjih izvedb obdelovalnih strojev, pri katerih lahko znatno zmanjšamo pomožne čase, kaže analiza stroškov, da moramo rezalne hitrosti dvigniti na račun obstojnosti orodja. V preteklosti je veljala npr. hitrost struženja  $v_{240}$  ali  $v_{60}$ , to pomeni, da je orodje vzdržalo 240 ali 60 minut efektivnega struženja. Na modernih strojih imamo dostikrat optimalno hitrost obdelave veliko večjo tako, da je obstojnost le 20 ali celo 10 minut za rezalni rob /3/.

Z rezultati, ki smo jih dobili z raziskavo, bomo preračunali optimalne pogoje dela za naslednji primer:

Polavtomatična stružnica SPL 32,  
 največji premer struženja nad suportom  $\emptyset$  315,  
 moč glavnega motorja 17/22 kW  
 dovoljeni moment na vretenu 120 kpm,  
 število vrtljajev vretena, 63 do 1400 vrt/min,  
 podajalne hitrosti : 0,05, 0,12 0,25, 0,30, 0,33 0,60 in 1,2 mm.

Strošek pri obdelovalni operaciji sestavljajo naslednje komponente /4/:

- nastavljanje in čakalni časi
- obdelava
- čas zamenjave orodja
- ostrenje orodja (ako ga ostrimo)
- odpis orodja

Celotni strošek obdelave za obdelovance je v našem primeru reduciran na obdelavo obroča  $\emptyset$  254 x 83 mm,

globina rezanja:  $a = 5,5$  mm  
 dovoljena hrapavost:  $R_t = 12,5$   $\mu$ m  
 dovoljeni odstopki:  $\pm 0,3$  mm

a) strošek nastavljalnega in čakalnega časa na kos je:

$$C_1 = R_1 \cdot t_n \quad (7)$$

$R_1 = 35,-$  din/uro - predstavlja celotno režijo in direktne stroške delavca na enoto časa, razen za orodja.

$t_n = 0,44 \text{ min/kos}$  - čas nastavljanja in čakalni čas na kos.

b) obdelovalni strošek na kos je:

$$C_2 = \frac{R_1 \cdot d_o \cdot l_o}{s \cdot v} \quad (8)$$

$d_o = 254 \text{ mm}$  - premer obdelovanca

$l_o = 83 \text{ mm}$  - dolžina struženja

c) strošek menjave orodja - upoštevati mora pogostost menjavanja orodja in zato moramo uporabiti splošno enačbo obstojnosti orodja:

$$C_3 = \frac{d_o \cdot l_o}{C_{TS}^{1/n}} \cdot s^{m/n-1} \cdot v^{1/n-1} \cdot (R_1 \cdot t_w + \frac{W}{e}) \quad (9)$$

Z enačbo multiple regresije (2) lahko dobimo:

$$V^B \cdot S^C \cdot T^D = VB \cdot e^A \quad \text{ali} \quad (10)$$

$$v \cdot s^{C/B} \cdot T^{D/B} = v \cdot s^m \cdot T^n = (VB \cdot e^A)^{1/B} = C_{TS} \quad (11)$$

$$m = \frac{C}{B} \quad (12)$$

$$n = \frac{D}{B} \quad (13)$$

Konstanta pa je:

$$C_{TS} = (VB \cdot e^A)^{1/B} = (0,8 \cdot 1259)^{0,724} = 147,9 \quad (14)$$

$t_w = 0,6 \text{ min/ploščico}$  - čas menjave ploščice

$W = 33 \text{ din/ploščico}$  - cena ene ploščice

$e = 8$  - število rezalnih robov na ploščici.

### Omejitve

Pri izračunu optimalnih pogojev obdelave imamo naslednje omejitve:

a) omejitev podajanja zaradi hrapavosti površine

$$s = (8 \cdot R_t \cdot r)^{1/2} \cdot \text{kor.} = (8 \cdot 0,0125 \cdot 1,6)^{1/2} \cdot 0,75 = 0,30 \text{ mm/vrt} \quad (15)$$

b) omejitev podajanja pri upoštevanju razpoložljive moči:

$$s = \left[ \frac{k_{s1} \cdot a^{1-q} \cdot C_T \cdot T^{-m}}{6120 \cdot N_m} \right]^{1/(z+m-1)} \quad (16)$$

$$s = \left[ \frac{263 \cdot 1010 \cdot 60^{-0,380}}{6120 \cdot 22} \right]^{1/(0,26 + 0,0567 - 1)} = 0,62 \text{ mm/vrt} \quad (17)$$

$$s = 0,62 \text{ mm/vrt} > 0,30 \text{ mm/vrt.}$$

Hrapavost obdelane površine omejuje podajanje na 0,30 mm/vrt.

Moč, ki je potrebna za struženje pri tem podajanju in pri hitrosti  $v = 122,5 \text{ m/min}$  j

$$N_c = \frac{F_v \cdot v}{6120} \leq N_m \quad (18)$$

$$F_v = k_{s1} \cdot a \cdot s^{1-z} \quad (19)$$

$$N_c = \frac{k_{s1} \cdot a \cdot s^{1-z} \cdot v}{6120 \cdot \eta} = \frac{263 \cdot 5,5 \cdot 0,3^{0,74} \cdot 122,5}{6120 \cdot 0,85} = 13,95 \text{ kW} \quad (20)$$

$$13,95 \text{ kW} < N_m = 22 \text{ kW}$$

Izračun optimalne hitrosti rezanja

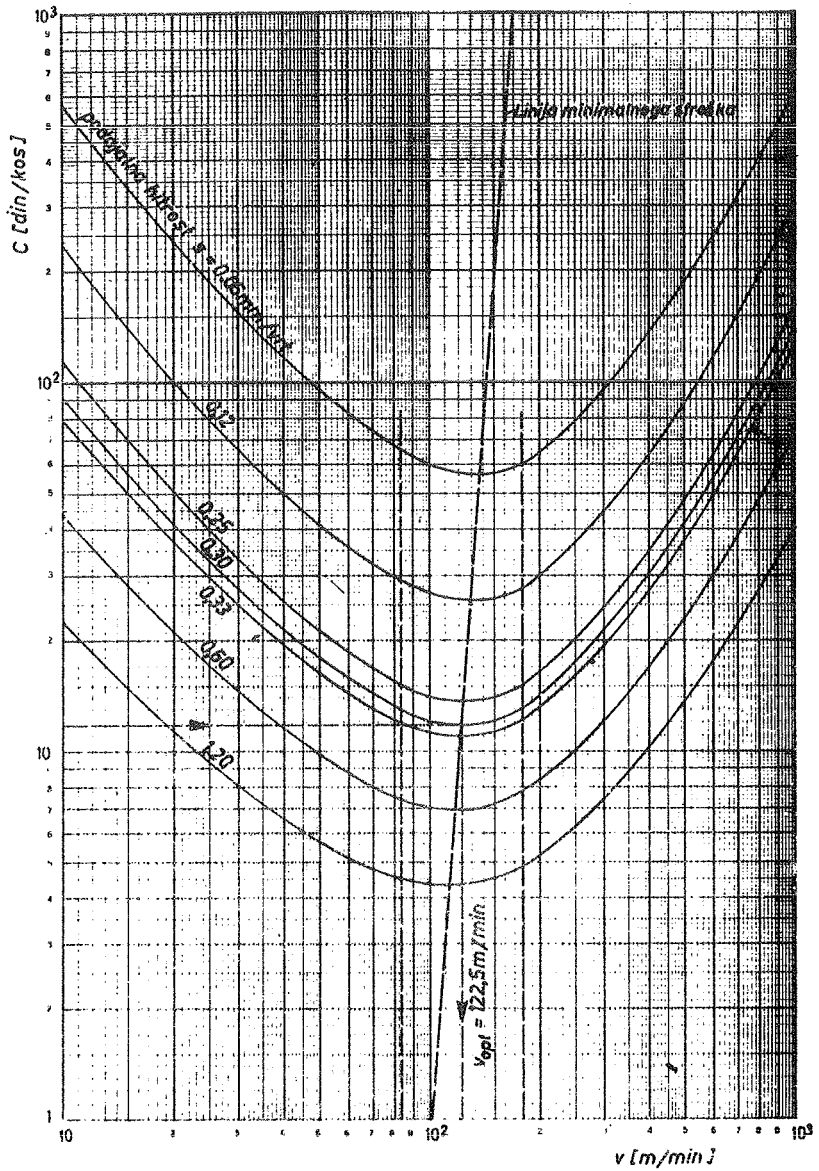
Ob upoštevanju vseh prej naštetih stroškov, ki sestavljajo ceno obdelave, dobimo naslednjo enačbo:

$$C = R_1 \cdot t_n + \frac{R_1 \cdot \mathcal{K} \cdot d_o \cdot l_o}{s \cdot v} + \frac{\mathcal{K} \cdot d_o \cdot l_o}{C_{TS} \cdot 1/n} \cdot s^{(m/n)-1} \cdot v^{(1/n)-1} \cdot \left[ R_1 \cdot t_w + \frac{W}{e} \right] \quad (21)$$

V enačbo vstavimo numerične vrednosti in dobimo obliko, ki je osnova za izračun stroškov v odvisnosti od  $v$  in od  $s$ .

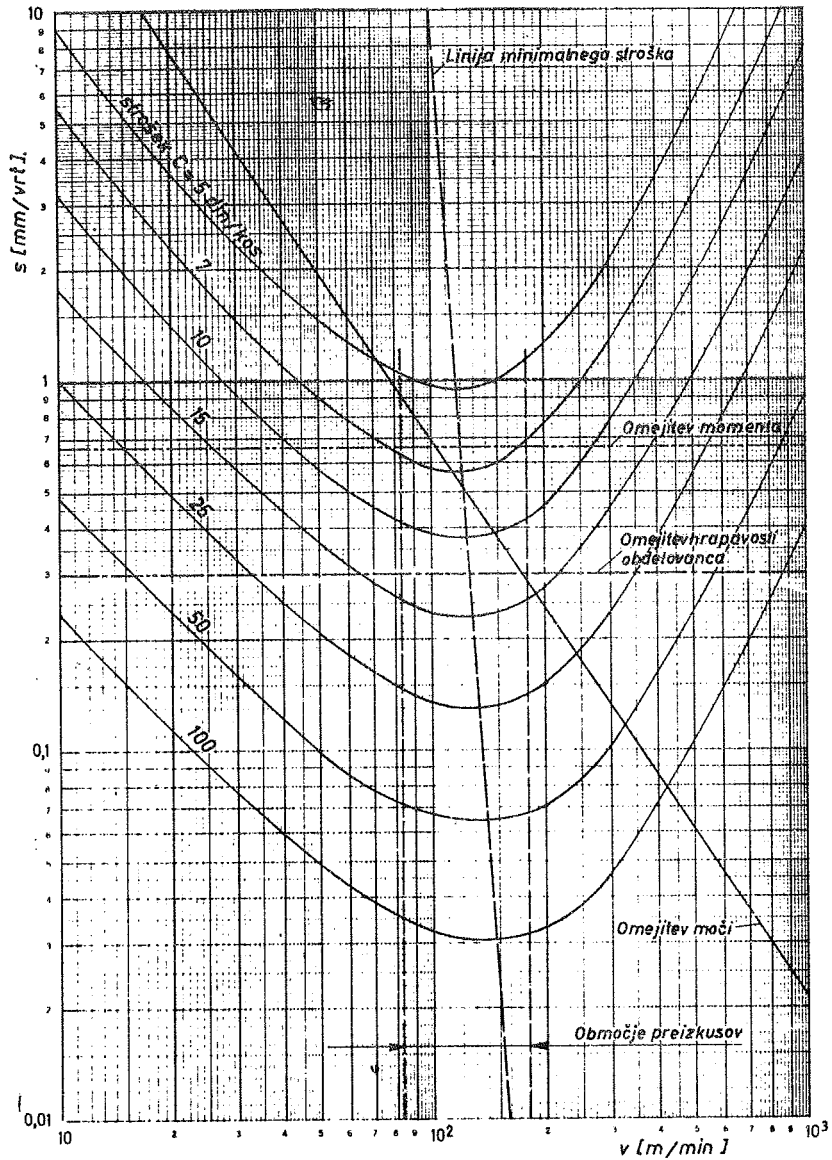
$$C = \frac{35 \cdot 0,44}{60} + \frac{35 \cdot \mathcal{K} \cdot 0,254 \cdot 0,083}{s \cdot v} + \frac{\mathcal{K} \cdot 0,254 \cdot 0,083}{147,9^{1/0,380}} \cdot s^{(0,0567/0,38)-1} \cdot v^{(1/0,380)-1} \cdot \left[ \frac{35 \cdot 0,03}{60} + \frac{33}{8} \right] \quad (22)$$

Pri izračunu za vrednosti  $C$  smo si pomagali z računalnikom in izračunali obdelovalne stroške za podajalne hitrosti 0,05, 0,12, 0,25, 0,30, 0,33 in 1,20 mm/vrt.



Slika 1: Prikaz podajalnih hitrosti v odvisnosti od rezalne hitrosti in stroškov obdelave za 1 kos





Slika 2. Prikaz stroškov obdelave v odvisnosti od rezalne hitrosti in od podajalne hitrosti.

Dobljene vrednosti so prikazane v diagramu slika 1, kjer je podano razmerje med rezalno hitrostjo in ceno. Na sliki 2 je prikazano razmerje med hitrostjo in podajanjem pri določenih cenah obdelave.

