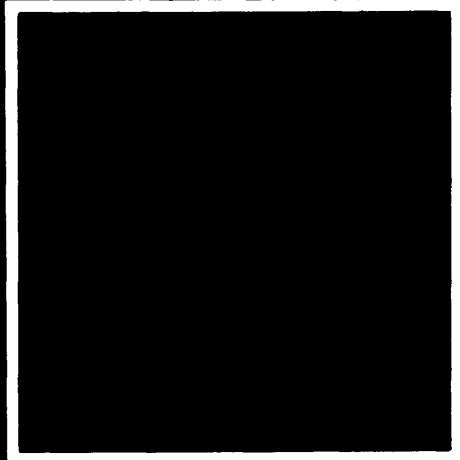
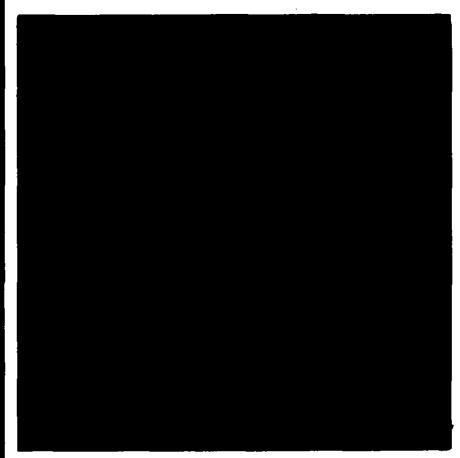
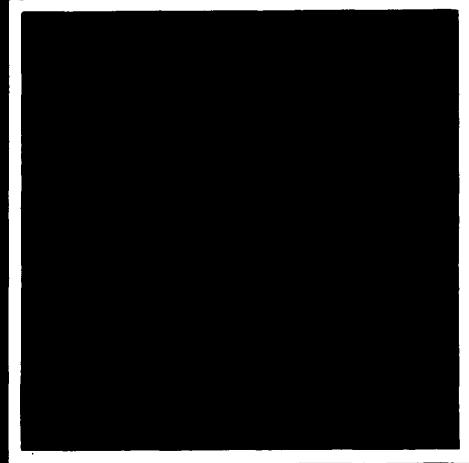
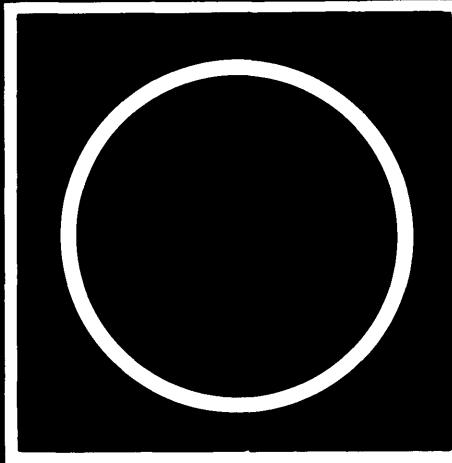
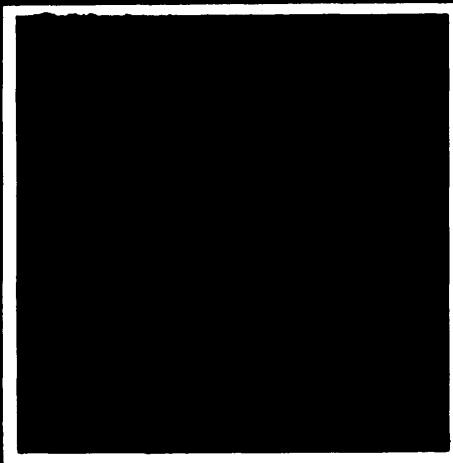


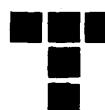
tribologija u industriji

YU ISSN 03551-1642
GODINA XI
MART 1989.

1



Nauka i tehnologija o prenosu i rasipanju masa i energije u mehaničkim sistemima



tribologija u industriji

sadržaj contents содержание

| | | |
|--|--|----|
| UVODNIK INTRODUCTION ПЕРЕЛОВИЦА | M. NEDELJKOVIĆ: Osnove tehničke dijagnostike u fleksibilnim tehnološkim sistemima - Essentials of the system of engineering diagnostics in flexible technological sys- tems - Основы системы технической диагностики в гибким технологическим системам. | 3 |
| Istraživanja RESEARCH ИССЛЕДОВАНИЯ | M. STEFANOVIĆ: Uticaj triboloških faktora u zoni držača lima pri dubokom izvlačenju - The effects of tribological factors in the blank holder zone in deep drawing - Возде- йствие трибологических факторов в зоне деронателя листового глубокой волнянки | 5 |
| | B.B. НЕВЗОРОВ, А.И. СВИРИДЕНКО: Metodologija ispitivanja dinamike habanja kontaktnih parova tipa metal - polimer - Methodology for investigating the wear dynamics of metal- polymer contact pairs - Методика исследования динамики изнашивания металло полимерных пар трения | 11 |
| | B. TADIĆ, Z. VI-GANG: Otpori rezanja pri struganju alatima sa i bez prevlake od titan- nitrida - Cutting resistance in turing with titanium nitride coated tools - Сопротив- ление резанию при точении инструментом с и без покрытия из титан-нитрида | 17 |
| KNJIGE I ČASOPISI BOOKS AND JOURNALS КНИГИ И ЖУРНАЛЫ | | 26 |
| NAUČNI SKUPOVNI SCIENTIFIC MEETINGS НАУЧНЫЕ СОБРАНИЯ | | 28 |
| PEZIMEA ABSTRACTS РЕЗЮМЕ | | 31 |

M. NEDELJKOVIĆ

Osnove sistema tehničke dijagnostike u fleksibilnim tehnološkim sistemima

Tehnička dijagnostika je savremena naučna i stručna disciplina koja proučava teoriju i metode organizacije procesa dijagnosticiranja stanja tehničkih sistema sa ciljem da se obezbedi visoka pouzdanost i efikasnost tih sistema u eksploataciji. Poseban značaj ima ova disciplina za razvoj fleksibilnih tehnoloških sistema (FTS) i automatizaciju proizvodnih procesa, jer dijagnosticiranje predstavlja osnovni sadržaj upravljanja tehničkim stanjem mašina.

U procesu upravljanja tehničke dijagnosticiranje ostvaruje tri osnovne funkcije: *pribavljanje informacije o tehničkom stanju posmatranog objekta, obrada i analiza informacije, priprema i donošenje komandne informacije-odlučivanje*. Dakle, radi se o informacionom sistemu sa specifičnom sadržinom svake osnovne informacije.

Suština prve informacije je merenje dijagnostičkih parametara, koji posredno odslivavaju radnu sposobnost objekta dijagnosticiranja, utvrđujući pri tome kvalitativnu promenu. Treba razlikovati *resursni parametar* tehničkog stanja, i, *funkcionalni parametar*. Prvi parametar znači gubitak radne ispravnosti zbog toga što je resurs elementa potpuno iskoršćen i potrebna je fizička zamena ili remont elementa (*istrošenost elementa*). Promena funkcionalnog parametra iznad dozvoljene vrednosti uslovjava gubitak radne ispravnosti strukturalnih podsistema, ali koji se može otkloniti intervencijom tekućeg održavanja (povišeno zagrevanje, olabavljena veza).

Suština druge informacije je obrada informacije i uporedjenje iz mernih vrednosti parametara sa dozvoljenim i time prognoziranje ostatka resursa radne ispravnosti.

Suština treće funkcije sadrži analizu rezultata komparacije i utvrđivanje mera, obima i roka operacija za obnavljanje radne ispravnosti celog objekta dijagnosticiranja. Razradom prve osnovne funkcije dolazi se do osnovnih zadataka i konkretnog sadržaja te funkcije:

a) izbor strukturalnih parametara

b) izbor dijagnostičkih parametara

Pošto se izaberu dijagnostički parametri konkretnog objekta dijagnosticiranja pristupa se:

b₁) razradi sredstava dijagnosticiranja

b₂) stvaranju algoritama dijagnosticiranja

Razradom druge osnovne funkcije definišu se njeni zadaci i sadržaji:

c) modeliranje promene parametara

d) definisanje pokazatelja promene parametara.

Iz navedenih zadataka slede dalji poslovi na:

c₁) razrada metoda prognoziranja stanja i resursa

d₁) utvrđivanje dozvoljenih vrednosti parametara i rezervi resursa.

Za realizaciju treće funkcije - priprema odluke - treba obaviti sledeće osnovne zadatke:

e) algoritmizacije donošenja odluke

f) analiza uslova rada.

Za izvršenje zadataka pod e i f slede poslovi:

e₁) utvrđivanje obima poslova na regeneraciji stanja

f₁) razrada procedure donošenja odluke.

Iskustvo pokazuje da je u inženjerskom smislu naj-složeniji zadatak kompleks poslova prve osnovne funkcije - utvrđivanje oba parametra tehničkog stanja i dobijanje potrebnih i dovoljnih informacija o tehničkom stanju objekta.

Prvu etapu u redosledu ostvarivanja informacione baze podataka čini izbor i utvrđivanje strukturalnih parametara koji ograničavaju medjuremontni resurs ili koji bitno umanjuju pouzdanost i efikasnost. To znači, treba izvršiti detaljnu denivelaciju strukture složenih sistema u podsisteme, komponente, sklopove i elemente i njihove spojeve i utvrditi verovatnoću njihovih otkara i resursa. Posle ovoga se može pristupiti razradi sred-

stava i metoda za kontrolu i merenje stanja tih parametara.