Na slikah 1 in 2 so razvidna razmerja med ceno, podajalno in rezalno hitrostjo. Za osnovo je bila računana polavtomatična stružnica SPL 32. Podane so omejitve momenta, omejitve moči in omejitve za kvaliteto površine. V našem primeru je omejitev zaradi hrapavosti površine na diagramu dosti nižje, kakor je dovoljeni moment na stružnici. Omejitve zaradi stabilnosti obdelovanca ali zaradi stabilnosti orodja v danem primeru niso nastopile.

Za bolj zanesljivo in splošno določanje optimalnih pogojev obdelave bi bilo potrebno še podrobneje analizirati vse elemente cene obdelave. Isto velja tudi za omejitve, ki se nanašajo na stabilnost stroja, orodja in obdelovanca, ki v našem primeru niso bile raziskane.

#### LITERATURA

- /1/ M.C. Shaw: Optimum Selection of Machine Tool Speeds and Feeds, Intern. J.Mach. Tool Des. Res., Vol. 5 (1965), pp. 25 - 34.
- /2/ Murray R. Spiegel: Theory and Problems of Statistics, Schaum Publishing, Co, New York, 1961.
- /3/ Avtorski kolektiv: Berichte über das 13. Werkzeugmaschinen-Kolloquium, Industrie-Anzeiger, Nr. 75, Sept. 1968.
- /4/ J. R. Crookall: The Performance - Envelope Concept in the Economies of Machining, Int.J.Mach. Tool Design and Research, Vol. 9 (1969) pp. 261-278.

.....

Z. SELJAK

#### DIE BEARBEITUNGSBEDINGUNGEN BEI DREHEN VON KONSTRUKTIONSTÄHLEN

Bei der spanhebender Bearbeitung wird immermehr auf die wirtschaftliche Seite achtgegeben. Deswegen streben wir zu der Optimierung der Bearbeitungsbedingungen von Schneidstoff - Werkstoff-Paarung in der Abhängigkeit zu der Werkzeugmaschine. Hierbei muss man den Standzeitverhalten der Werkzeuge, die Bearbeitungskosten sowie Begrenzungen, wie zum Beispiel die Oberflächenrauigkeit, Spankräfte und deren Momente die wehrend der Bearbeitung auftreten, in Betracht nehmen. Die Bilder zeigen die Verhältnisse zwischen den Schneid - und Vorschubgeschwindigkeiten in Bezug auf die Bearbeitungskosten.

E. Kuljanić<sup>x/</sup>

PRIMJENA PLANIRANJA POKUSA I MULTIREGRESIONE ANALIZE ZA ODREĐIVANJE ZAVISNOSTI HRAPAVOSTI POVRŠINE O NAJUTJECAJNIJIM FAKTORIMA OBRAD<sup>xx/</sup>E

## 1. Uvod

Pored materijala alata, koji je izvršio revoluciju u povećanju proizvodnosti, važan faktor u obradi materijala je i geometrija alata. Ona može znatno utjecati na postojanost alata, odnosno na proizvodnost, i na hrapavost obrađene površine.

Kod konstruiranja konstruktor propisuje pored dozvoljenih odstupanja oblika i dimenzija i hrapavost obrađene površine.

Određena hrapavost površine može se postići kod različitih kombinacija parametara režima obrade, geometrije alata i ostalih uvjeta rada. Međutim, nije svejedno s kojom od tih kombinacija se vrši obrada, budući da o njima zavise troškovi obrade i kvaliteta proizvoda.

Koje hrapavosti obrađene površine možemo očekivati kod pojedinih obrada možemo naći teoretskim putem. Tako definiranu hrapavost površine nazivamo teoretskom hrapavošću  $R_t$ .

Npr. za tokarenje i blanjanje teoretska hrapavost zavisi o posmaku  $s$  i radiusu zaobljenja  $r$  [1, 2, 3] :

$$R_t \cong \frac{s^2}{8r} \quad /1/$$

Zbog malog pojednostavljenja, u ovom izrazu imamo znak približnosti.

---

<sup>x/</sup> Mr Elso Kuljanić, dipl.ing.strojarstva, viši asistent u  
<sup>xx/</sup> Institutu za alatne strojeve, Zagreb  
Saopćenje iz Instituta za alatne strojeve, Zagreb, Đ.Salaja 1

Ako se obrada vrši sa šiljaticim nožem, ne može se izračunati teoretska hrapavost pomoću izraza /1/. U tom slučaju umjesto radiusa zaobljenja treba uzeti u obzir kut namještanja  $\alpha$  /glavna oštrica/ i  $\alpha_1$  /pomoćna oštrica/, tako da je teoretska hrapavost obrađene površine /3/:

$$R_t = s \cdot \frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \alpha_1}{\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \alpha_1} \quad /2/$$

Postoje i drugi izrazi koji obrađuju teoretsku hrapavost s većom tačnošću (Npr. izraz Sokolovskog i Brammerta.)

Međutim, teoretska hrapavost obrađene površine često se znatno razlikuje od stvarne hrapavosti površine. Razlog je u velikom broju utjecajnih faktora. Za primjenu, mnogo veću vrijednost imaju izrazi koji definiraju stvarnu hrapavost. Međutim, takvih izraza je malo, tako da je najčešće teško unaprijed odrediti hrapavost površine.

Jedan takav izraz našao je pomoću pokusa G. Balbo /2/ za tokarenje čelika C40 s nožem iz brzoreznog čelika, kod konstantne brzine rezanja:

$$v = 80 \text{ m/min,}$$

i konstantne dubine rezanja:

$$a = 0,4 \text{ mm}$$

$$R_a = 18,8 \sqrt{\frac{s}{r}} \cdot 0,208$$

Za tokarenje mesinga preporučuju se brzine rezanja koje su najčešće jednake ili veće od  $v = 400 \text{ m/min}$ . Međutim, na današnjim tokarilicama u većini slučajeva ne mogu se postići takve brzine rezanja, budući da se obično iz mesinga izrađuju obratci relativno malog promjera.

Zbog toga je u ovom radu odabrano tokarenje mesinga u području brzine rezanja  $v = 100 - 400 \text{ m/min}$ , koje se najčešće javlja u eksploataciji noževa s tvrdim metalom.

Primijenjeno je planiranje pokusa i multiregesiona analiza uz upotrebu elektronskog računala.

## 2. Plan pokusa

Cilj ovog rada je da se odredi utjecaj režima obrade i radiusa zaobljenja oštrice na hrapavost obrađene površine.

Budući da u režim obrade spada: brzina rezanja  $v$ , posmak  $s$  i dubina rezanja  $a$ , to s radiusom zaobljenja oštrice  $r$  imamo četiri varijable. Ako ove varijable uzmemo na tri nivoa, imamo plan pokusa:

$$3^4 = 81.$$

Ovo je potpuni faktorski plan.

Potrebno je odrediti nivoe pojedinih varijabli.

Na tokarilici TNP - 180 - "Prvomajska" Zagreb, odabran je broj okretaja:

$$\begin{aligned}n_1 &= 630 \text{ ok/min} \\n_2 &= 1250 \text{ ok/min} \\n_3 &= 2500 \text{ ok/min}\end{aligned}$$

te posmak:

$$\begin{aligned}s_1 &= 0,040 \text{ mm/ok} \\s_2 &= 0,125 \text{ mm/ok} \\s_3 &= 0,315 \text{ mm/ok.}\end{aligned}$$

Dubine rezanja su:

$$\begin{aligned}a_1 &= 0,2 \text{ mm} \\a_2 &= 1 \text{ mm} \\a_3 &= 2 \text{ mm}\end{aligned}$$

Radiusi zaobljenja oštrice su standardizirani, budući da su upotrebljene standardne rezne pločice iz tvrdog metala HV 10 /K 10/, "Sintal", Zagreb. Ti radiusi zaobljenja su:

$$\begin{aligned}r_1 &= 0,4 \text{ mm} \\r_2 &= 0,8 \text{ mm} \\r_3 &= 1,2 \text{ mm}\end{aligned}$$

Hrapavost obrađene površine je mjerena kod oštrog alata, kako bi se izbjegao utjecaj trošenja alata. Obrada je vršena bez hlađenja. Mjeren je stvarni broj okretaja obratka i posmak.

### 3. Materijal alat i instrumenti

Obrada je vršena na mesingu Cu 60 Zn slijedećeg kemijskog sastava: Cu = 60,3%; Zn = 39,4%; Pb = 0,30%; ostalo = 0,30%.

Aritmetička sredina izmjerene tvrdoće je:

$$\bar{X} = 96 \text{ HB}$$

Standardna devijacija jednaka je:

$$S = 1,5 \text{ HB,}$$

kod 32 mjerenja.

Obratci na kojima je vršena obrada bili su promjera  $D = 50 \text{ mm}$  i dužine  $L = 150 \text{ mm}$ . Za vrijeme obrade upotrebljen je okretni šiljak.

Upotrebljen je nož s mehanički pričvršćenom pločicom 6 C 25 25 D "Sintal", Zagreb. Pločica je imala trokutasti oblik dimenzija  $12,7 \times 3,2 \text{ mm}$ .

Geometrija ovog noža je:

$$\begin{array}{ll} \alpha = 4^{\circ} & \alpha_1 = 30^{\circ} \\ \beta = 6^{\circ} & \epsilon = 60^{\circ} \\ \gamma = 90^{\circ} & \lambda = 0^{\circ} \end{array}$$

Radius zaobljenja oštrice je varijabla i mijenja se kao što smo prije naveli:  $r = 0,4; 0,8; 1,2 \text{ mm}$ .

Rezne pločice su bile iz tvrdog metala K 10.

Za mjerenje broja okretaja upotrebljena je aparatura, koja se sastoji od fotočelije s pojačivačem i lampe, osciloskopa i elektronskog brojača HEWELT PACKARD Mod. 5233 L.

Mjerenje hrapavosti obrađene površine vršeno je na SCHMALTZ-ovom mikroskopu i na FERT-O-METER-u, W-2.

### 4. Rezultati pokusa i analiza rezultata

Pokusi su vršeni prema planu pokusa. Dobiveni rezultati hrapavosti površine  $R_a$  prikazani su u tabeli 1. Svaka navedena vrijednost  $R_a$  je aritmetička sredina od tri mjerenja vršena na tri različita mjesta jedne obrađene površine.

Za vrijeme pokusa mjeren je stvarni broj okretaja i stvarni pomak, tako da su u tabelu 1 unijete stvarne veličine.

Plan pokusa 3 <sup>4</sup>	$s$ [mm/ok]	0,040			0,125			0,315		
	$v$ [m/min]	99	196	393	99	196	393	99	196	393
$a$ [mm]	$r$ [mm]	$R_a$ [ $\mu$ m]								
0,2	0,4	0,41	0,37	1,42	1,62	1,58	1,73	5,04	5,55	4,84
	0,8	0,38	0,30	0,28	0,64	0,68	1,00	2,69	2,30	3,45
	1,2	0,25	0,46	0,26	0,62	0,78	0,67	1,83	1,49	2,30
1,0	0,4	0,41	0,41	0,73	1,11	0,86	1,31	4,92	5,16	4,64
	0,8	0,49	0,31	0,32	0,55	0,65	0,65	2,92	2,57	2,90
	1,2	0,38	0,23	0,34	0,85	0,76	0,60	2,01	1,83	1,98
2,0	0,4	0,78	0,48	0,50	1,51	1,02	1,73	5,91	5,84	4,57
	0,8	0,37	0,28	0,40	0,65	0,72	0,79	2,40	2,38	3,42
	1,2	0,48	0,32	0,35	0,97	0,98	0,68	2,05	1,60	2,36

Da bi se grafičkim putem prikazao utjecaj pojedinih promatranih varijabli bilo bi potrebno izraditi oko 36 dijagrama, a da su u svakom dijagramu tri krivulje /4/.

Očito je da iz toliko dijagrama nije bilo lako odrediti kako koja varijabla utječe, budući da promatrane vrijednosti nekad, za potpuno iste uvjete, rastu i padaju.

Zbog toga je upotrijebljen analitički način određivanja utjecajnih veličina i njihovog utjecaja na hrapavost obrađene površine.

Na temelju dosadašnjih saznanja pretpostavljamo eksponencijalnu zavisnost između hrapavosti obrađene površine i režima obrade, te radiusa zaobljenja  $r$ .

U logaritamskom obliku ta zavisnost bi imala linearan oblik:

$$\log R_a = \log C + b_1 \cdot \log s - b_2 \cdot \log r \pm b_3 \cdot \log v \pm b_4 \cdot \log a \quad /3/$$

Pretpostavljamo da povećanje posmaka  $s$  utječe na povećanje hrapavosti obrađene površine  $R_a$ , da povećanje radiusa zaobljenja  $r$  utječe na smanjenje  $R_a$ , dok za utjecaj brzine rezanja  $v$  i

dubine rezanja  $a$ , ne možemo postaviti nikakove pretpostavke.

Iz logaritama vrijednosti u tabeli 1 multi regresionom analizom, određene su pomoću elektronskog računala veličine iz izraza /3/.

$$\begin{aligned}\log C &= 0,09388 \\ b_1 &= 0,44443 \\ b_2 &= -0,65468 \\ b_3 &= 0,04026 \\ b_4 &= 0,00585\end{aligned}$$

Antilogaritmiranjem  $\log C = 0,09388$  dobijemo konstantu  $C = 1,241$ .

Sađ možemo napisati regresionu zavisnost hrapavosti obrađene površine:

$$R_a = \frac{1,241 \cdot s^{0,444} \cdot v^{0,040} \cdot a^{0,006}}{r^{0,655}} \quad /4/$$

Koeficijent korelacije ove multi regresije je visok:

$r = 0,95302$ , a procjena standardne greške  $s_{\bar{x}} = 0,12456$ .