Drugu etapu procesa stvaranja baze podataka čini definisanje skupa dijagnostičkih parametara (buka, vibracije, temperatura, protok, pritisak i dr.). Potrebno je istražiti kauzalnost dijagnostičkih i strukturalnih parametara. Na osnovu ovog istraživanja definiše se skup dijagnostičkih i strukturalnih parametara koji imaju maksimalnu informisanost preko koje može da se uspostavi veza sa stanjem strukturalnog parametra, odnosno postavlja se *dijagnostički model objekta*.

Algoritam dijagnosticiranja razradjuje se na osnovu većeg broja kriterijuma:

tehnički - minimalna složenost, maksimalna informativnost, verovatnoća otkaza, greške merenja stanja,

ekonomski - minimalni troškovi i vreme dijagnosticiranja.

Algoritam dijagnosticiranja sa više koraka u proceduri sa predpostavljenom nekom funkcijom cilja naziva se *optimizacionim*. Optimalni algoritam, čiji sadržaj funkcije cilja predstavlja broj elementarnih provera, a ekstremum čini minimalni broj potrebnih provera, naziva se *minimalnim algoritmom*.

Radi obezbeđenja pouzdanosti FTS neophodno je stvaranje sistema tehničkog dijagnosticiranja. Ostavimo za sada po strani matematičke modele objekata dijagnosticiranja i metode njihove analize. Za praktičnu primenu treba imati u vidu specifičnost projektovanja takvog sistema, utvrditi strukturu takvog sistema, i utvrditi ugrađena i spoljašnja sredstva za dijagnosticiranje i metode za merenje dijagnostičkih parametara i odrediti način njihove obrade. Ovde se postavlja pitanje da se iz skupa principijelno mogućih parametara izabere takav ograničen skup parametara čija kontrola obezbeđuje dovoljnu informiranost o stanju tehnološke opreme. Poznato je da svaki objekat (vozilo, avion, brod, alat na mašinama) ima svoje specifične osnovne parametre dijagnosticiranja. Broj parametara i problemi utvrđivanja vrednosti tih parametara rastu u funkciji složenosti objekta, prvenstveno automatizovanih. Stanje fleksibilnih tehnoloških sistema može biti ocenjivano po parametrima procesa obrade (vibracije, temperatura, brzina rezanja), po kvalitetu i tačnosti obradjenih predmeta (tačnost oblika i kvalitet površina) i neposrednim dijagnosticiranjem ugrađenih mašina za obradu. Zavisno od ovih principa definiše se sistem, struktura i sredstva za dijagnosticiranje.

Sistem dijagnosticiranja je prvi zatvoreni podsistem u automatizovanom sistemu funkcionisanja FTS. U sastav takvog sistema ulazi i računar pomoću koga se ostvaruje izbor instrukcija za otklanjanje kvara. Opštu strukturu sistema za dijagnosticiranje stanja FTS čine blokovi:

1. blok formiranja signala u kome se transformiše skup parametara X , koji karakterišu stanje FTS, u skup signala F ,
2. blok formiranja karakteristika u kome se transformiše skup signala u skup karakteristika stanja S i uporedujući faktičko stanje F sa etalonom stanja F_e ,
3. blok klasifikacije, gde se uporedjenjem S i S_e utvrdjuje identičnost stanja objekta sa unapred zadatim stanjem,
4. blok informacija u kome se daju informacije o stanju i program aktivnosti radi obnove radne ispravnosti podsistema u FTS,
5. blok realizacije koji ostvaruje instrukcije iz bloka 4 i izvršava potrebna dejstva na objekat, dovodeći ga u stanje ispravnosti. Za savremenu tehnološku opremu koja se ugradjuje u FTS potrebna su i specijalna sredstva za dijagnosticiranje. Tako npr. za prekidna krstanja obrtnih stolova i bubnjeva koriste se "etalon oscilogrami", kojima se registruje brzina, ubrzanje, tačnost pozicioniranja, obrtni momenti i snaga (za električni pogon) i pritisak u sistemu (za hidropogon).

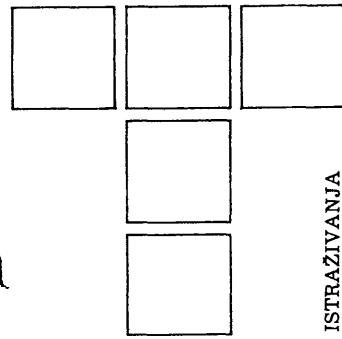
Za kontrolu mera u automatizovanom procesu obrade neophodni su koordinatni merni uređaji za kontrolu dimenzija u procesu obrade. U poslednje vreme se sve više primenjuju roboti za kontrolu mera u tri pravca za obradke izvan alatne maštine. Zavisno od objekta, alat ili maština, koristi se direktni ili indirektni metod dijagnosticiranja parametara u procesu obrade rezanjem. Jedan od najslodenijih sredstava za dijagnosticiranje za FTS predstavljaju optički davači i različite vrste kamere.

Na kraju se mora konstatovati jednostavna činjenica da automatizacija obrade metala u vidu FTS zahteva automatizovane sisteme za kontrolu stanja radne ispravnosti u cilju povećanja gotovosti i efikasnosti tehnologija budućeg vremena. Za ovo su potrebni kadrovi, koji će blagovremeno biti sposobni za takav izazov i na fakultetima i u industriji.

YUTRIB 89

KRAGUJEVAC

M. STEFANOVIĆ



ISTRAŽIVANJA

Uticaj triboloških faktora u zoni držača lima pri dubokom izvlačenju

UVOD

Značaj triboloških uslova pri dubokom izvlačenju je relativno poznat, ali ne i u dovoljnoj meri izučen. Obradnim sistemom po pravilu dominiraju alat, mašina i materijal; šira tribološka problematika se zbog nedovoljnog poznavanja svodi na izbor maziva i zone nanošenja. Pri tome se zapostavlja suštinski uticaj tribu-uslova na proces oblikovanja - na deformacionu силу, opterećenje i vek alata, mogućnost uspešne obrade (pogodna raspodela napona i deformacija - izbegavanje visokih lokalnih deformacionih gradijenata i sl.), smanjenje utroška energije, kao i na visoke mogućnosti ekonomičnog uticaja na proces obrade (npr. skupi efekat izmene geometrije alata je adekvatan zameni maziva).

S obzirom na poteškoće izučavanja kod složenih geometrija radnih komada, kakvi su npr. delovi karoserije putničkih automobila, redovno se koriste odgovarajući modeli, od kojih su najpogodniji osnosimetrični oblici sa ravnim ili polusfernim dnom. Pri tome dominiraju i dva različita postupka - čisto duboko izvlačenje i razvlačenje, koji inače predstavljaju i osnovne modele u izučavanju obradivosti tankih limova.

Još u ranim radovima Swift-a [1], pokazano je da smanjenje trenja na obodu komada koji se izvlači i njegovo uvećanje u zoni izvlakača, dovodi do povećanja graničnog stepena izvlačenja. Bazične informacije u ovoj oblasti, saopštene u seriji radova E. Loyd-a [2], značajno su doprinele razvoju istraživanja vezanih za problematiku trenja i podmazivanja pri dubokom izvlačenju.

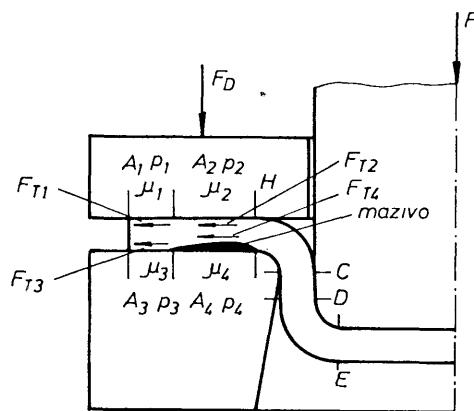
TEORETSKA RAZMATRANJA

Obuhvatajući istovremeno zone klizanja između ravnih površina držača i matrice, savijanja i klizanja preko ivice matrice, kao i klizanja na mestu zaobljenja izvla-

lakača, tzv. čisto duboko izvlačenje, sa svojim reprezentantom - Swift-ovim modelom, omogućava kompleksno izučavanje uticaja trenja.

Zbog mogućeg izraženog klizanja u zoni zaobljenja čela izvlakača i pojave lokalizovane deformacije, poželjno je da trenje na tom mestu bude pojačano. Nasuprot tome, u zoni držača i matrice, kao i zaobljenja ivice matrice, potrebno je trenje što više smanjiti, kako bi se smanjio i ukupni otpor na obodu. Zbog toga je i uobičajeno da se podmazivanje vrši samo na obodu, dok se ponekad koriste i izvlakači povećane hrapavosti u zoni zaobljenja čela [3].

Pri podmazivanju se na obodu formira uljni klin, ograničen ivicom matrice i zadebljanjem oboda, sl. 1.



Sl. 1. - Zone trenja na obodu [4]

Ukupnu silu trenja čine sile po elementarnim površinama, uzimajući u obzir odgovarajuće komponente sile držača F_{D1} i F_{D2} :

$$F_T = F_{D1}(\mu_1 + \mu_3) + F_{D2}(\mu_2 + \mu_4) \quad (1)$$

Zbog prirode deformisanja oboda ($p_1 > p_2$) najmanje vred-

nosti koeficijenta trenja su μ_2 i μ_3 , a najveće u "slobodnoj" zoni - μ_2 . U području A_2 , zbog postojanja uljnog klina - $\mu_4 = 0$.

Pri prekoračenju graničnih odnosa pri izvlačenju, dolazi do razaranja komada. Na karakter razaranja odlučujući uticaj imaju deformaciono ojačanje i tribološki uslovi na kontaktnim površinama. U zavisnosti od intenziteta trenja i parametara obradivosti lima, zona razaranja komada se locira različito, između tačaka H i E, sl. 1, pri čemu se i kriterijumi razaranja prilagodjavaju uslovima koji postoje u kritičnoj zoni. Pregled mogućih odnosa s obzirom na uticaj trenja na vid razaranja dat je u tabeli 1 |5|.

| vid razaranja (sl. 1) | uslovi trenja | | | osnovno svojstvo materijala. koje odgovara vidu raz. |
|--|--------------------------|-------------------------|----------------------------|--|
| | na ravnom čelu izvlakača | na zaobljenom izvlakaču | na cil. površini izvlakača | |
| ravnomerno dvoosno zat. razaranje oko tačke E | slabo trenje | slabo trenje | slabo trenje | mala vrednost r-faktora |
| ravansko naponsko stanje; razaranje blizu tač. D | jako trenje | jako trenje | slabo trenje | veliki r-faktor |
| jednoosno zatezanje; razaranje blizu tačke D | jako trenje | jako trenje | jako trenje | veliki n-faktor |

Sila izvlačenja osnosimetričnih komada se može odrediti na više načina, koji se razlikuju u elementima primene odgovarajuće teorije plastičnog deformisanja metala, odnosno prema nivoima odgovarajućih aproksimacija pri izračunavanju. Najpogodniji pristup, kada se radi o istraživanju uticaja trenja na napone i silu izvlačenja, sadržan je u odvojenom izračunavanju svih komponenti sile izvlačenja uz nužna uprošćenja. Naime, pri ovome se može smatrati da trenje nije funkcija koordinata na obodu, tj. pri postavljanju diferencijalnih jednačina ravnoteže uticaj trenja nije uzet u obzir |6|. Takođe, smatra se da je materijal izotropan.

Ukupna sila, koja se registruje kao aktivna sila na izvlakaču (radijalni napon se pri postizanju maksimuma računa prema |6|), može se izraziti na sledeći način:

$$F = F_{ob} + F_{tr}$$

gde je:

F_{ob} - sila "idealnog oblikovanja", koja odgovara zbiru sile neophodne za tangencijalno sabijanje na obodu (F_1) i sile savijanja i ispravljanja oko zaobljene ivice matrice (F_2);

- ukupna sila trenja, koju čine sila trenja u zoni ravnog oboda komada (F_3) i sila trenja na zaobljenu uvicu matrice (F_4).

Komponenta F_3 se određuje na osnovu specifičnog pritiska (p_D) i geometrije držača i matrice (A_D):

$$F_3 = 2 \cdot \mu_D F_D \frac{1}{\beta} = 2 \cdot \mu_D \cdot A_D \cdot P_D \frac{1}{\beta} \quad (2)$$

$$A_D = |D_o^2 - (d_M + 2 \cdot r_M)^2|^{\frac{1}{4}}$$

$$P_D = 0,025 |(\beta-1)^2 + 0,5 \frac{d_o}{100 \cdot S_o}| R_m$$

gde je:

μ_D - srednji koeficijent trenja u zoni držača,

D_o - prečnik razvijenog stanja,

d_M, r_M - prečnik matrice, poluprečnik zaobljenja ivice matrice,

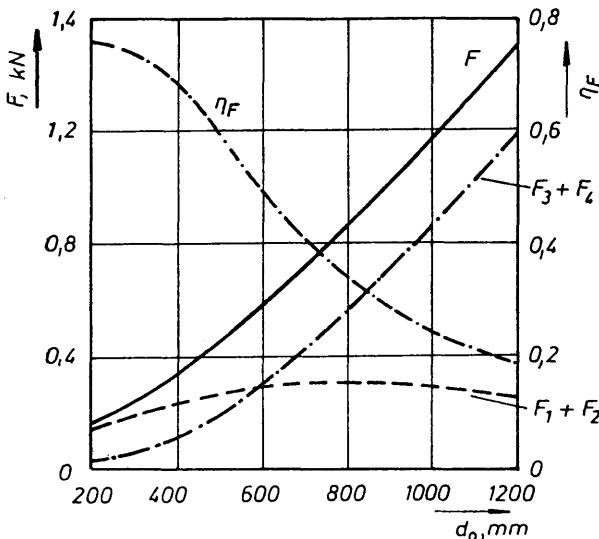
$\beta = D_o/d_o$ - stepen izvlačenja.

Detalji u vezi određivanja ostalih komponenti sile izvlačenja izloženi su u radovima autora |8|, |9|.

Prethodni izraz uzima u obzir, pored stepena izvlačenja i prečnik komada d_o , čime se značajno utiče na vrednost specifičnog pritiska P_D , odnosno na силу držanja F_D i komponentu F_3 . Na taj način veličina F_D , ili preciznije pritisak P_D i koeficijent trenja μ_D postaju glavni parametri uticaja trenja na obodu i ključni tribološki faktori.

Optimalna vrednost sile držača mora zadovoljiti uslove s obzirom na pojavu nabora, odnosno pojavu razarača komada. Upravljanje silom držača u toku procesa izvlačenja, posebno kod delova nepravilnog oblika, već je realizovano kod novih klasa CNC hidrauličnih presa. Klasične mehaničke prese umesto vazdušnih jastuka dobijaju hidraulične držače sa programskim upravljanjem u više tačaka (npr. SMG-SCHULER sa nezavisnim upravljanjem u četiri tačke držača |10|). Povećanjem prečnika komada koji se izvlači, uvećava se i specifični pritisak na obodu komada, te raste i sila držanja. Istovremeno se smanjuje granični stepen izvlačenja, što je u skladu sa poznatim preporukama za izbor prečnika po fazama izvlače-

nja u zavisnosti od relativne deblijine (S_0/D_0). Uvećanje prečnika komada prati i porast uticaja komponenti koje opisuju trenje (F_3, F_4), sl. 2. Prikazani rezultati se odnose na izvlačenje delova od niskougljeničnog čelika, koji je i korišćen u eksperimentalnom delu rada.



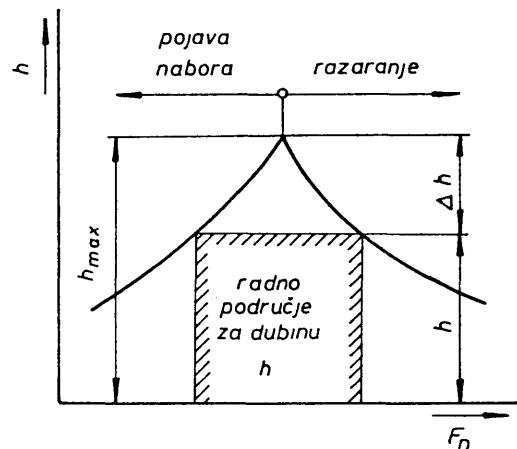
Sl. 2. - Zavisnost komponenti sile izvlačenja od prečnika komada [9]

S obzirom da sa porastom dimenzija komada koji se izvlači raste udeo sile F_{tr} prema sili oblikovanja F_{ob} , kod velikih otpresaka suštinski uticaj na proces izvlačenja ima trenje u opisanim zonama. Karakteristike materijala, kao što su: zatezna čvrstoća, ojačanje (η -faktor) i sl. su od sekundarnog značaja (uz napomenu, da ove karakteristike svakako određuju sposobnost za prenošenje ukupne sile izvlačenja). Optimalnim izborom i upravljanjem triboloških uslova na obodu (mazivo i zone nanošenja, površinska hrapavost, sila držača i njena raspodela) može se pouzdano doprineti stabilnosti odvijanja procesa obrade.

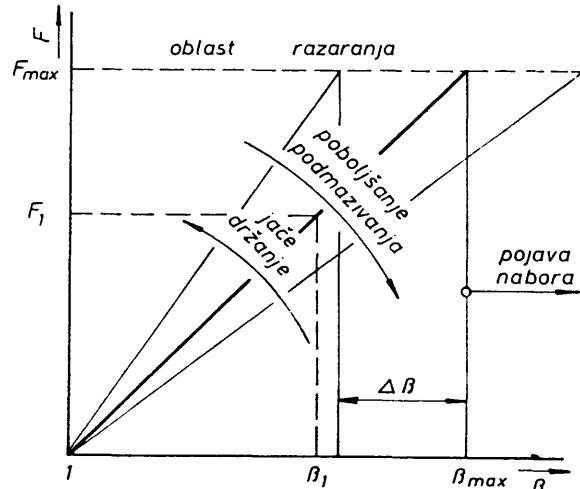
Sila držača mora biti tako odabrana, da omogući optimalni režim na obodu, s obzirom na pojavu nabora i razaranja. U odnosu na limove uobičajenog kvantiteta površina, kod limova sa prevlakama (antikorozione prevlake, najčešće na bazi cinka) neophodno je silu držanja uvećati i do 60%, kako bi se ostvario potreban efekat. Razlog je nizak koeficijent trenja u kontaktu prevlaka/metal, što ima za posledicu sklonost ka stvaranju nabora.