Testiranje signifikantnosti regresionih koeficijenata izvršeno je pomoću T-testa. Vrijednosti T za pojedine koeficijente su:

$$\begin{aligned}T_{b_1} &= 25,789 \\ T_{b_2} &= -9,319 \\ T_{b_3} &= 0,711 \\ T_{b_4} &= 0,177\end{aligned}$$

Za  $n = 81$ , imamo stupanj slobode  $k = 81 - 5 = 76$ . Za prag signifikantnosti  $\alpha = 0,01$  i  $k = 76$  /5/ imamo:

$$t_0 = 3,291$$

Budući da je:

$$\begin{aligned}|T_{b_1}| &> t_0 \\ |T_{b_2}| &> t_0 \\ |T_{b_3}| &< t_0 \\ |T_{b_4}| &< t_0,\end{aligned}$$

možemo zaključiti da koeficijenti  $b_3$  i  $b_4$  nisu signifikantni. Drugim riječima, brzina rezanja  $v$  i dubina rezanja  $a$  ne utječu značajno na hrapavost obrađene površine  $R_a$  kod tokarenja mesinga u području brzine rezanja  $v = 100 - 400$  m/min, i dubine rezanja  $a = 0,2 - 2$  mm.

OR.25.06.



Ako ponovno izračunamo multi regresiju, ali samo za signifikantne varijable, dobijemo:

$$\log C = 0,18548$$

$$b_1 = 0,44443$$

$$b_2 = -0,65468$$

Antilogaritmiranjem  $\log C = 0,18458$  dobijemo konstantu  $C=1,533$ .

Odavde imamo:

$$R_a = \frac{1,533 \cdot s^{0,444}}{r^{0,655}} \quad /5/$$

Sada je koeficijent korelacije multi regresije:  $r = 0,95268$ , a procjena standardne greške  $s_x = 0,12338$ .

Vrijednosti T za regresione koeficijente  $b_1$  i  $b_2$  su:

$$T_{b_1} = 26,034$$

$$T_{b_2} = -9,407$$

Sada su ovi koeficijenti još više signifikantni.

Izvršena je i analiza varijance ove regresije, koja je prikazana u tabeli 2. Pomoću F-testa ispitano je da li se procjene varijanci signifikantno razlikuju. Iz ove tabele vidimo da je:

$$F = 383,132$$

Varijacija	Suma kvadrata odstupanja	Stupnjevi slobode	Procjena varijance	F
Obuhvaćena regresijom	11, 66 597	2	5, 83 298	393,132
Neobuhvaćena regresijom	1, 18 751	78	0,01 522	
UKUPNA	12, 85 348	80		

Za stupanj slobode u brojniku  $k_b = 2$ , a u nazivniku  $k_n = 78$ , za  $P/F > F_0 = 0,01$ , imamo:

$$F_0 = 4,92.$$

Budući da je  $F \gg F_0$ , možemo zaključiti, da je ova regresija jako signifikantna, tj. izrazom /5/ dobro je protumačena zavis-

nost hrapavosti obrađene površine s posmakom i radijusom zaobljenja.

Za provjeru tačnosti izraza /5/ nasumce je odabrano nekoliko veličina hrapavosti obrađene površine  $R_a$  u tabeli 1. Odgovarajućí režimi obrade i radiusi zaobljenja uvršteni su u izraz /5/, da bi se izračunale računске vrijednosti hrapavosti  $R_{ar}$ . Režimi obrade, radiusi zaobljenja oštrice  $r$ , te stvarne i računске hrapavosti površine  $\cdot/R_a$  i  $R_{ar}/$  prikazane su u tabeli 3. Iz ove tabele vidimo da računska hrapavost dobro odgovara stvarnoj hrapavosti površine.

Red. br.	v [m/min]	s [mm/ok]	a [mm]	r [mm]	$R_a$ [ $\mu$ m]	$R_{ar}$ [ $\mu$ m]
1	196	0,040	0,2	0,8	0,30	0,42
2	393	0,040	1,0	0,8	0,32	0,42
3	196	0,040	2,0	1,2	0,32	0,33
4	99	0,125	2,0	0,4	1,51	1,11
5	196	0,315	0,2	0,8	2,30	2,95
6	99	0,315	1,0	1,2	2,01	2,26
7	99	0,315	2,0	0,8	2,40	2,95

Tabela 3

To je bilo za očekivati, budući da je koeficijent korelacije ove multi regresije visok  $r = 0,95268$ . Određeni izraz objašnjava 90% svih varijacija.

### 5. Zaključak

Iz dobivenih rezultata i njihove analize pomoću multi regresije, T-testa i analize varijance, možemo doći do slijedećih zaključaka:

1. Na hrapavost obrađene površine  $R_a$  ne utječe signifikantno brzina rezanja i dubina rezanja, već samo posmak i radius zaobljenja oštrice.
2. Hrapavost obrađene površine  $R_a$  može se izraziti eksponencijalnim izrazom

$$R_a = C \frac{s^{b_1}}{r^{b_2}}$$

3. Prema izrazu /5/, na hrapavost površine  $R_a$  najjače utječe radius zaobljenja oštrice, a zatim posmak.

Treba napomenuti, da izneseni zaključci vrijede za tokarenje mesinga nožem s tvrdim metalom, za područje brzine rezanja koji se najčešće upotrebljava u eksploataciji:  $v = 100 - 400$  m/min, za područje posmaka  $s = 0,040 - 0,315$  mm/ok, za područje dubine rezanja  $a = 0,2 - 2$  mm, te za oštri alat.

Budući da se obično s povećanjem trošenja alata smanjuje hrapavost površine, možemo očekivati veću pouzdanost izračunate hrapavosti površine prema nadenom izrazu. Primjenom planiranja pokusa, matematičke statistike i elektronskog računala možemo odrediti zavisnost između zavisne i signifikantnih nezavisnih varijabli. Izostavljanjem nesignifikantnih varijabli ne mijenja se količina informacija, a utvrđeni izraz je jednostavniji za primjenu.

Trebalo bi odrediti slične regresione zavisnosti za obradu drugih materijala. Vjerojatno bi se mogao i u tim slučajevima primijeniti ovakav matematski model.

## 6. Literatura

- 1 J.F.Kenney, E.S. Keeping, Mathematics of Statistics, I dio, D.Van Nostrand Co. Inc., N.Y.1954
- 2 A. Đurašević, Predavanja iz matematičke statistike, VTS, Zagreb, 1960
- 3 G. Balbo, Finibilita superficiale lavorazioni su tornio, Macchine utensili, 1-2, 1966. str. 4-9
- 4 D. Taboršak, A.Vila, Priručnik za tehnologe metalne struke, Birotehnički izdavački zavod, Zagreb 1959
- 5 V.Kovač, Diplomski rad, Zagreb 1968
- 6 R. Zdenković, Obrada metala skidanjem, Zagreb 1965

E. Kuljanić

Application of Experiments Design and Multiresion Analysis for Determining the Relationship Between Roughness and

E. Kuljanić

Application of Experiments Design and Multiregression Analysis for Determining the Relationship Between Roughness and Cutting Conditions

The paper describes an application of factorial experiments design  $3^4$  and multiregression analysis with use of computer. It is proved that speed and depth of cut do not have a significant effect on roughness in turning brass with a sharp tool. This conclusion is valid only for brass /Cu = 60,3%, Zn = 39,4%, for the cutting speed range  $v = 100 - 400$  m/min., for the depth of cut range  $a = 0,2 - 2$  mm and for the feed range  $s = 0,046 - 0,315$  mm/rev.

Application using experiments design, mathematics of statistics and computers made it possible to easily determine the relationship between the dependent variable and the independent variables and to determine which independent variables have a significant effect.

J. Stankov \*

STATISTIČKI ASPEKT KARAKTERISTIKE KVALITETA UREZNIKA PRI  
STATIČKOM OPTEREĆENJU \*\*

1. Uvod

Mnogi radovi, radjeni na strani, koji su se bavili problemima postojanosti, geometrijskog oblika, otpornosti i krutosti ureznika, a takodje i ispitivanja vršena u IAMA, [3],[4], imali su za cilj odredjivanje uslova, koji omogućuju maksimalnu postojanost uz zadovoljavajući kvalitet izradjenog navoja. Vršena sistematska ispitivanja ukazuju na problem, koji se kod urezivanja navoja javlja u ozbiljnijoj formi i sa većom učestanošću nego kod ostalih vrsta obrade, a to je lom alata. Lom samo zubaca, ili lom jezgra, pojavljuje se u vrlo širokom dijapazonu od 20 - 70 % čak, a ima podataka da je ovaj procenat i veći. Iz ovoga se vidi koliko je važno ispitivanje otpornosti ureznika i uzroka loma, jer ovaj procenat sadrži samo lom alata, a ne i netačnost izradjenog navoja, kratak vek, kao i nezadovoljavajući kvalitet obradjene površine. Nalaženje, znači, uzroka loma i analiza uticajnih faktora koji dovode do ove pojave, predstavlja predmet izučavanja od posebnog interesa.

Ureznici su predstavljeni sa dve veličine - (M4) - kao reprezentom malih prečnika i (M10) srednjih i tako su upotpunjena dosadašnja ispitivanja ureznika vršena u IAMA.

Primenjivana metoda ispitivanja neće biti posebno tretirana, jer je u principu korišćena ista metodologija, kao i u sličnim ispitivanjima burgija vršenih u Institutu [1], dok su originalni dinamometri, konstruisani za ovaj slučaj, prikazani u radu, [2].

\* Jelena D. Stankov, mr.ing. docent Mašinskog fakulteta u Novom Sadu.

\*\* Saopštenje iz Instituta Mašinskog fakulteta u Novom Sadu. Eksperimentalni deo radjen u Institutu za alatne mašine i alate, Beograd.

Ovaj rad je imao za cilj da odredi veličine krutosti ureznika različitih prečnika, kao i uticaj promene dimenzionih parametara reznog dela alata na krutost.

## 2. Odredjivanje statičke krutosti ureznika

Pod krutošću se podrazumeva otpornost kojom se alat suprotstavlja dejstvu opterećenja. Pri torzionom naprezanju, moment koji deluje na urezник teži da uvije alat, čiji je jedan kraj uklješten, za određeni ugao uvijanja, dok suprotstavljanje predstavlja karakteristiku, mi je nazivamo krutošću alata, koja ima bitan uticaj na pojavu vibracije, tačnost obrade, vek trajanja alata. Kriva u dijagramu zavisnosti  $M_t = f(\theta)$ , svojim nagibom, ravnomernim tokom, konstantnim odnosom priraštaja momenta i ugla karakteriše krutost ureznika, pa tada krutost možemo izraziti, za bilo koju tačku dijagrama sa:

$$C = \frac{M_t}{\theta} \text{ (kp cm/o)} \dots\dots\dots (1)$$

odnosno, ako uzmemo u obzir lučno pomeranje  $C$  (kp cm/rad). Podaci, potrebni za određivanje krutosti dobijeni su ispitivanjem na uređaju UIB-100 [1], dok je sama krutost za ureznike M4, M10/14 i M10/18, računata prema (1). Oni su poslužili za dalju statističku obradu.

M 10/14 označava urezник izradjen od materijala Č69.80, sa uglovima  $\beta = 5^\circ$ ,  $\lambda = 0^\circ$ ,  $\gamma = 10^\circ$  i  $\alpha = 6^\circ$  i M10/18, od istog materijala i  $\beta = 10^\circ$ ,  $\lambda = 0^\circ$ ,  $\gamma = 10^\circ$  i  $\alpha = 6^\circ$ .

Baždarenje instrumenta: moment koji opterećuje vrh ureznika dobijen je na taj način što se poluga, poznate dužine, opterećivala tegovima, i očitavao otklon kazaljke na mernom mostu (Hottinger KWS/T).  $M_t = f(\epsilon_m)$  je prava linija gde je  $\epsilon_m$  - otklon kazaljke instrumenta.

### 2.1. Obrada podataka sa ispitivanja ureznika M4

Prema usvojenom metodu ispitivanja zavisnosti ugla uvijanja od veličine torzionog opterećenja, izvučeni su uzorci od  $N = 24$  za urezник M4.