Generalni prikaz složenog uticaja sile držača na dubinu izvlačenja dat je na sl. 3. Radno područje je ograničeno linijom pojave nabora, odnosno krivom razara - nja.

Uticaj trenja na obodu pogodno je iskazati i promenom graničnog stepena izvlačenja (β). Teorijsko odredjivanje stepena β prepostavlja izjednačavanje kritičnog napona u trenutku pojave lokalizovanog deformisanja i ukupnog napona pri izvlačenju [5], [6]. Pri eksperimentalnom određivanju menja se prečnik D_0 , pri stalem d_0 i izmeni stanja na kontaktnim površinama. Opšta shema uticaja triboloških parametara na stepen izvlačenja pokazana je na sl. 4.



Sl. 3. - Uticaj sile držača na dubinu izvlačenja



Sl. 4. - Zavisnost stepena izvlačenja od kontaktnih uslova [11]

Promene na sl. 4. su na određen način transformisani odnosi sa sl. 3, uz nepromenljivo β . Smanjenje trenja u zoni držača omogućava porast stepena izvlačenja za $\Delta\beta$ pri istoj sili razaranja (ova sila ne zavisi od trib - uslova).

EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Sva merenja i teoretska razmatranja su vršena za niskougljenični čelični lim, kvantiteta Č.0148 P5 su, debljine 0,8 mm, koji je namenjen dubokom izvlačenju delova karoserija putničkih automobila. Osnovne mehaničke i karakteristike obradivosti ovog materijala u pravcu valjanja su:

$$R_p = 177 \text{ MPa}; R_m = 300 \text{ MPa}; n = 0,21; r = 1,75.$$

Parametri hrapavosti:

$$Ra = 1,81 \mu\text{m}; R_t = 12,4 \mu\text{m}; R_z = 10,8 \mu\text{m}; \\ N = 10 \text{ pik/mm}.$$

Oblik krive ojačanja:

$$K = 177 + 388,3 \cdot \varphi^{0,448}, \text{ MPa}$$

Hemijski sastav je u skladu sa kvalitetom ovih limova, prema standardu JUS C.B4.016.

Izvlačenja su vršena na specijalnoj hidrauličnoj presi za ispitivanje limova ERICHSEN 142/12, opremljenoj odgovarajućim sistemom za registrovanje podataka. Nominálni prečnik izvlakača iznosi 50 mm; koristi se oblik sa ravnim čelom. Kompletan metodologija merenja je opisana u radu [8].

[8].

Uvrštavajući odgovarajuće brojne vrednosti u komponente sile izvlačenja dobija se analitička forma ukupne sile, kao funkcija stepena izvlačenja (β), koeficijenta trenja u zoni držača (μ_D) i zoni ivice matrice (μ_M):

$$F = |11,523,3(\beta^{0,428}-1)|^{1,273} + \mu_M \\ + 3927 \cdot \mu_D^P \frac{1}{R} (\beta^2 - 1) e^{1,57 \cdot \mu_M} + 488,14; \quad N \quad (3)$$

Prije adekvatnim modelnim ispitivanjima, sprovedeni u radu autora [8], za oblast pritiska držača $p_D = 2-4 \text{ MPa}$ i različita tribološka stanja u kontaktu (mazivo- M_1 , M_2 , bez maziva - S) dobijene su sledeće vrednosti koeficijenta trenja:

$$\text{za } M_1 : \mu_D = 0,190; \mu_M = 0,160$$

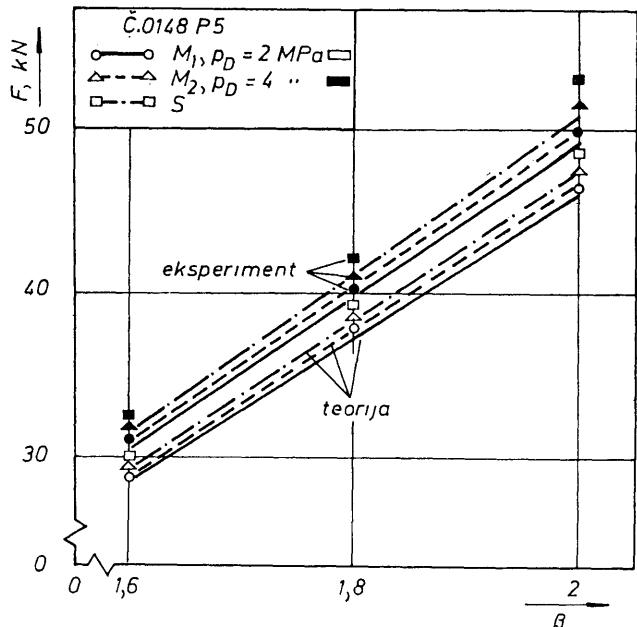
$$M_2 : \mu_D = 0,200; \mu_M = 0,167$$

$$S : \mu_D = 0,215; \mu_M = 0,174$$

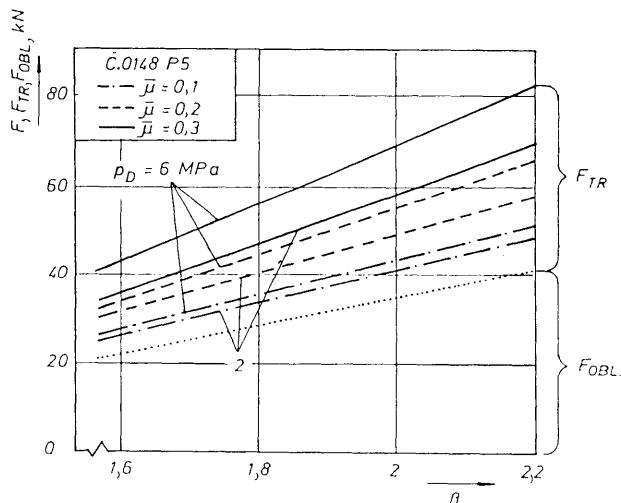
Uporedni rezultati merenja i izračunavanja prema izrazu (3) prikazani su na sl. 5.

Postoji, prema sl. 5, relativno dobro slaganje u pokazanim zavisnostima dobijenim na opisan način. Nepodudarnost je moguće objasniti aproksimacijama u izrazu (3), kao i približnim vrednostima koeficijenata trenja μ_D i μ_M , s obzirom na ograničenja modela pri njihovom određivanju. Uvrštavajući u komponente sile izvlačenja srednje vrednosti koeficijenta trenja, dobijaju se odno-

si prema sl. 6.



Sl. 5. - Zavisnost sile od stepena izvlačenja



Sl. 6. - Zavisnost komponenti sile od stepena izvlačenja

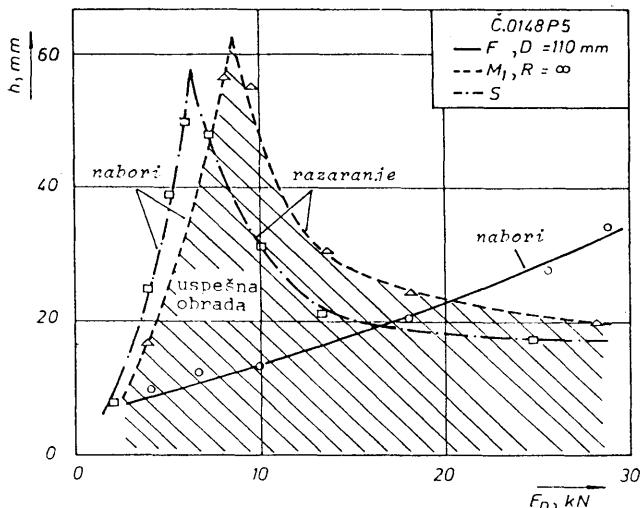
Prečnici izvlačenja su u ovom slučaju znatno manji od onih prema sl. 2, ali su dobijeni odnosi saglasni. Silе trenja su približno jednake silama oblikovanja; uočene razlike u silama trenja za pojedine vrednosti β ne opravdavaju korišćenje većih stepena izvlačenja (npr. kod ispitivanja maziva Swift-ovim postupkom).

Eksperimentalno određivanje polja uspešne obrade, prema sl. 3, zahteva pouzdano definisanje pojave nabora na obradu (granica polja sa leve strane). U radu je poštovan sledeći kriterijum: do nabiranja dolazi, ako je razlika debljine lima, merena u radijalnom i tangencijal-

lom pravcu veća od 15%. Na ovaj način se i vizuelno uočava nestabilnost pri obradi.

Određivanje krive razaranja je relativno jednostavno, s obzirom da se kretanje izvlakača automatski zaustavlja pri pojavi pukotine na komadu.

Za svaku silu držača i različita stanja na kontaktnim površinama, vršeno je više uzastopnih izvlačenja do pojave nabora ili razaranja, kada se deformisanje prekida i registruje odgovarajuća dubina, sl. 7.



Sl. 7. - Zavisnost dubine izvlačenja od uslova obrade

Oznaka (F) odnosi se na korišćenje folije polietilenne kao maziva, čime se simulira "kvazihidrodinamičko" podmazivanje pri obradi - ostvaruje se potpuno razdvajanje metalnih površina. Oblik polja uspešne obrade za određeni stepen izvlačenja zavisi isključivo od korišćenog maziva; uslovi ispitivanja prema sl. 7 ($F_{D\text{MAX}} = 30 \text{ kN}$, $D_{O\text{MAX}} = 110 \text{ mm}$) onemogućavaju razaranje pri korišćenju folije.

Pri otežanim uslovima izvlačenja - većem h i manjem rasponu F_D , moguće je na prikazanim graficima pratiti uticaj promene obradnih uslova: maziva, materijala, geometrije alata i sl. Korektni pristup u izučavanju procesa dubokog izvlačenja zahteva i korišćenje tzv. integralne i lokalne deformacione analize u kombinaciji sa pretходnim razmatranjima.

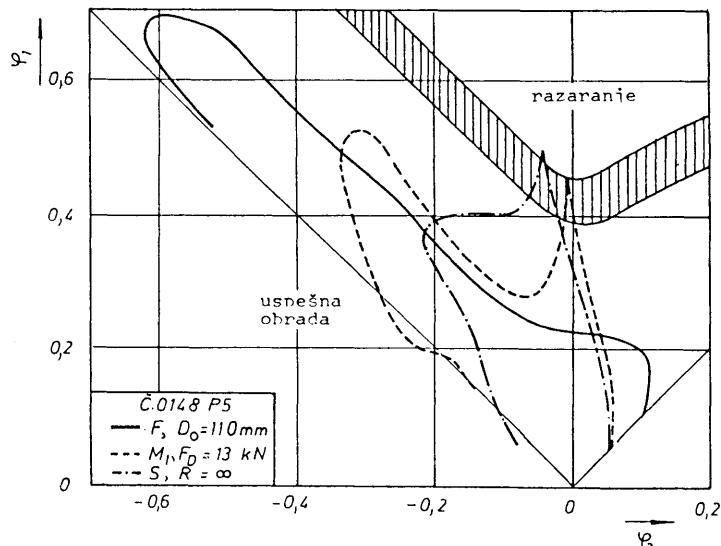
Koristeći jednu od geometrijskih metoda merenja u obradi metala deformisanim (merne mreže), moguće je odrediti deformaciona polja u određenim zonama komada koji se izvlači, i izvršiti odgovarajuće analize granične deformabilnosti.

Realizovana deformacija pri izvlačenju i njena distribucija, kao unutrašnji pokazatelji (za razliku od zavisnosti $h - F_D$), koja je po karakteru spoljašnja karakter-

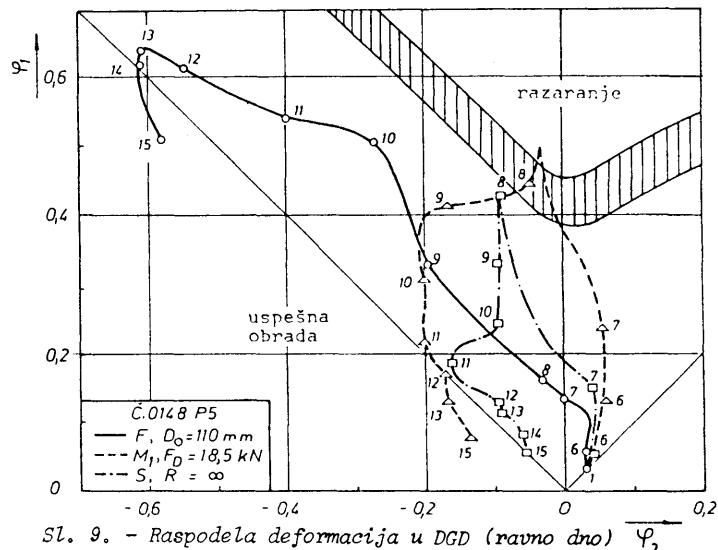
ristika), omogućavaju tumačenje uticaja glavnih činilaca u procesu obrade - u prvom redu triboloških uslova.

U eksperimentalnom radu su izvlačeni delovi sa ravnim ($R = \infty$) i polusfernim ($R = 25 \text{ mm}$) dnem, pri uslovima u kontaktu koji su već opisani. Deformacije su određene preko mernih mreža, sastavljenih iz krugova nominalnog prečnika 3 mm. Merenja su vršena u centralnom preseku komada, u pravcu koji se poklapa sa pravcem valjanja lina (pri ovome je ψ_1 - meridionalna, ψ_2 - tangencijalna deformacija), a distribucije su date u sistemu koji odgovara dijagramu granične deformabilnosti (DGD), [12].

Oznaka 1 na krivoj distribucije odnosi se na pol komada (sredina dna), a 15 na ivici oboda. Na sledećim slikama su pokazane raspodele u sistemu $\psi_1 - \psi_2$ za različite sile držača ($F_D = 13 \text{ kN}$, $F_D = 18,5 \text{ kN}$) i najveće otvarenje dubine; za slučajevе M_1 i S dolazi do razaranja, i to znatno ranije pri većem F_D .



Sl. 8. - Raspodela deformacija u DGD (ravno dno)



Sl. 9. - Raspodela deformacija u DGD (ravno dno)

Očigledan je uticaj sile držača pri stalnom stepenu izvlačenja. Porastom ove sile, raste trenje na obodu, sužavaju se petlje raspodele oko ose φ_2 , tj. razaranje se odigrava u uslovima ravanske deformacije. Povećanje sile držanja pri korišćenju folije polietilena praktično ne utiče na silu trenja na obodu (odsustvo kontakta metal/metal), te je i granični stepen izvlačenja znatno iznad vrednosti $\beta = 2,2$. Do sličnog tumačenja se može doći i na osnovu zavisnosti $h - F_D$, za slučaj (F), sl. 7.

ZAKLJUČAK

Od više uticajnih faktora na ponašanje lima u zoni držača pri dubokom izvlačenju, razmatrani su kao osnovni: pritisak držača i stanje kontaktnih površina, odnosno sila i koeficijent trenja kao kompleksni pokazatelji. Kod delova većih dimenzija, sile trenja na obodu dominiraju procesom oblikovanja.

Oblik područja uspešne obrade, prikazan kroz vezu dubina izvlačenja – sila držača, za određenu geometriju komada isključivo zavisi od razmatranih triboloških uslova pri izvlačenju. Ova zavisnost, zajedno sa podacima iz karte otpreska (materijal, kritične zone otpreska, distribucije deformacija u dijagramu granične deformabilnosti) omogućava pouzdano praćenje procesa izvlačenja i preduzimanje odgovarajućih mera pri narušavanju njegove stabilnosti.

Granični stepen izvlačenja i veza " $h-F_D$ " se uslovno mogu prihvatiti kao "spoljašnji" pokazatelji procesa obrade, dok je raspodela deformacija, kao baza lokalne ili integralne deformacione analize "unutrašnji", znatno kvalitetniji parametar. Kombinacijom elementarnih i složenih prikaza raspodele deformacija moguće je na pouzdan način izvršiti analizu uticaja tribuo-uslova u procesu oblikovanja izvlačenjem.

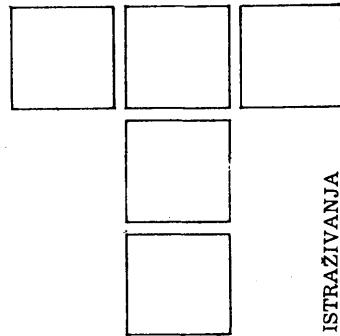
LITERATURA

- |1| B. FOGG, The Relationship Between the Blank and Product Surface Finish and Lubrication in Deep –

Drawing and Stretching Operations, Sheet Met. Ind. 2/1967, 98-112.

- |2| D. H. LLOYD, Lubrication for Press Forming, P.I-V, Sheet Met. Ind., No 3, 4, 5, 6, 7/1966.
- |3| S.Z. JNDIĆ, Vlijanje šerohovatosti poverhnosti puansonov na ustojčivost procesa vitjažki deta- lej, Kuznj Štamp. proizv., No 10, 1972, 12-14.
- |4| P. WITTHÜSER, Untersuchung von Prüfverfahren zur Beurteilung der Reibungsverhältnisse beim Tiefziehen, Dissert., Hannover, 1980.
- |5| P. CHAKARBARTY, P.B. MELLOR, Instability modes in Deep Drawing, Proc. 17th Int. Mash. Tool Des. and Res. Conf. Birmingham, 1976, 579-586.
- |6| E.A. POPOV, Osnovi teorij listovoj štamponki, "Mašinostrojene", Moskva, 1977.
- |7| E. DOEGE, H. FETZER, R. KELLENBENZ, E. BERGMANN, Tiefeziehen auf einfach-und doppeltwirkenden Karosseriepressen unter Berücksichtigung des Gelenkantriebs, Werk. und Betr., 104/1971/10, 734-804.
- |8| M. STEFANOVIĆ, Prilog istraživanju uticaja kontaktog trenja pri dubokom izvlačenju tankih limova, dokt. disert., Mašinski fakultet u Kragujevcu, 1985.
- |9| B. DEVEDŽIĆ, M. STEFANOVIĆ, Sila i stepen izvlače- nja kao parametri uticaja trenja pri dubokom izvlačenju, Obrada deformisanjem u mašinstvu, Novi Sad, No 7, 1, 1981, 4-18.
- |10| F. SCHNEIDER, New Manufacturing Techniques in Deep-Drawing on Tri-axis Transfer Presses Shpt Met. Industr. No 2/1988, 76-80.
- |11| A. S. KARHOREN, Drawing Force in Deep Drawing of Dylindrical Cup with Flat-nosed Punch, Trans. ASME I. Eng. Ind. 1982, 104, No 1, 29-37.
- |12| M. STEFANOVIĆ, Konstitutivni dijagrami – specifičan prikaz distribucije deformacija pri dubokom izvlačenju, Obrada metala deformisanjem u mašinstvu, Novi Sad, No 2, 1986, 65-97.