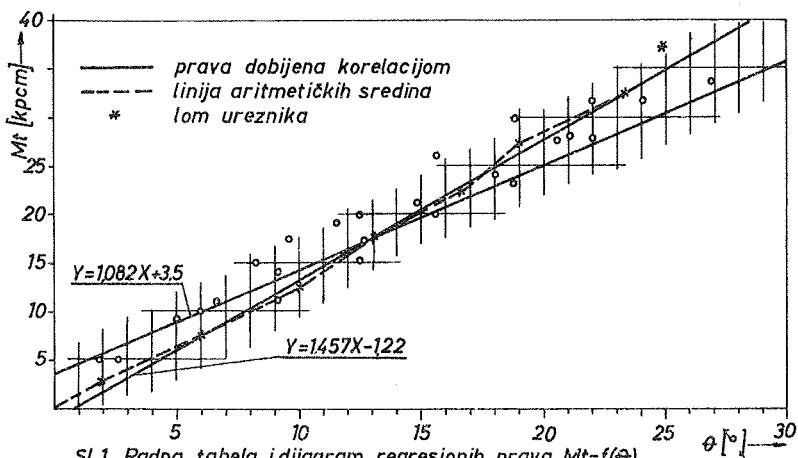
X \ Y		0	5	10	15	20	25	30			
	U	5	10	15	20	25	30	35			
	Z	-3	-2	-1	0	1	2	3	$f_z Z$	$f_z Z^2$	
0-4	-3	3							3	-9	27
4-8	-2		4						4	-8	16
8-12	-1			3	1				4	-4	4
12-16	0				3	1	1		5	0	0
16-20	1					2	1		3	3	3
20-24	2						2	2	4	8	16
24-28	3							1	1	3	27
$f_u$		3	4	3	4	3	4	3	24	-7	93
$f_u U$		-9	-8	-3	0	3	8	9	0		
$f_u U^2$		27	16	3	0	3	16	27	92		
$f_{1u} U$		-9							-9	27	
$f_{2u} U$			-8						-8	16	
$f_{3u} U^2$				-3	0				-3	3	
$f_{4u} U$					0	1	2		3	0	
$f_{5u} U$						2	2		4	4	
$f_{6u} U$							4	6	10	20	
$f_{7u} U$								3	3	9	
											27

$$Y = Mt \text{ [kpcm]}$$

$$N = 24$$

$$X = \vartheta \text{ [}^\circ\text{]}$$

$$r = 0,865$$



Sl.1 Radna tabela i dijagram regresionih prava  $Mt=f(\vartheta)$ , ureznika M4, pri statičkom opterećenju

Dužina grupnog razmaka:

za ugao uvijanja  $d_1 = 4$       za moment  $d_2 = 5$

Privremena aritmetička sredina:

$$A_1 = 14; A_2 = 17,5$$

pa je:

$$U_i = \frac{Y_i - 17,5}{5}; Z_i = \frac{X_i - 14}{4}$$

Stvarna aritmetička sredina:

$$\bar{X} = 1284 \quad \bar{Y} = 17,5$$

Varijanse:

$$\sigma_x^2 = 60,65 \quad \sigma_y^2 = 95,9$$

a standardne devijacije:

$$\sigma_x = 7,79 \quad \sigma_y = 9,78$$

Kovarijansa je računata preko radne tabele (sl.1)

$$\sigma_{uz} = 3,2915 \quad \sigma_{xy} = 65,83$$

pa je koeficijent korelacije:

$$r = 0.865 \quad 0 < r < 1$$

znači da su aleatorne promenljive stohastički linearno zavisne.

Kako je ovaj broj blizak jedinici, ova delimična zavisnost je velika. Regresione prave su tada:

$$\begin{array}{l} Y = 1,082 X + 3,5 \quad \left| \dots (2) \quad Mt = 1.082 \theta + 3,5 \quad \left| \dots (2a) \right. \\ Y = 1.457 X - 1,22 \quad \left| \dots (2) \quad Mt = 1.475 \theta + 1,22 \quad \left| \dots (2a) \right. \end{array}$$

Dijagram pravih  $Mt = f(\theta)$  dat je na (sl.1.). Crtkana linija predstavlja liniju aritmetičkih sredina.

Krutost je data u zavisnosti od ugla uvijanja i predstavljena je na (sl.4) crtkanom linijom.

OR.26.04.



Jednačine pravih krutosti su računane na isti način kao i jednačina  $Mt = f(\theta)$  i glase:

$$\begin{aligned} C &= 0.0017 \theta + 1,53 \\ C &= 1,77 \theta - 19,07 \end{aligned} \quad \dots \dots \dots (3)$$

Koeficijent korelacije je tada:

$$r = \frac{\mu_{11}}{\sigma_x \sigma_y} = 0.02973$$

Vidimo da imamo pravu koja je skoro paralelna apscisnoj osi. Izrazito mala vrednost koeficijenta  $r$  označava slučajeve sa niskom korelacionom vezom, a to odgovara problemu, jer krutost zavisi od dimenzionih parametara, a ne od veličine naprezanja, odnosno od deformacije izazvane opterećenjem.

Jednačina  $C = 0.0017 \theta + 1.53$ , prava koja obuhvata gotovo sve tačke za  $\theta < 2^\circ$  vrlo dobro predstavlja, znači pravu  $c \approx const$ . Medjutim, u samom početnom delu prave, u oblasti malih opterećenja (i deformacija), skup tačaka ne aproksimira dobro eksperimentalne vrednosti, već ima tendenciju da zauzme krivolinijski raspored. Odredjivanjem parabole drugog reda:

$$Y = a_1 X^2 + a_2 X + a_3$$

i rezidijumske varijanse za parabolu i pravu, dobićemo odgovor na pitanje, da li prava linija u potpunosti zadovoljava.

Jednačinu parabole naći ćemo iz sistema jednačina:

$$\begin{aligned} a_1 \sum f_i X_i^4 + a_2 \sum f_i X_i^3 + a_3 \sum f_i X_i^2 &= \sum f_i X_i^2 Y_i \\ a_1 \sum f_i X_i^3 + a_2 \sum f_i X_i^2 + a_3 \sum f_i X_i &= \sum f_i X_i Y_i \quad \dots \dots (4) \\ a_1 \sum f_i X_i^2 + a_2 \sum f_i X_i + a_3 \sum f_i &= \sum f_i Y_i \end{aligned}$$

odnosno:

$$\begin{aligned} 2089064,27 a_1 + 1005881,52 a_2 + 52367,84 a_3 &= 7293,36 \\ 1005881,52 a_1 + 52367,84 a_2 + 309,83 a_3 &= 375,26 \quad \dots (4a) \\ 52367,84 a_1 + 309,83 a_2 + 24 a_3 &= 37,21 \end{aligned}$$

Jednačina krive je tada:

$$Y = 0.00065 X^2 - 0.0063 X + 0.22 \quad \dots \dots \dots (5)$$

Rezidijumska varijansa prave je:  $s_y^2 = \sigma_y^2 (1-r^2) = 0.1139$ , a

$$\text{parabole } s_y^2 = \frac{\sum f_i (y_i - \bar{Y}_i)^2}{N} = \frac{42,18}{24} = 1,76$$

S obzirom da je  $s_y^2 > s_y^2$  možemo zaključiti da prava bolje obuhvata skup tačaka, odnosno da se krutost ne menja sa opterećenjem.

## 2.2. Obrada podataka pri ispitivanju ureznika M10

Ureznik M10 zastupljen je sa dva svoja predstavnika, koja menjaju prečnik vrha (d), prečnik jezgra (do) dužinu ulaznog konusa ( $1_k$ ) i ugao konusa ( $\varnothing$ ). Materijal alata za oba tipa je isti. Obeleženi su na isti način kao i u prethodnim ispitivanjima vršenim u IAMA [3] i [4] sa M10/14 i M10/18.

### 2.2.1. Ureznik M10/14

U ispitivanom skupu od  $N = 26$ , biće vrednost obeležja:

$$Z = \frac{X - 18}{4} \qquad U = \frac{Y - 225}{50}$$

Aritmetička sredina od X i Y je:

$$\bar{X} = 15.69 \qquad \bar{Y} = 213,3$$

Da bismo dobili standardne devijacije za X i Y, izračunaćemo kovarijance:

$$\sigma_x^2 = 90,17 \qquad \sigma_y^2 = 17661,7$$

pa je:

$$\sigma_x = 9,5 \qquad \text{i} \qquad \sigma_y = 133,5$$

$$\sigma_{xy} = 1180 \qquad \text{i} \qquad r = 0,94$$

Jednačine regresionih prava su tada

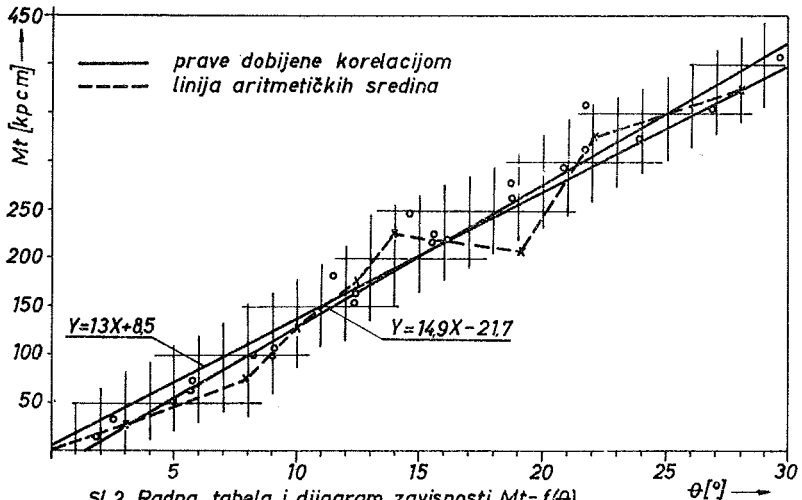
$$M_t = 130 + 8,5 \text{ i } M_t = 14.90 - 21,7 \dots\dots (6)$$

Obe prave predstavljene su na (sl.2) ispod tabele. I u ovom slučaju postoji delimična linearna zavisnost izmedju veličine opterećenja i uvijanja. Stepem zavisnosti je vrlo visok, pa možemo reći da je uvijanje direktno proporcionalno sa momentom.

X \ Y											f <sub>Z</sub>	f <sub>Z</sub> Z	f <sub>Z</sub> Z <sup>2</sup>
	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450			
	U	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4			
	Z												
0-4	-4	3									3	-12	54
4-8	-3	1	2								3	-9	27
8-12	-2		2	1	1						4	-8	16
12-16	-1				2	3					5	-5	5
16-20	0					2					2	0	0
20-24	1						1	2	1		4	4	4
24-28	2								1	1	2	4	8
28-32	3								1		1	3	9
32-36	4								1	1	2	8	32
	f <sub>U</sub>	4	4	1	3	3	3	2	4	2	26	-15	155
	f <sub>U</sub> U	-16	-12	-2	-3	0	3	4	12	8	-6		
	f <sub>U</sub> U <sup>2</sup>	64	36	4	3	0	3	8	36	32	186		
	f <sub>U</sub> U	-12									-12	48	
	f <sub>2U</sub> U	-4	-6								-10	30	
	f <sub>3U</sub> U		-6	-2	-1						-9	18	
	f <sub>4U</sub> U				-2	0					-2	2	
	f <sub>5U</sub> U						2				2	0	
	f <sub>6U</sub> U							1	4	3	8	8	
	f <sub>7U</sub> U									3	4	7	14
	f <sub>8U</sub> U									3		3	9
	f <sub>9U</sub> U									3	4	7	28
													157

$$Y = Mt \text{ [kpcm]} \quad N = 26$$

$$X = \theta \text{ [}^\circ\text{]} \quad r = 0,94$$



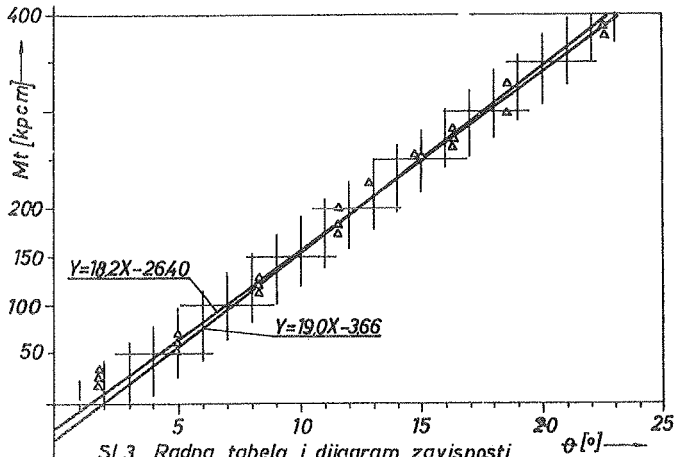
Sl.2 Radna tabela i dijagram zavisnosti  $Mt = f(\theta)$ , ureznika M10/14, pri statičkom opterećenju

X \ Y											f <sub>Z</sub>	f <sub>Z</sub> Z	f <sub>Z</sub> Z <sup>2</sup>
	0	50	100	150	200	250	300	350	400				
	U	-3,5	-2,5	-1,5	-0,5	0,5	1,5	2,5	3,5				
	Z												
0-4	-2,5	3									3	-7,5	18,75
4-8	-1,5		3								3	-4,5	6,75
8-12	-0,5			3	3						6	-3,0	1,50
12-16	0,5					1	2				3	1,5	0,75
16-20	1,5						4	1			5	7,5	11,25
20-24	2,5								2		2	5,0	12,50
f <sub>U</sub>		3	3	3	3	1	6	1	2	22	-10		51,50
f <sub>U</sub> U		-10,5	-7,5	-4,5	-1,5	0,5	9,0	2,5	7	-5			
f <sub>U</sub> U <sup>2</sup>		36,75	18,75	6,75	0,75	0,25	13,50	0,25	24,5	10,75			
f <sub>1U</sub> U		-10,5									-10,5	20,25	
f <sub>2U</sub> U			-7,5								-7,5	11,25	
f <sub>3U</sub> U				-4,5	-1,5						-6,0	3,00	
f <sub>4U</sub> U						0,5	3				3,5	1,75	
f <sub>5U</sub> U							6	2,5			8,5	12,75	
f <sub>6U</sub> U									7	70	17,50		72,50

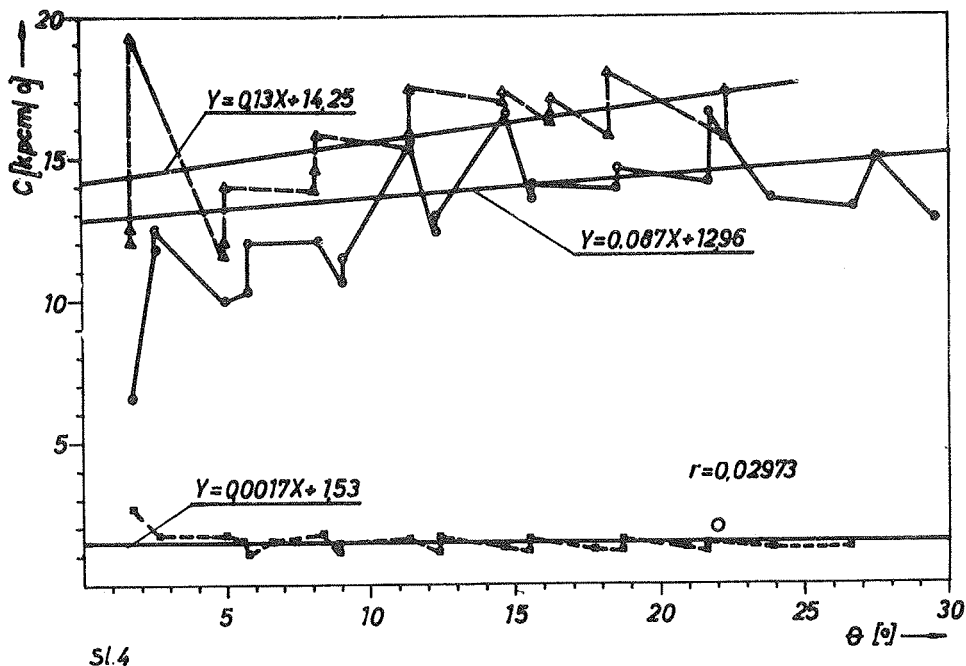
$Y = Mt \text{ [kpc.m]}$   
 $X = \theta \text{ [}^\circ\text{]}$

$N = 22$

$r = 0,98$



Sl.3 Radna tabela i dijagram zavisnosti  
 $Mt = f(\theta)$  za ureznik M10/18



Na (sl.4) dat je grafik  $c = f(\theta)$ . Jednačine krutosti su:

$$C = 0.087 \theta + 12,96$$

$$C = 0,055 \theta + 5,8$$

dok je stepen korelacije:

$$r = 0,398$$

Da bismo utvrdili da li koeficijent korelacije, s obzirom da je dovoljno visok, ukazuje na postojanje korelacije, primenićemo kriterij za ispitivanje nezavisnosti krutosti i ugla uvijanja. Kako je za Studen-ov raspored, pri verovatnoći od 95 %,  $t = 2,06$  za 23 stepeni slobode, imaćemo da je  $r' = 0.4$ .

Pošto je  $r < r'$  možemo tvrditi da su zaista krutost i ugao  $\theta$  međusobno nezavisni.

### 2.2.2. Ureznik M10/18

Iz radne tabele (sl.3), gde su predstavljeni rezultati ispitivanja ureznika M10/18 imaćemo:

OR.26.09.

$$\begin{aligned}
 A_1 &= 12 & d_1 &= 4 \\
 A_2 &= 200 & d_2 &= 50 \\
 \bar{X} &= 11.82 \\
 \bar{Y} &= 188,6 \\
 \sigma_x^2 &= 36.97 & \sigma_x &= 6.08 \\
 \sigma_y^2 &= 12570 & \sigma_y &= 112 \\
 \sigma_{xy} &= 662 \\
 r &= 0,98
 \end{aligned}$$

Jednačine momenta u zavisnosti od ugla uvijanja:

$$M_t = 18,2 \theta - 26,4$$

$$M_t = 19,0 \theta - 36.6$$

Radna tabela koja je poslužila kao osnova za izračunavanje krive krutosti nije data, jer su dati rezultati ispitivanja i način računanja krutosti, dok je dijagram  $C = f(\theta)$  dat na (sl.4) crtkanom linijom i predstavljene su jednačinama:

$$C = 0,13 \theta + 14,25$$

$$C = 0,878 \theta + 5,4$$

$$r = 0,385$$

U ovom slučaju ćemo proveriti zavisnost krutosti kao funkcije, od nezavisno promenljive veličine  $\theta$ . Za 95 % verovatnoće; (Student-ov raspored)  $t=2,09$  za 20 stepeni slobode, pa je:

$$r' = 0,425. \text{ Pošto je } r < r'$$

Imamo potvrdu za nezavisnost krutosti od veličine deformacije i po red visokog stepena koeficijenta korelacije.

### 3. KRIVA KRUTOSTI

Najopasniji presek ureznika je na njegovom reznom delu, jer je oslabljen kanalima, pa se tu zato nalazi mesto najčešćih lomova. U ispitivanjima ruskih autora [6] nailazi se na podatak da je lom ureznika M10 bivao pri  $M_t = 495$  kpcm, dok se naš ureznik M10/14 lo-

mio pri  $M_t = 425 \text{ kpcm}$ , a  $M_{10/18}$  pri  $M_t = 512 \text{ kpcm}$ , tj. vrednosti su približne. Međutim razlike su ipak dovoljne da bi se uočio uticaj ojačanog konusnog, reznog dela alata na otpornost na lom, odnosno na krutost samog alata. Analiziranjem eksperimentalno dobijenih krivih možemo doći do oblika zavisnosti krutosti od dimenzionih parametara alata, kao i karakteristika materijala od kog je izradjen. Tako zavisnost  $C = f(K, D, X)$  možemo napisati u obliku:

$$c = K D^X \quad \text{gde je:}$$

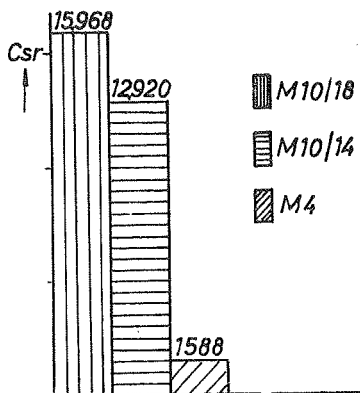
$K$  koeficijent zavisan od dimenzija reznog elementa ureznika tj. od ugla konusa.

$D$  - srednji prečnik ureznika

$X$  - koeficijent zavisan od materijala ureznika

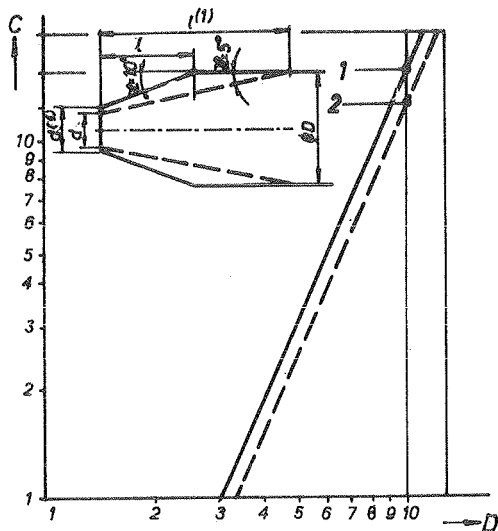
Uglom konusa diktirane su i ostale vrednosti  $l_k$  i  $d$ , tako da je uzeto da su odnosi  $\frac{D-d}{2} \cdot \frac{1}{l_k} = t^{\mathcal{A}} = \text{const.}$  za jednu vrednost ugla.

Vrednosti koeficijenata za  $\mathcal{A} = 5^\circ$ , i  $\mathcal{A} = 10^\circ$ , računati su na osnovu srednjih vrednosti krutosti za pojedine ureznike (sl.5).



Sl.5 Uporedna srednja vrednost krutosti ispitivanih ureznika

Tako smo dobili da je:  $K_{\mathcal{A}=5^\circ} = 0.06266$ ;  $K_{\mathcal{A}=10^\circ} = 0,07522$ , dok je  $X = 2,314$  za  $\check{c} 69.80$ .



Sl.6

1 -  $\alpha = 10^\circ$       2 -  $\alpha = 5^\circ$

Na dijagramu (sl.6) dat je grafik krutosti u zavisnosti od prečnika alata za ova dva ugla u duplo logaritamskom koordinatnom sistemu.

#### 4. ZAKLJUČAK

Iz vrednosti za srednju veličinu krutosti vidimo da je uticaj promene ugla konusa vrlo velik, tako da ureznika sa  $\alpha = 5^\circ$  ima samo  $\approx 81\%$  krutosti, koju ima ureznika sa  $\alpha = 10^\circ$ . Dejstvo koje ima povećanje prečnika, pak, na porast krutosti pri uvijanju vidi se iz podatka da promena prečnika sa M4 na M10 (za 2,5 puta) dovodi do porasta krutosti od približno 10 puta.

Medjutim, prema ranijim ispitivanjima vršenim u IAMA u vezi sa ureznicima proizvodnje FRA - Čačak, vidi se da baš ureznik M10/14 ima optimalni geometrijski oblik s obzirom na njegove rezne mogućnosti i kvalitet obradjene površine. Zbog toga ne bi trebalo ići u pravcu povećanja ugla konusa (a time i smanjivanja dužine reznog dela), već na povećanje prečnika jezgra na taj način što bi se jezgro izvelo u obliku konusa. Na taj način mogle bi se izvršiti dimenzione korekcije koje bi dale povećanje krutosti, a ne bi dovele do smanjenja reznih mogućnosti alata.



Literatura:

- [1] Stankov J.: "Uporedno ispitivanje krutosti burgije" Zbornik V Savetovanja proizvodnog mašinstva, Kragujevac(1969).
- [2] Stankov J.: "Konstrukcija dinamometara za ispitivanje alata opterećenih torzijom, njihova primena i rezultati ispitivanja kod alata za bušenje". Zbornik radova Mašinskog fakulteta Novi Sad, broj 5 (1970).
- [3] Popović B.: "Postupak rangovanja pri izboru optimalne geometrije mašinskih ureznika", Saopštenje IAMA, 3 (1968).
- [4] Popović B.: "Metoda ispitivanja reznih mogućnosti ureznika", Zbornik sa IV Savetovanja proizvodnog mašinstva, Sarajevo (1968) 7.1.
- [5] Hellwig Z.: "Linear Regression and Its Application to Economics" Panstwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa (1963).
- [6] Матвеев В.В.: "Нарезание точных резб, Машиностроение, Москва /1968/

STATISTICHE ASPEKTE DER QUALITATIVEN CHARAKTERISTIKEN VON GEWINDEBOHRER

Der Zweck der Untersuchung war die Steifheit von Gewindebohrer zu bestimmen, ausgedrückt durch das Verhältnis zwischen Biegemoment und Biegungswinkel mit Hilfe statistischer Methoden-Regressionanalyse.

Im Laufe der Proben variierte der Durchmesser des Gewindebohrers und die Dimensionen des schneidenden Teiles des Werkzeugs, um die optimale geometrische Form des Werkzeugs unter Berücksichtigung der Steifheit festzustellen.

Aus dem Resultat geht es hervor, dass die Vergrößerung des Konuswinkels und die Verminderung der Länge des konischen Teiles des Gewindebohrers die Steifheit erhöht, aber auch zur Verschlechterung Charakteristiken des Schneidens führt. Aus diesem Grunde wird die Herstellung des Kerns in Form eines Konusses vorgeschlagen, was das Optimum der Schneidcharakteristiken und der mechanischen Charakteristiken des Werkzeugs ergeben würde.



S. Sekulić \*)

ISPITIVANJE POSTOJANOSTI ALATA KRATKIM POSTUPKOM OBRADE \*\*)

Uvod

Klasično ispitivanje postojanosti alata izvodi se za određene preseke strugotine. Za neki od usvojenih preseka brzine rezanja  $v_1, v_2, \dots, v_i, \dots, v_k$ , variraju u širokom dijapazonu. Ovim brzinama odgovaraju postojanosti  $T_1, T_2, \dots, T_i, \dots, T_k$ . Kako pri ispitivanju postojanosti manjim brzinama rezanja dobijemo veće postojanosti to sledi da je za ovakva ispitivanja potrebno utrošiti znatne količine materijala i vremena.

Zavisnost  $v = f(T)$ , u logaritamskoj mreži, predstavlja pravu liniju. Ugao nagiba prave određuje i eksponent ove parabolične zavisnosti.

Ovakvo određivanje postojanosti predstavlja dugotrajan, skup i zametan postupak i u cilju njegovog skraćanja i pojeftinjenja predložano je više kratkotrajnih metoda (npr. za obradu na strugu postupak poprečne obrade [1,2,3,4]).

U nastavku je data metoda za određivanje postojanosti alata, koja se odlikuje ekonomičnošću u materijalu, alatu i vremenu ispitivanja. Pored toga ona predstavlja i univerzalnu metodu pa se može, pored obrade na strugu, primeniti i na obradu bušenjem i glodanjem. Ova metoda za određivanje postojanosti alata kao kriterijum koristi habanje alata, što je danas opšte prihvaćeni način određivanja za-  
tupljenosti u eksploataciji alata.

---

\*) Sava S. Sekulić, dipl.ing., docent Mašinskog fakulteta u Novom Sadu, Fruškogorska 23.

\*\*) Saopštenje iz Instituta Mašinskog fakulteta, Novi Sad.

## Osnovne oznake

$v$ m/min.	- brzina rezanja
$T$ min.	- postojanost alata
$S$ mm	- uslovna veličina koja karakteriše habanje
$m$	- eksponent u tajlorovoj jednačini
$K$	- koeficijent u veberovoj jednačini (zavisi od brzine - $K = f(v)$ )
$\beta$	- eksponent u veberovoj jednačini
$t$ min.	- vreme rezanja.