V. V. NEVZOROV, A. I. SVIRIDENOK



ISTRAŽIVANJA

Metodologija ispitivanja dinamike habanja kontaktnih parova tipa metal-polimer

(S ruskog preveo: dr Miodrag Lazic)

I. UVOD

Poboljšanje eksploatacijskih karakteristika (opterećenja, brzine i drugih parametara režima rada) i pouzdanosti rada mašina i pribora postiže se, u savremenoj tribotehnici, širokom primenom kompozitnih polimernih materijala. Međutim, pojačanu tendenciju primene kompozita prati, u nizu slučajeva, i mnoštvo nedostataka. Osnovni nedostatak se ogleda u nepostojanju dovoljno pouzdanih informacija o tribološkim karakteristikama kompozita a pre svega o njegovom ponašanju u uslovima frikcionog kontakta [8, 9].

Razvoj i primena kompjuterskih baza podataka obezbeđuje izbor optimalne vrste materijala elemenata kontaktnih parova [11]. Istovremeno treba naglasiti i činjenicu da formiranje i razvoj baze podataka zahteva i obezbeđenje dovoljno tačnih i pouzdanih podataka odnosno rezultata ispitivanja. To se posebno odnosi na rezultate dobijene standardnim metodama ispitivanja [9, 10].

Razrada i razvoj standardnih metoda ispitivanja, u savremenim uslovima, ostvaruje se prema pravilima i propisima sadržanim u ISO-standardu [10]. Jedan od aktuelnih zadataka, pri razradi metodologije ispitivanja, je i poznavanje dinamike habanja kontaktnih parova tipa metal - polimer [4, 9, 10].

2. METODE MERENJA PARAMETARA HABANJA

Medju jednostavnim i dostupnim postupcima merenja parametara habanja (linearnog habanja) su postupci zasnovani na praćenju linearnog pomeranja ispitivanog uzorka [4]. To su postupci koji najviše odgovaraju zahtevima koji se postavljaju pri ispitivanju dinamike habanja u uslovima opterećenja sa isprekidnim ciklusom [4]. Primena ovih metoda, u laboratorijskim uslovima, obezbeđuje, kontinualno identifikovanje parametara habanja, jer nije potrebna demontaža kontaktnih parova nakon ispitivanja.

Kontinualno praćenje parametara habanja sa vremenom, u toku ispitivanja, obezbedjeno je praćenjem pomeranja površine trenja u odnosu na nepokretnu baznu površinu. Pomeranje je rezultat habanja kontaktne površine, a najčešće se registruje preko mehaničkih indikatora (osetljivosti do $1 \mu\text{m}$) i induktivnih davača (osetljivosti do $0,1 \mu\text{m}$). Novi, perspektivniji, induktivni davači obezbeđuju i mogućnost automatizacije ispitivanja procesa habanja kontaktnih parova.

Greška merenja poznatih tribometara, sa induktivnim davačima, po pravilu se kreće u granicama $2\text{--}5 \mu\text{m}$. To znači da, konstruktivnim rešenjima tribometara nisu realizovane sve tehničke mogućnosti induktivnih davača. Osnovni razlog nedovoljne tačnosti merenja parametara habanja se ogleda u nedovoljnem kompenzovanju uticaja drugih relevantnih parametara i pojava. Tako, na primer, u kontaktu cilindar-segment na rezultate merenja parametara habanja značajan uticaj ima radikalno bacanje i veličina toplotnih dilatacija nastalih usled frikcionog zagrevanja.

Eliminisanje uticaja veličine radikalnog bacanja na rezultate merenja parametara habanja, postiže se specijalnim postupcima obrade električnog signala (analognim filterima i integratorima [7]) ili diskretnim fiksiranjem parametra habanja za zadati ugao zakretanja ispitivanog cilindra [1]. Takvi merni sistemi (merni lanci) su veoma složeni i ne obezbeđuju kompenzaciju greške koja nastaje kao rezultat toplotnih deformacija cilindra i segmenta.

Najbolji efekat, u pogledu tačnosti i pouzdanosti rezultata merenja parametara habanja, postiže se razradom i primenom kompleksnih mernih sistema. To su sistemi koji obezbeđuju prigušivanje radikalnog bacanja i kompenzaciju toplotnih deformacija elemenata kontaktne povezivke.

Uredaji bez prigušenja radijalnog bacanja

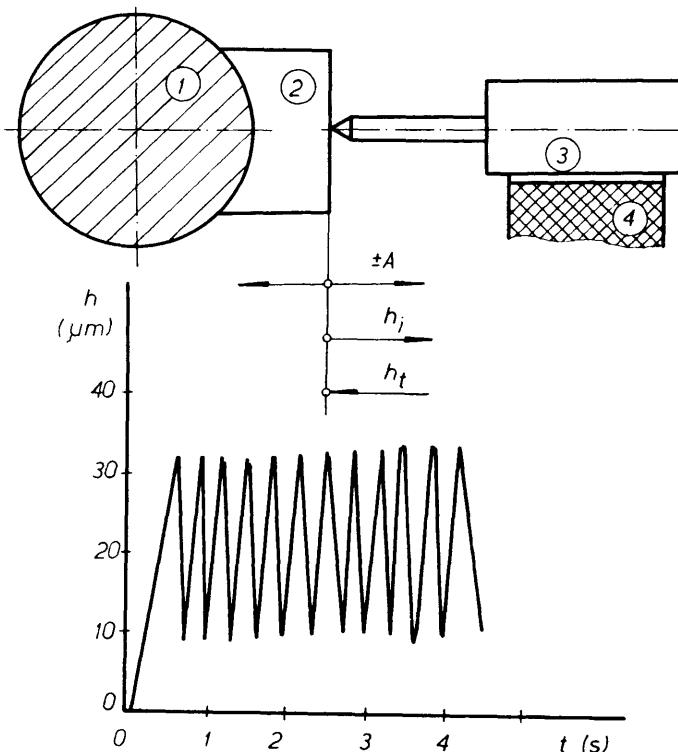
U laboratorijskim uslovima ispitivanja najčešće se koriste merni sistemi šematski prikazani na sl. 1 [12]. Kod ovih sistema, sa kontinualnim praćenjem promene parametra habanja, induktivni davač (3) omogućuje merenje vrednosti tri karakteristična parametra i to:

- $\pm A$ - amplitudu radijalnog bacanja, kao periodično promenljive vrednosti,

- h_t - vrednosti topotne dilatacije i

- h_i - parametra habanja segmenta (uzorka polimera)

Amplituda radijalnog bacanja definiše širinu linije zapisane indikatorskim priborom, a smer promene parametra habanja (h_i) i vrednosti topotne dilatacije (h_t) je suprotan.



Sl. 1. - Šema uređaja za merenje parametara habanja bez prigušenja radijalnog bacanja

1-cilindar; 2-segment od polimera; 3-induktivni davač; 4-kucište uređaja

U prelaznom periodu habanja (u toku zagrevanja kontaktognog para) merni sistem fiksira vrednost

$$h_o = \pm A + h_t - h_i$$

a nakon prelaznog perioda habanja veličinu:

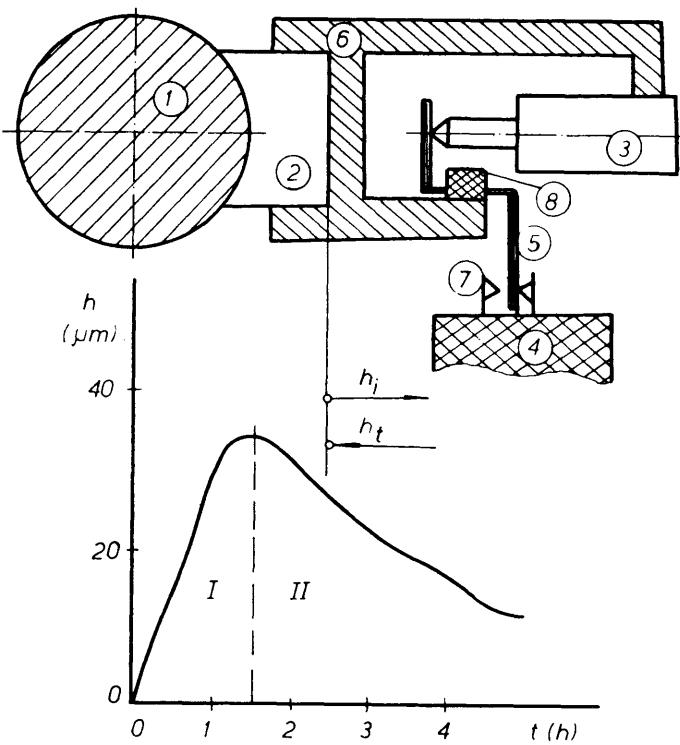
$$h_o = \pm A - h_i$$

Očigledno je da, u ustaljenom režimu rada, greška mere-

nja parametara habanja zavisi od amplitude radijalnog bacanja.