## Osnove

Polazni obrasci su:

tajlorova jednačina (F.W.Taylor)

$$vT^m = C_T = \text{const.} \quad (1)$$

i veberova jednačina (G.Weber)

$$S = Kt^\beta ; K = f(v) \quad (2)$$

Veza između eksponenata  $m$  u tajlorovoj i  $\beta$  u veberovoj jednačini određena je sledećim razmatranjem [4]. Prema sl.1, jednačina (2), daje za  $S_1 = \text{const.}$

$$S_1 = K_2 t_1^\beta = K_1 t_2^\beta = \text{const.}$$

pa je

$$\frac{K_1}{K_2} = \left(\frac{t_1}{t_2}\right)^\beta \text{ za } S_1 = \text{const.} \quad (a)$$

a za  $t_2 = \text{const.}$

$$\begin{aligned} S_1 &= K_1 t_2^\beta \\ S_2 &= K_2 t_2^\beta \end{aligned} \text{ za } t_2 = \text{const.}$$

je

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{K_1}{K_2} \quad (b)$$

Iz tajlorove jednačine (1) pri  $v_1 < v_2$ ,  $T_1 < T_2$  i za  $S_T = \text{const.}$  sledi

$$v_1 T_2^m = v_2 T_1^m = C_T = \text{const.}$$

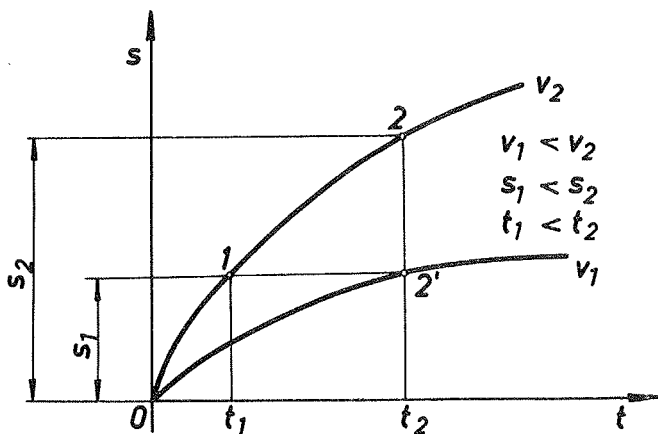
pa je

OR.27.02.

pa je

$$\frac{T_1}{T_2} = \left( \frac{v_1}{v_2} \right)^{\frac{1}{m}} \quad (c)$$

a kako je za  $S_1 = \text{const.}$  iz jednačine (a)



Sl. 1

$$\frac{t_1}{t_2} = \left( \frac{K_1}{K_2} \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad \text{za } S_1 = \text{const.} \quad (a')$$

to je za  $S_1 = S_T$

$$\frac{T_1}{T_2} = \left( \frac{K_1}{K_2} \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad \text{za } S_T = \text{const.} \quad (a'')$$

Izjednačujući desne strane jednačina (a'') i (c) sledi

$$\frac{K_1}{K_2} = \left( \frac{v_1}{v_2} \right)^{\frac{\beta}{m}} \quad \text{za } S_T = \text{const.} \quad (d)$$

Prema gornjoj jednačini (d) je

$$\frac{K_1}{v_1^{\frac{\beta}{m}}} = \frac{K_2}{v_2^{\frac{\beta}{m}}} = \dots = P = \text{const.} \quad (d')$$

odnosno

$$K = p v^{\frac{\beta}{m}} \quad (3)$$

Zamenom iz jednačine (3) u veberovu jednačinu (2) dobijamo

$$S = P v^{\frac{\beta}{m}} t^{\beta} \quad (4)$$

Ako poslednju jednačinu stepenujemo na eksponent  $m/\beta$  dobijamo da je

$$v t^m = \left(\frac{S}{p}\right)^{\frac{m}{\beta}} \quad (4')$$

Za  $S_1 = S_T$  je

$$v_1 T_2^m = v_2 T_1^m = \left(\frac{S_T}{p}\right)^{\frac{m}{\beta}} = C_T \quad (5)$$

što predstavlja vezu izmedju veberove i tajlorove jednačine.

#### Primenam na kratki postupak ispitivanja postojanosti alata

Prema jednačini (4) za  $t_2 = t_2' = t = \text{const.}$  je  $S_1 = S_2'$ ,

pa je

$$\frac{S_2'}{S_2} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{\frac{\beta}{m}} \quad \text{za } t = \text{const.} \quad (4'')$$

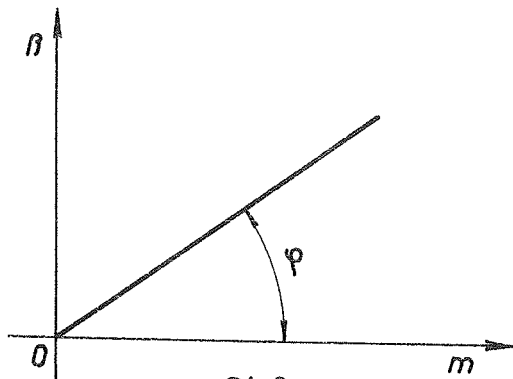
Logaritmovanje poslednje jednačine i rešavanjem po  $\beta/m$  dobijamo vezu izmedju eksponenata  $\beta$  i  $m$

$$\frac{\beta}{m} = \frac{\log S_2' - \log S_2}{\log v_1 - \log v_2}$$

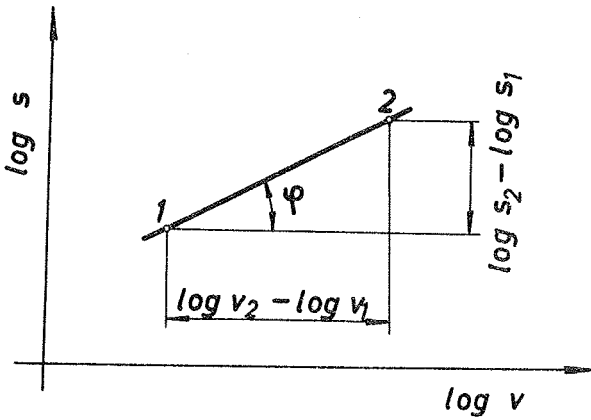
ili

$$\beta = \frac{\log S_2' - \log S_2}{\log v_1 - \log v_2} m \quad (6)$$

što predstavlja pravu liniju koja prolazi kroz koordinatni početak (sl.2).



Jednačina (4<sup>''</sup>) u log-log koordinatama također predstavlja pravu liniju (sl.3).



Sl. 3

Kako je

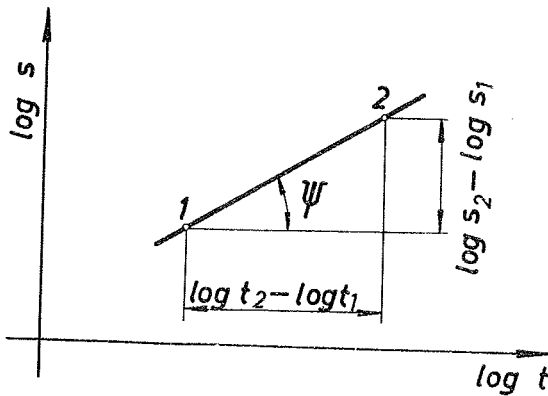
$$\frac{\log S_2 - \log S_2'}{\log v_2 - \log v_1} = \operatorname{tg} \varphi \quad (4)$$

tangens ugla prave kao i član u jednačini (6), to iz jednačine (6) sledi da je

$$\beta = m \operatorname{tg} \varphi \quad (7)$$

pa je moguće odrediti veličinu eksponenta u tajlorovoj jednačini, ako je poznata veličina eksponenta  $\beta$  u veberovoj.

Određivanje eksponenta  $\beta$  u veberovoj jednačini ne predstavlja teškoću. Jednačina (2) za  $v = \text{const.}$ , u logaritamskoj mreži, također predstavlja pravu liniju (sl.4), čiji je



Sl. 4

koeficijent pravca

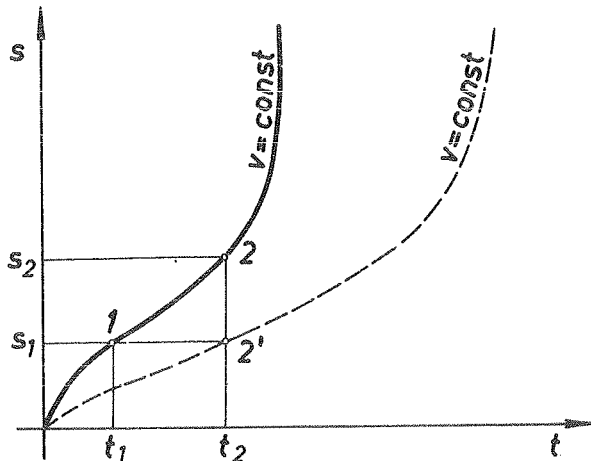
$$\beta = \frac{\log S_2 - \log S_1}{\log t_2 - \log t_1} \quad (2')$$

Veličinu eksponenta  $m$  u tajlorovoj jednačini sada možemo lako odrediti iz jednačine (6')

$$m = \frac{\beta}{\operatorname{tg} \varphi} = \frac{\operatorname{tg} \psi}{\operatorname{tg} \varphi} \quad (8)$$

### Tok numeričkog određivanja eksponenta m

Za neki stalni presek strugotine  $A = \delta s = \text{const.}$  i za neku relativno veliku brzinu rezanja  $v_2 = \text{const.}$  nacrtamo krivu  $S = f(t)$  (sl.5). Na delu krive kojoj odgovara druga faza habanja uočimo dve tačke 1 i 2 čije su koordinate  $(t_1, S_1)$  i



Sl. 5

$(t_2, S_2)$ . Na osnovu ovih podataka iz jednačine (2') odredimo  $\beta = \text{tg } \Psi$ . Zatim usvojimo novu vrednost brzine  $v_1$ , koja je manja od  $v_2$ , kojoj za vremenski interval  $t_2$  odgovara veličina habanja  $S_2'$ . Uvrštavajući vrednosti:  $S_2, v_2, S_2'$  i  $v_1$  u jednačinu (4) dobijamo vrednosti za  $\text{tg } \Psi$ , a eksponent m iz jednačine (8)

### Provera postavki

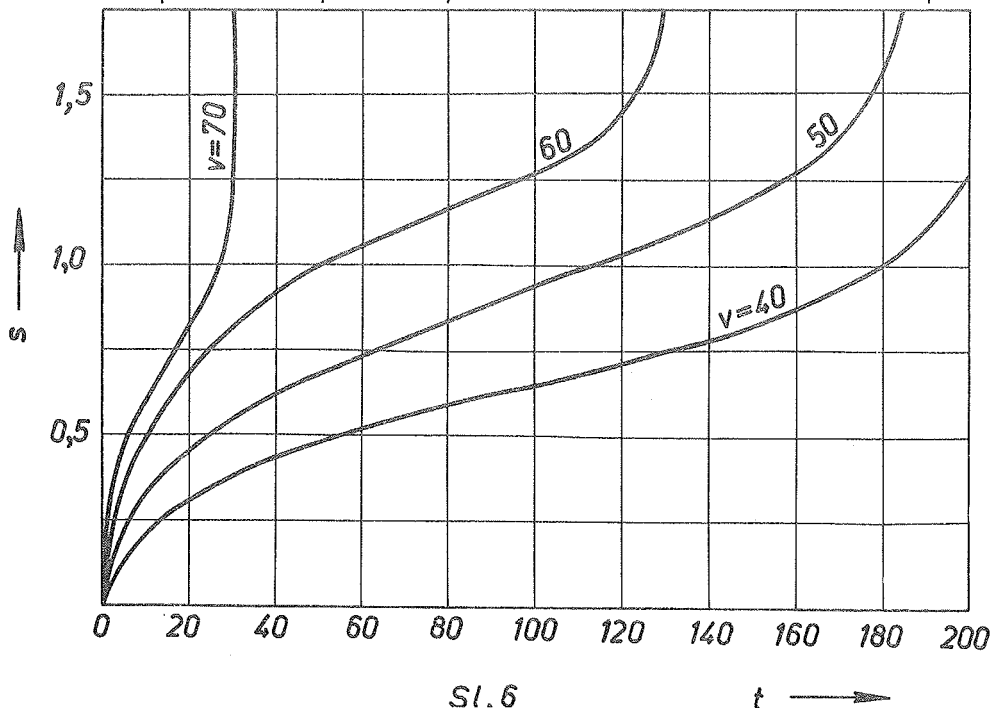
U cilju provere podobnosti izvedenih jednačina izvršena su ispitivanja promene pojasa habanja u funkciji vremena rezanja  $S = f(t)$ .

Eksperimenti su izvedeni na univerzalnom strugu "Krasnij proletarij", model 1620, sa kontinualnom promenom broja obrta. Kao alat korišćen je standardni strugarski nož: nož strugarski za uzdužnu obradu, pravi, sa pločicom od brzoreznog čelika P18 (R18). Geometrijski elementi sečiva noža: grudni ugao  $\gamma = 5^\circ$ , ledjni ugao  $\alpha = 8^\circ$ , napadni ugao  $\mathcal{H} = 45^\circ$ , pomoćni napadni ugao  $\mathcal{H}_1 = 10^\circ$ , ugao nagiba



sečiva  $\lambda = 0^\circ$ , poluprečnik zaobljenja vrha noža  $r = 1,5$  mm. Ispitivan je teško obradljivi čelik 33XH3MA sledećeg hemijskog sastava: 0,38 % C, 0,55 % Mn, 0,23 % Si, 0,019 % P, 0,014 % S, 1,00 % Cr, 2,25 % Ni, 0,36 % Mo, tvrdoće 320 do 360 HB, jačine materijala na kidanje  $\sigma_M = 108,7$  kg/mm<sup>2</sup>, relativno izduženje 12,33 %, relativno suženje 60,6 % i konstrukcioni čelik C 45 standardnog hemijskog sastava i mehaničkih osobina.