Uredaji sa prigušenjem radijalnog bacanja

U radu 5 predložen je efikasan postupak i uređaj za merenje parametara habanja. Merni sistem, čija je principijelna šema data na sl. 2, isključuje uticaj veličine radijalnog bacanja na rezultate merenja. Za razliku od prethodnog uređaja (sl. 1), kod ovog mernog glava induktivnog davača nije u direktnom kontaktu sa segmentom (uzorkom polimera 2). Merenje parametara habanja h_i ostvaruje se identifikovanjem položaja akumulatora (5) u odnosu na nosač segmenta (6). Akumulator (5) nakon dodira sa levim osloncem (7) (baza očitavanja) na



Sl. 2. - Šema uređaja za merenje parametara habanja sa prigušenjem radijalnog bacanja

1-cilindar; 2-segment od polimera; 3-induktivni davač; 4-kucište uređaja; 5-akumulator; 6-nosač segmenta; 7-oslonci kucišta; 8-prigušivač

kućištu uređaja, može se relativno pomerati u odnosu na nosač segmenta (6) i induktivni davač (3). Potrebna sila pomeranja reguliše se prigušivačem (oprugom - amortizerom 8). Sila pomeranja je 2-3 puta veća od merne sile induktivnog davača. Ovakav odnos sile pomeranja i merne sile davača obezbeđuje priljubljivanje i odvajanje akumulatora (5) od levog oslonca, njegovo samokočenje i

blokiranje uticaja amplitude radijalnog bacanja na rezultat merenja.

Nulti (bazni) nivo očitavanja uređaja reguliše se automatski nakon uključivanja pogonskog sistema i priljubljinjanja akumulatora (5) uz levi oslonac (7). U procesu habanja segmenta (2), pod dejstvom oslonca (7), dolazi do pomeranja udesno akumulatora (5), zajedno sa mernom glavom induktivnog davača (3). Time su stvoreni uslovi za očitavanje parametra habanja (h_i) na indikatoru.

Za razliku od prethodnog (sl. 1) razmatrani merni sistem fiksira, u prelaznom periodu habanja, vrednost:

$$h_o = h_t - h_i,$$

a u ustaljenom vrednost:

$$h_o = -h_i,$$

kao što je to uočljivo i sa eksperimentalne krive prikazane na sl. 2. Oblasti I i II krive odgovaraju prelaznom i ustaljenom periodu habanja, respektivno. Prvih 1-2 časa rada, nakon početka eksperimenta, vrednost parametra habanja je opterećena greškom izazvanom toplotnom dilatacijom elemenata kontaktnih parova.

Kompensacija toplotnih dilatacija cilindra i segmenta, kao elementarna etapa kompenzacije, može se ostvariti postupcima:

a - kompenzacije pri termički stabilnom cilindru [5] i

b - kompenzacije pri termički stabilnom segmentu [2],

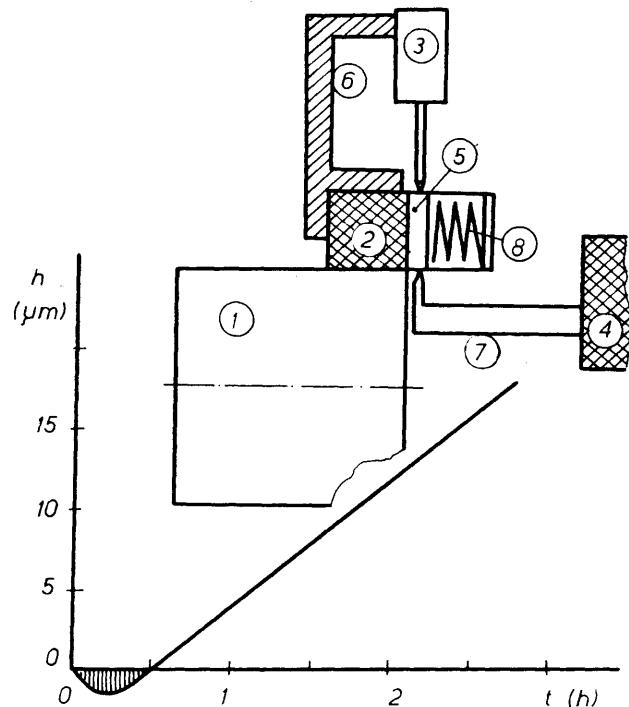
uz primenu odgovarajućih metoda i mernih sistema.

Uredaji sa kompenzacijom toplotnih deformacija segmenta

Kompenzacija toplotnih dilatacija segmenta (2 - sl. 3), pri termički stabilnom cilindru (1) može se postići izradom akumulatora (5) od istog materijala (materijala segmenta) i njegovim priljubljinjanjem uz bočnu površinu segmenta. Akumulator i segment međusobno pritežu oprugu formirajući, na taj način prigušivač-amortizer (8). Tako postavljen akumulator obezbeđuje realizaciju dva osnovna zadatka:

- prigušenje radijalnog bacanja i
- kompenzaciju toplotnog širenja segmenta.

Šrafirana oblast na eksperimentalnoj krivoj (sl. 3) predstavlja zapis toplotnih dilatacija nastalih usled neravnomernog zagrevanja amortizera i segmenta u početnom periodu rada uređaja.



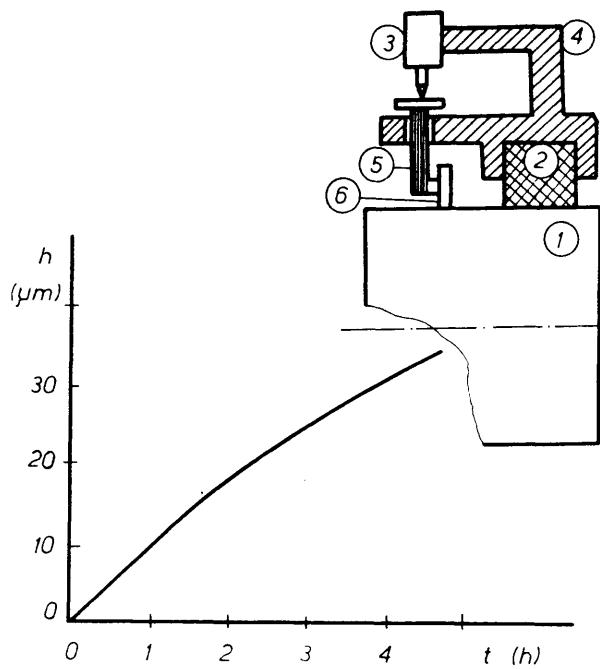
Sl. 3. - Šema uređaja za merenje parametara habanja sa kompenzacijom toplotnih dilatacija segmenta
1-cilindar; 2-segment od polimera; 3-indikativni davač; 4-kućište uređaja; 5-akumulator; 6-nosač segmenta; 7-oslonac; 8-prigušivač

Uredaji sa kompenzacijom toplotnih deformacija cilindra

Kod uređaja sa kompenzacijom toplotnih deformacija cilindra (sl. 4), pri termički stabilnom segmentu (2), kompenzacija se postiže ugradnjom vodjice (5) sa kugličnim ležištem (6) (sl. 4-2). Vodjica i kuglično ležište obezbeđuju:

- prigušenje radijalnog bacanja,
- kompenzaciju toplotnih dilatacija cilindra i
- formiranje bazne (nulte) površine induktivnog davača (3).

Vodjica i ležište, zajedno, predstavljaju kopirni sistem koji se sinhrono kreće sa nosačem segmenta (6). Kretanje se odvija u vertikalnoj ravni i posledica je radijalnog bacanja i toplotne dilatacije cilindra. Tim kretanjem izvodi se prigušenje radijalnog bacanja i toplotna kompenzacija. Pri habanju segmenta, nosač segmenta se spušta na dole čime su stvoreni uslovi za registrovanje pomeranja nosača odnosno parametra habanja, preko induktivnog davača.



Sl. 4. - Šema uređaja za merenje parametara habanja sa kompenzacijom topotnih dilatacija cilindra
1-cilindar; 2-segment od polimera; 3-induktivni davač; 4-nosač segmenta; 5-vodjica; 6-kuglično ležište

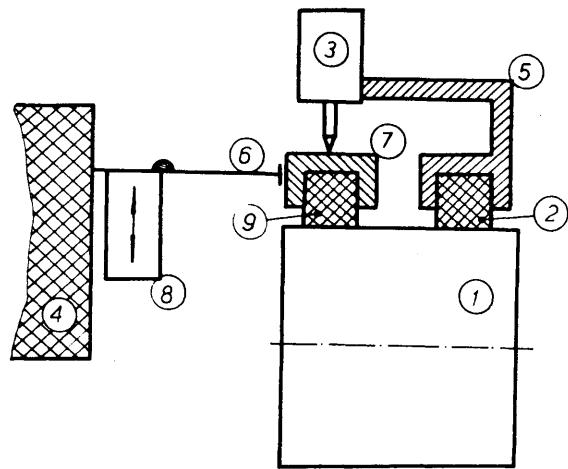
Uredaji sa potpunom kompenzacijom topotnog širenja

Analizom rešenja uređaja prikazanog na sl. 4, formirana je i predložena druga varijanta uređaja za merenje parametara habanja (sl. 5 [3,6]). Zamena kugličnog ležišta imitatorom segmenta (9), obezbeđuje sniženje kontaktnih pritisaka na ispitivanom cilindru. Povećanje složenosti konstruktivnog rešenja uređaja, nastalo postavljanjem imitatora na elastični protiv-teg (6) (sila pritezanja do 2N) i potreban izrade imitatora od istog materijala kao i segment, kompenzuje se širokom oblašću promene funkcionalnih karakteristika imitatora. Imitator obezbeđuje:

- eliminisanje uticaja radijalnog bacanja na tačnost merenja parametara habanja h_i ,
- blokiranje dejstva topotnih dilatacija cilindra i segmenta na induktivni davač i
- baznu površinu merenja kod kratkotrajnih ispitivanja.