Usvojen je jedan jedini presek strugotine  $A = \delta \cdot s = 1,5 \cdot 0,2 = 0,30$  mm<sup>2</sup>, i za svaki ispitivani materijal obrada je izvedena sa četiri različite brzine rezanja.



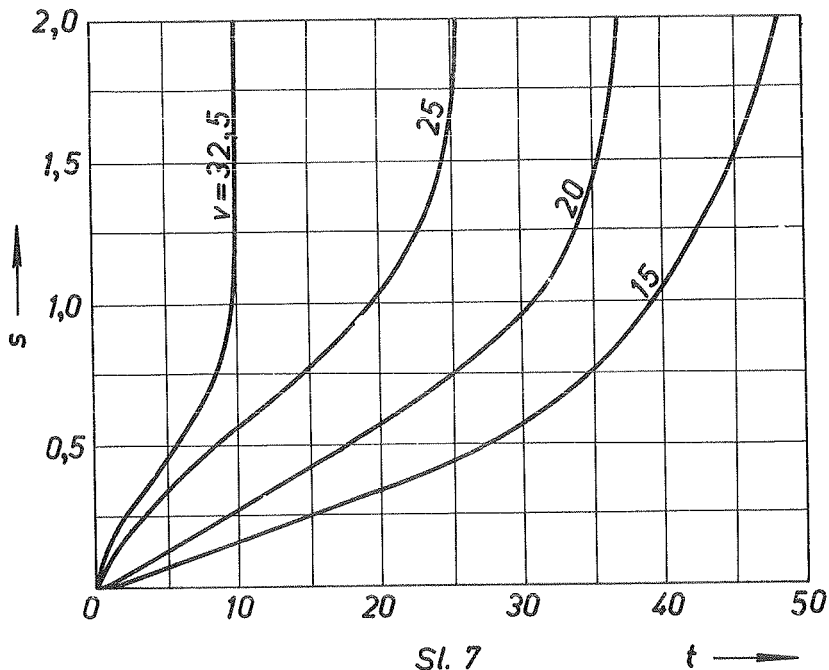
Sl. 6

Pri svakoj od ovih brzina rezanja izvršeno je najmanje tri serije opita.

Za merenje pojasa habanja na lednoj površini korišćena je lupa za očitavanje otisaka pri ispitivanju tvrdoće po Brinelu koja povećava 20 puta, tako da je tačnost očitavanja  $\pm 0,05$  mm.

Za konstrukcioni čelik C 45, na osnovu protokola ispitivanja, konstruisana je familija krivih  $S = f(t)$ , koje odgovaraju brzinama rezanja: 40, 50, 60 i 70 m/min. Za teško obradljivi čelik 33XH3MA familija krivih konstruisana je za sledeće brzine rezanja: 15, 20, 25 i 32,5 m/min. Familija krivih  $S = f(t)$  za konstruisani

čelik C 45, za pojedine brzine rezanja u intervalu  $v = 40 \dots 70$  m/min predstavljena je na sl. 6, a za teško obradljivi čelik 33XH3MA i brzine rezanja  $v = 15 \dots 32,5$  m/min na sl.7.



### Dobiveni rezultati

Sa slika sl.7 i sl.8 uzeti su potrebni podaci za proračun:  $\beta = \text{tg } \Psi$ ,  $\text{tg } \varphi$  i  $m$  u svrstani i tabelu 1.

Za konstrukcioni čelik C 45 je

$$\beta = \text{tg } \Psi = 0,425$$

$$\text{tg } \varphi = 1,46$$

a eksponent u tajlorovoj jednačini

$$m = \frac{\text{tg } \Psi}{\text{tg } \varphi} = \frac{0,425}{1,46} = 0,291$$

Za teško obradljivi čelik 33XH3MA je

$$\operatorname{tg} \Psi = 0,90; \quad \operatorname{tg} \varphi = 1,52$$

$$m = \frac{0,90}{1,52} = 0,592$$

U cilju provjere, takodje iz familije krivih  $S = f(t)$ , je za razne vrednosti  $v = \text{const.}$  (sl. 6 i sl.7) usvojena dozvoljena vrednost pojasa habanja  $S = 0,75 \text{ mm}$ , pa su

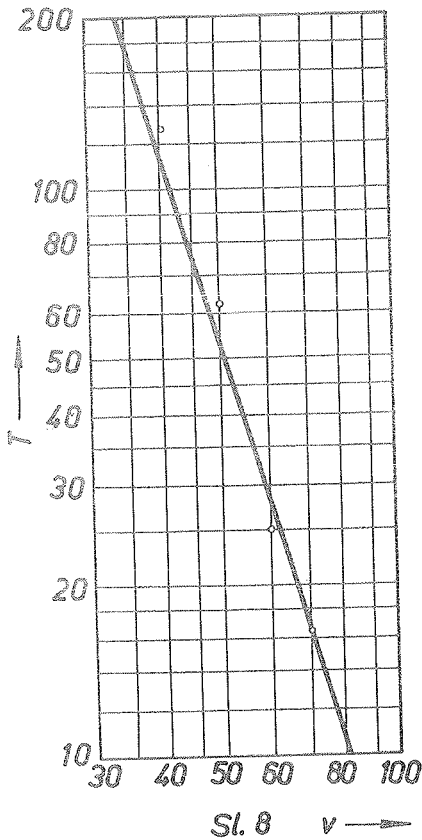
MATERIJAL					
	C 45			33XH3MA	
	$v_2 = 70$	$t_1$		6,00	$v_2 = 32,5$
$s_1$		0,50	$s_1$	0,20	
$t_2$		25,00	$t_2$	8,70	
$s_2$		0,92	$s_2$	0,75	
$v_1 = 60$	$t_2$	25,00	$v_1 = 25$	$t_2$	8,70
	$s_2'$	0,75		$s_2'$	0,50

Tabela 1

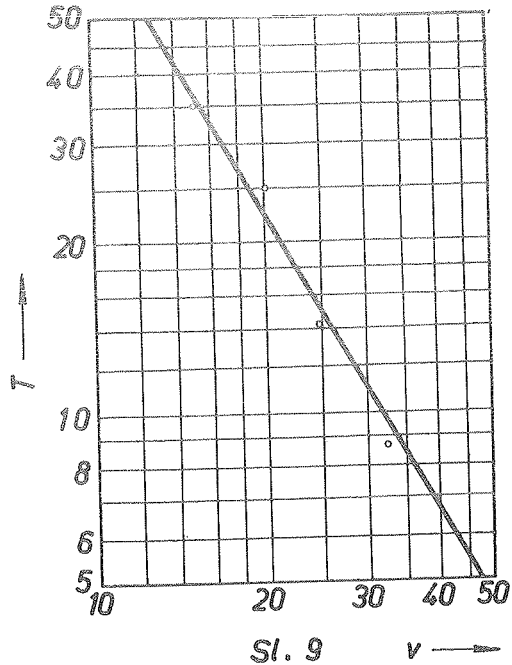
MATERIJAL			
C 45		33XH3MA	
$v$	$T$	$v$	$T$
40	127,5	15	35,0
50	62,0	20	25,0
60	25,0	25	14,2
70	16,5	32,5	8,7

Tablica 2

dobivene za svaku od brzina rezanja odgovarajuće postojanosti. Ove vrednosti svrstane u tabeli 2, poslužile su za crtanje zavisnost  $T = f(v)$ , pri  $S = 0,75 \text{ mm}$ , prikazanih na slikama sl.8 i sl.9.



Primenjujući metodu najmanjih kvadratnih odstupanja određeni su eksponenti u tajlorovim jednačinama. Za konstrukcijski čelik C 45 -  $m = 0,295$ , a za teško obradljivi čelik 33XH3MA -  $m = 0,580$ .



### Zaključak

Na osnovu obradjenih rezultata ispitivanja mogu se doneti sledeći zaključci: razlika  $m = 0,295 - 0,291 = + 0,004$  za čelik C 45 i  $m = 0,580 - 0,592 = - 0,012$  za teško obradljivi čelik 33XH3MA, kada je u pitanju približna metoda, predstavlja dovoljno malo odstupanje, da bi opravdala ovako postavljenu približnu metodu određivanja postojanosti alata.

## Literatura

1. Feljdštein, E.P.: Metodi opredeljenja obratnivaemosti, M. Mašgiz, 1948.
2. Besprozvanij, I.M.: Osnovi teorii rezanija metalov, M. Mašgiz, 1948.
3. Šolaja V.: Ispitivanje postojanosti alata metodom poprečne obrade na strugu, Tehnika-Mašinstvo, Beograd 1956/6.
4. Janssen, W.G.: Kurzzritversuch für drehen mit hartmetall werkzeugen, Microtechnic, 1961/3.

## Содержание

Секулич С.С. доцент Машиностроительного факультета, Университета, Нови Сад.

Исследование стойкости инструментов коротким поведением обработки.

В цели сокращения и уменьшения стоимости исследования стойкости инструментов предлагается короткое наведение обработки. Кроме формулы Тайлора  $vT^m = C_T$ ;  $m = const$ , пользуется и уравнение Вебера  $S = Kt^\beta$ ;  $K = f(v)$ ;  $\beta = const$ . Связь между этими формулами в виду  $S = pv^{\beta/m} t^\beta$  обеспечивают определение степени  $m$  через  $\beta$ . При применении предложенного метода необходимо и достаточно сделать график  $S = f(t)$  при какойто скорости резания в соответствующей маленькой стойкости  $T$ . Потом для усвоенного интервала резания  $t$ , при нечто меньшей скорости резания установить величину износа  $S$ . Предлагаемый метод, кроме обработки точением применимый и на другие виды обработки /сверление, фрезерование/



J. Stankov\*

NEKA PITANJA ZAMORA UREZNIKA\*\*

1. Uvod

Ispitivanja alata u realnim uslovima rada služe kako za odredjivanje postojanosti, njihove funkcionalne sposobnosti, sigurnosti u radu i mogućnosti izrade površine sa zadovoljavajućim kvalitetom, tako i za iznalaženje optimuma s obzirom na rezne i mehaničke karakteristike samog alata. Dinamička ispitivanja pritom imaju za cilj da odrede oblast stabilnog i nestabilnog rada alata, njegovu otpornost na zamor i dinamičku čvrstoću. Ako posmatramo alat kao elastičan element, sposoban za vibriranje, koji može da se nadje u zoni nestabilnosti, bez obzira što je sama mašina alatka u zoni stabilnog rada, moramo naći tada vezu između naprezanja i dugovečnosti alata i videti da li je njegova izdržljivost na zamor veća ili manja od postojanosti alata s obzirom na abanje. Pritom je teško, ili čak nemoguće, izdvojiti iz procesa rezanja jedan po jedan uticaj i posebno ga ispitivati. Tako ćemo postojanost alata uvek ispitivati na taj način što ćemo uzimati u obzir uticaj dimenzija alata, materijala alata i radnog predmeta, režima rezanja itd. na postojanost, a uticaj vibracija izazvanih u toku rezanja amplituda i frekvencija pri raznim režimima rezanja, zanemariti. Međutim, u ovom radu se pokušalo poći sa suprotne strane - izdvojiti i ispitati uticaj vibracija na trajnost alata, ali tako, da se pogodnim sistemom ispitivanja isključe, a ne zanemare, ostali uticaji. Metodologija ispitivanja materijala na zamor je poznata, ali je ovog puta primenjena na uzorak sa specijalnom geometrijom, na urezник, a oblik, dimenzije alata, zatim veličine opterećenja, frekvencija, tačnost očitavanja merenih vrednosti, kao i univerzalnost pri dinamičkim ispitivanjima - mogućnost da se simuliraju promenljiva i udarna opterećenja - diktirala su i izradu posebnog uređaja i kompletiranje potrebne instrumentacije za ispitivanje.

---

\* Jelena D. Stankov, mr.ing. docent Mašinskog fakulteta u Novom Sadu.

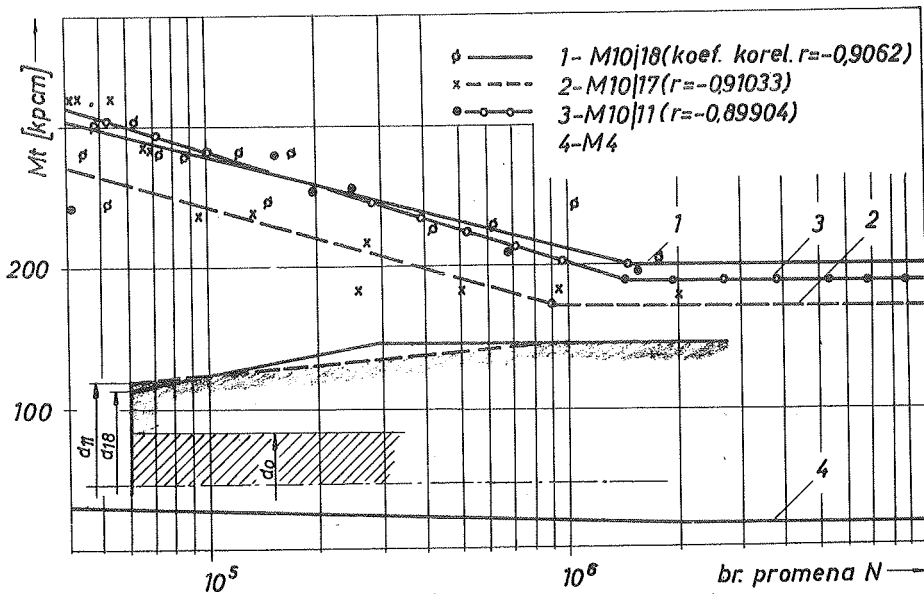
\*\* Saopštenje iz Instituta Mašinskog fakulteta u Novom Sadu. Eksperimentalni deo radjen u Institutu za alatne mašine i alate, Beograd.

U ovom radu vršena su samo istraživanja u oblasti promenljivih opterećenja i njihovog uticaja na trajnost domaćih ureznika proizvodnje FRA - čačak, Ispitivali su se ureznici M10 sa oznakom M10/11 ( $d_o = 3,8$  ;  $l_k = 16,0$  ;  $\alpha = 5^\circ$ ) M10/17 ( $d_o = 3,5$  ;  $L_k = 18,5$  ;  $\alpha = 5^\circ$ ), M10/18 ( $d_o = 3,8$  ;  $L_k = 8,5$  ;  $\alpha = 10^\circ$ ) i M4, sa frekvencijom od  $f = 12,8$  [ $\text{sec}^{-1}$ ].

## 2. Krive zamora

Da bismo se najviše približili eksperimentalnim vrednostima, krive zamora su predstavljene sa dva tipa jednačina. Ispitivanje je išlo sa najvećom dužinom trajanja od  $N = 1.8012 \cdot 10^6$  pri  $M_t = 200$  [kpcm]. Za date eksperimentalne vrednosti nadjeni su parametri, a pomoću izračunatih parametara nadjena je dinamička čvrstoća na bazi  $10^7$  promena. Za određivanje dinamičke čvrstoće korišćena je jednačina:

$$M_t = M_0 N^{-m} \dots (1), \text{ gde su } M_0 \text{ i } m \text{ - parametri}$$



Sl.1 Krive zamora



dok je za konstrukciju krive zamora, za levi deo krive, korišćena eksponencijalna jednačina, ali tipa:  $N = N_0 e^{-m} M_t \dots (2)$  gde je  $N$  - broj promena do loma alata,  $M_t$  - torziono opterećenje u kpcm, dok su  $N_0$  i  $m$ , parametri. Grafik kriva zamora dat je na sl.1.

Eksperimentalne jednačine pojedinih vrsta ureznika, tipa (1):

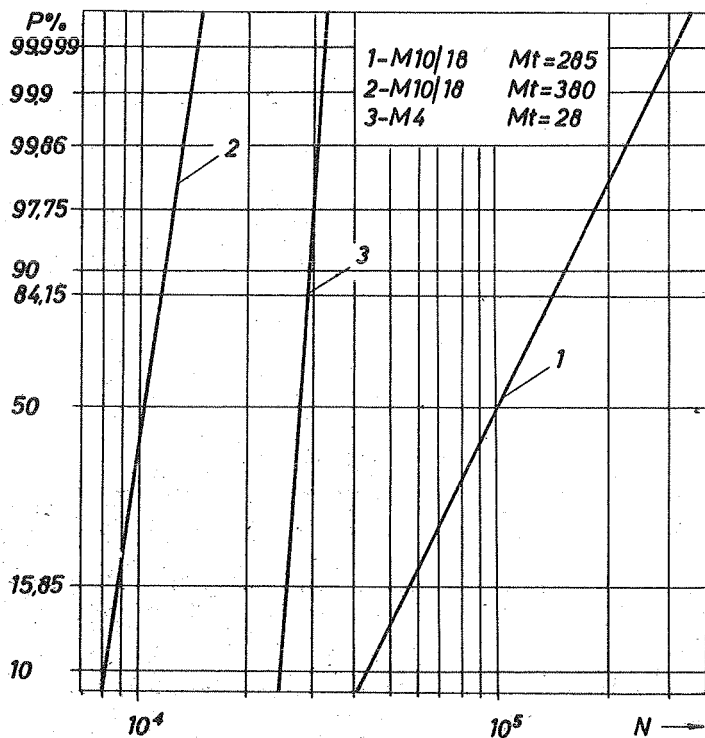
za M10/18	$M_t = 671,7 N^{-0,07588}$
M10/17	$M_t = 714 N^{-0,08828}$
M10/11	$M_t = 781,7 N^{-0,08618}$
M4	$M_t = 59,35 N^{-0,073103}$

dok su jednačine (2)

za M10/18	$N = 0,1828 \cdot 10^{10} e^{-0,035211 M_t}$
M10/17	$N = 0,23245 \cdot 10^9 e^{-0,031694 M_t}$
M10/11	$N = 0,30743 \cdot 10^9 e^{-0,028604 M_t}$
M4	$N = 0,1546 \cdot 10^{15} e^{-0,80332 M_t}$

Razlike vrednosti broja promena pri nekom odredjenom momentu uvijanja nja, računati po krivoj zamora (1) ili (2) ne prelazi 3 % kod velikih opterećenja, ali zato i do 26 % kod opterećenja koji odgovaraju broju promena do loma  $10^7$ , što je i sasvim razumljivo kad se pogleda tok krivih. Kriva (1) ima takav oblik, da se asimptotski približava nekoj vrednosti, pa je stoga po njoj i računata vrednost za dinamičku čvrstoću, dok je kriva (2) strma, pa je zbog odsustva njenog horizontalnog dela, dato da je desna strana krive zamora predstavljena jednačinom  $M_{td} = const.$  ( $M_{td}$  - moment uvijanja pri kome ureznik izdržava trajno opterećivanje). Vrednosti su za M10/18:  $M_{td} = 202$  [kpcm]; M10/17:  $M_{td} = 172$  [kpcm]; M10/11:  $M_{td} = 190$  [kpcm] i M4:  $M_{td} = 18,5$  [kpcm]. U tački preseka dobićemo tada vrednost  $N_{od}$  - broj promena koji se naziva granica osetljivosti. Ova vrednost, kako predlažu neki autori (2) može da se iznadje i metodom statističke ocene, međjutim, mišljenja smo da bi tada bio potreban mnogo veći broj eksperimentalnih vrednosti. Kriva zamora se, pak, smatra se, sa 10 - 15 tačaka može sasvim dobro konstruisati, tako da za mali broj uzoraka, odgovara način za dobijanje vrednosti  $N_{od}$ . Ureznik M10/18 ima granicu osetljivosti u tački  $N_{od} = 1,52 \cdot 10^6$ , M10/17:  $N_{od} = 8,85 \cdot 10^5$ , M10/11:  $N_{od} = 1,46 \cdot 10^6$  i M4:  $N_{od} = 5,65 \cdot 10^7$ .

Medjutim, i pored malog broja podataka, učinjen je pokušaj da se na osnovu korišćenja statističke teorije iznadju parametra funkcije distribucije oblasti izdržljivosti stvarnih uzoraka. Vreme za odredjivanje broja promena do loma je vrlo veliko, pogotovo za veći broj uzoraka, tako da se javlja neophodnost za približnim ocenama parametara krive raspodele prema rezultatima ograničenog broja stvarnih ispitivanja.



Sl. 2 Zavisnost verovatnoće loma ureznika od broja promena do loma

Sl. 2

Zakon distribucije, predstavljen jednačinom:

$$P_{\text{lom}} = F(N) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{(N-\bar{N})^2}{2\sigma^2}} dN$$

DR.28.04.

dat je na ordinatu u razmeri za normalnu verovatnoću, a na apscisi u logaritamskoj, tako da se normalna funkcija gustine verovatnoće raspodele predstavlja u vidu prave linije (sl.2). Na slici su date vrednosti verovatnoće loma alata u zavisnosti od broja promena za ureznike M4 i M10/18 pri konstantnim torzionim momentima.

### 3. Zaključak

Na osnovu rezultata ispitivanja i proračuna mogu se izvesti sledeći zaključci:

1. Krive zamora (u koordinatama opterećenje - opšti broj promena do loma) predstavljene na sl. 1 daju redosled otpornosti na zamor ureznika. Iako se krive (1) i (3) presecaju ipak se može reći da je ureznik M10/18 pogodniji kao oblik s obzirom na izdržljivost, pri promenljivom opterećenju, jer ima veću dinamičku čvrstoću od ureznika M10/11. Povećanje ugla  $\alpha$  uz istovremeno smanjenje dužine konusa, daje jači profil, alat otporniji na zamor, dok dugačak konus (M10/17) sa smanjenim prečnikom jezgra do, i pored smanjenja ugla vrha, ima manji moment uvijanja pri trajnoj izdržljivosti alata i do 15 %. Medjutim u ranijim ispitivanjima vršenim u IAMA [3] prema tablici za odredjivanje optimalne geometrije ureznika od kabaltnog i brzoreznog čelika pri obradi navoja u legiranom čeliku, redosled je takav da prednost imaju ureznici čija je geometrija označena sa 4 (ovde nisu uzeti u obzir), a tek zatim 8 i 1 (znači i M10/18 i M10/11) dok u oba slučaja alati sa oznakom 7 (M10/17) imaju od ova tri tipa ispitivanih ureznika najslabije rezne karakteristike. Tako da, bez obzira što ureznici M10/18 i M10/11 nemaju najbolja rezna svojstva, značajno je da ureznik tipa M10/17 potvrđuje svoje lošije mogućnosti posmatrano i sa aspekta mehaničkih karakteristika.

Ako sada izradzimo ojačanje ureznika usled promene dimenzionih parametara vrha alata pomoću koeficijenta punoće profila, predstavljenog proizvodom iz koeficijenata  $K_k$  i  $k_{d0}$ , gde je  $K_k$  - površina profila konusnog dela koju bi smo dobili kad bi bio napravljen presek kroz aksijalnu osu alata u odnosu na pun profil, bez konusa, dok  $K_{d0}$  uzima u obzir veličinu prečnika jezgra, dobili bi-

smo da je  $K_{18} = 0,355$ ,  $K_{11} = 0,332$  i  $K_{17} = 0,293$ . Procentualni odnos koeficijenata punoće profila i dinamičkih čvrstoća za pojedine tipove ureznika prečnika M10 imali bi približno iste vrednosti.

Tako je  $\frac{K_{11}}{K_{18}} = \frac{0,332}{0,355} = 0,935$  (ili 93,8 %), dok je

$$\frac{M_{td17}}{M_{td18}} = \frac{190}{202} = 0,940 \text{ (94 \%)}, \text{ a } \frac{K_{17}}{K_{18}} = 0,825 \text{ i } \frac{M_{td17}}{M_{td18}} = 0,851.$$

Znači da možemo reći da promena dimenzija vrha alata utiče na njegovu otpornost na zamor i da znajući ovo možemo koristiti rezerve za njihovo povećanje.

- Iz (sl.2) vidimo da će se sa vrlo malom verovatnoćom od svega 0,2 %, ureznik M10/18 slomiti već posle ~ 59 min. neprekidnog rada, sa učestanošću promene  $768 \text{ [min}^{-1}\text{]}$  i opterećenjem od 280 [kpcm], kad je veličina momenta uvijanja znatno iznad dinamičke čvrstoće. Medjutim, da će se lom desiti posle 130 min., možemo tvrditi sa 50 % verovatnoće. Ako je, pak, ureznik opterećen momentom  $M_t \leq M_{td}$  možemo očekivati znatno duži vek alata, a to nam daje sliku dosta visoke dinamičke izdržljivosti ureznika.
- Tangens krive (1) (2) i (3) određuje oblast broja promena u kojima se sa verovatnoćom od 10 do 99.999 % može desiti lom alata. Manji moment opterećenja razumljivo daje i veću oblast izdržljivosti. (kriva (1)), dok visoke vrednosti opterećenja daju vrlo uzan dijapazon u kom se alat lomi (kriva (2)). Ovo je razumljivo, jer ukoliko povećamo opterećenje skoro do veličine pri kojoj nastaje statički lom, oblast broja promena do loma iznosila bi koliko i rasturanje podataka pri statičkom ispitivanju. Zato se kriva (2) i kreće u predelu od svega 36000 broja promena za verovatnoću loma od 10 - 99.999 %, dok je kod opterećenja smanjenim za 25 % ova oblast proširena za čitavih 7 puta.

## L i t e r a t u r a

- 1 Stankov J. Uperedno ispitivanje mehaničkih karakteristika zavojnih burgija, IAMA, Beograd, E 86/68 (1968).
- 2 Селимов А.Ф. Хлебникова И.Г. Методика статистической оценки порога чувствительности усталостной долговечности. Сб. "Механическая усталост в статистическом аспекте" издаво "Наука" /1968/
- 3 Popović B. i dr., Uperedno ispitivanje karakteristika domaćih i stranih ureznika, Elaborat 60/67, Institut za alatne mašine i alate (1967)
- 4 Šolaja V. Ispitivanje obradivosti domaćih materijala domaćim alatima, Saopštenje IAMA, 5 (1967) 519

### EINIGE FRAGEN DER GEWINDEBOHRERERMÜDUNG

In diesem Artikel sind die Ergebnisse der Prüfungen des mit dem veränderlichen Torsionsmoment belasteten Werkzeuges bei Frequenz von  $f = 12,8$  (1/sec) dargestellt.

Der mit drei Typs vorgestellter Gewindebohrer wurde so belastet dass die Dimensionsparameter der Werkzeugspitzen und des Gewindebohrers ständig geändert wurden und so war es möglich die Ermüdungskurve zu konstruieren. Die Ergebnisse zeigen dass eine Verstärkung der Spitzen durch Kurzung der konuslänge resultieren in der Vergrößerung der Haltbarkeit auf Ermüdung.