3. REZULTATI I ANALIZA REZULTATA ISPITIVANJA

Rezultati kontinualnog praćenja procesa habanja segmenta izradjenog od polimera, u laboratorijskim uslovima



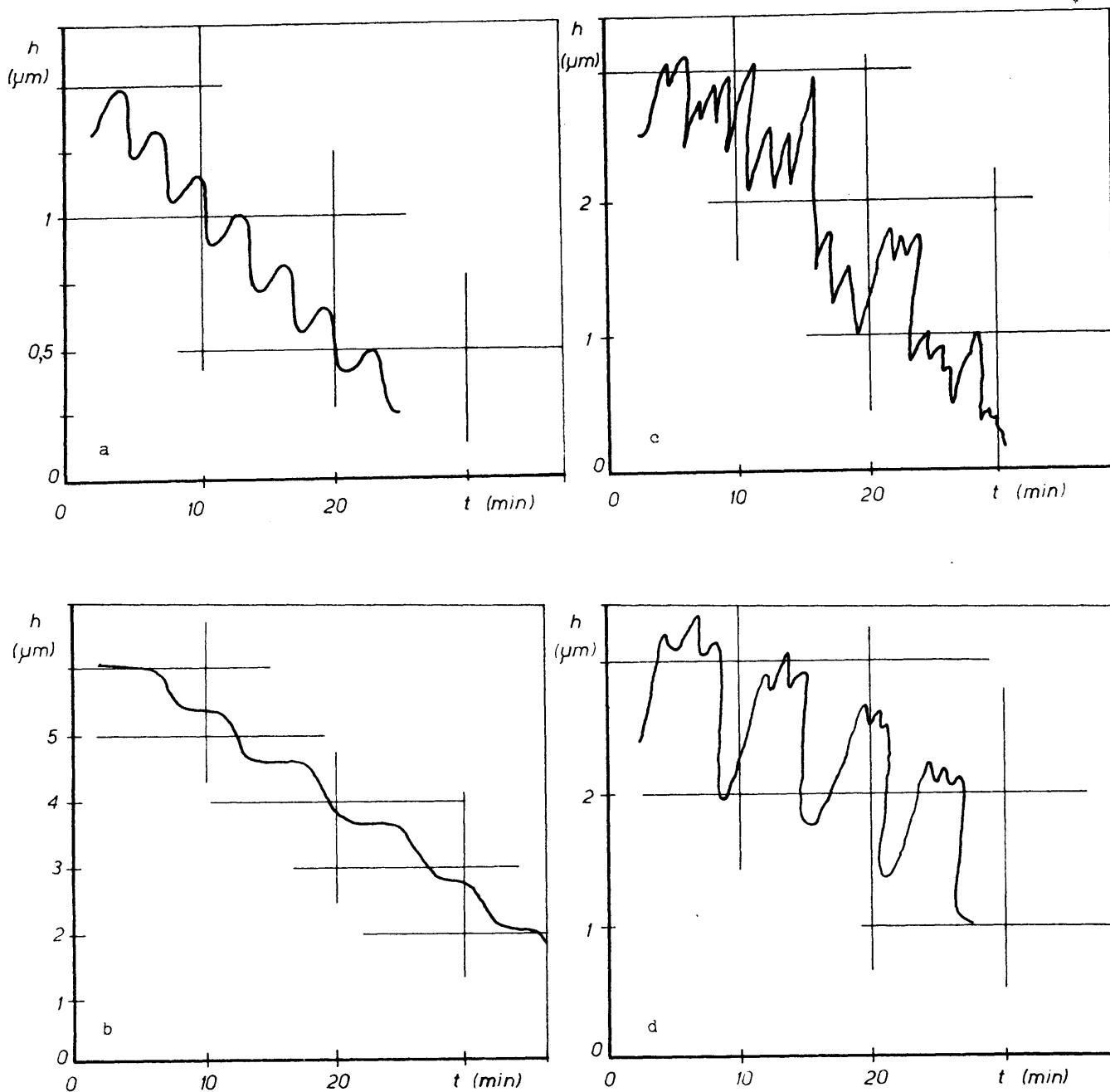
Sl. 5. - Šema uređaja za merenje parametara habanja sa potpunom kompenzacijom topotognog širenja

1-cilindar; 2-segment od polimera; 3-induktivni davač; 4-kućište uređaja; 5-nosač segmenta; 6-elastični protiv teg; 7-nosač imitatora segmenta; 8-mekhanizam pomeranja; 9-imitator segmenta

ma pri osetljivosti induktivnog davača do $0,1 \mu\text{m}$, su pokazali da krive linearne habanja segmenta, sa vremenom, nisu kontinualne - glatke (sl. 6). Na njima se uočava periodično oscilovanje vrednosti parametra habanja u granicama $0,5 - 1 \mu\text{m}$. Ovo oscilovanje parametra habanja uslovljeno je elementarnim razaranjima i topotnim deformacijama u potpovršinskom sloju segmenta.

U uslovima ustaljenog habanja razdvajanje vrednosti parametra habanja i linearne širenja potpovršinskih slojeva ostvaruje se pomoću uređaja sa dva oslonca (7 - sl. 2). Pomeranje akumulatora (5), u granicama radijalnog bacanja cilindra, ograničeno je rastojanjem oslonaca (7). Time je obezbeđena visoka tačnost reakcije akumulatora kako na proces razaranja (habanja) tako i na proces širenja potpovršinskih slojeva segmenta, nastalog transformacijom mehaničke energije (energije trenja) u topotnu.

Tip oscilovanja vrednosti parametara habanja, identifikovan na krivim habanja (sl. 6), zavisi od vrste polimera i režima opterećenja. Karakter krivih habanja može biti stepenast, periodičan, složeno-periodičan i slučajan. Stepenasti karakter promene parametra habanja je uslovljen u značajnoj meri, termodinamičkim stanjem površinskog sloja i stepenom deformatijskog sloja pri trenju. Frikciono zagrevanje, izmena mehaničkih osobina tankog površinskog trenja dovode do stepenastog karaktera promene parametra habanja. To znači da je stepenasti karakter promene habanja rezultat smicanja materijala površinskog sloja u vidu prevlake ili u vidu rastopljenog sloja. Veličina stepenice, na krivoj habanja, povećava se sa porastom opterećenja elemenata kontaktnog para. Pe-



Sl. 6. - Karakter krivih linearog habanja segmenta od polimera

riodični, složeno-periodični i slučajni karakter promene parametra habanja, na krivim habanja, uočava se kod ispitivanja segmenata izradjenih od poli-amida, poli-olefina, poli-acetilena i kompozita na bazi polimera. Naročito uočljivo oscilovanje parametra habanja uočava se pri trenju sistema "polimer-preneta prevlaka polimera", na površinama znatno većim od površine kontakta jedinačne neravnine površine metala. U kontaktu "polimer-preneta prevlaka" generiše se topotna energija. Količina

generisane toplotne energije se povećava do momenta rastapanja tankog površinskog sloja. U tom momentu nastaje trenje klizanja po rastopljenom metalu, smanjuje se količina generisane toplotne, započinje hladjenje kontakta i skraćuju dimenzije oblasti friкционog zagrevanja. Nakon toga proces se ponavlja.

Uporedjene dva procesa, širenja i sabijanja površinskih slojeva, obezbeđuje ocenu parametra habanja, debljine toplotno opterećenog sloja i utvrđivanje identičnosti mehanizama habanja ispitivanih uzoraka.

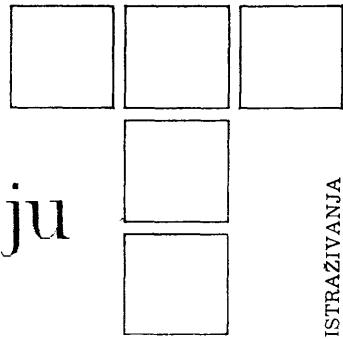
4. ZAKLJUČAK

Laboratorijska ispitivanja, izvedena prikazanom metodologijom i uredjajima za kontinualno praćenje parametara habanja, su pokazala da se data metodologija i uredjaji mogu preporučiti za korišćenje kod standardnih metoda tribotehničkih ispitivanja habanja polimera. Njihova primena obezbeđuje suštinsko povećanje tačnosti merenja parametara habanja i skraćenje vremena potrebnog za izvođenje eksperimenta.

5. LITERATURA

- |1| АВТОРСКОЕ СВИДЕТЕЛЬСТВО СССР № 1155909, МКИ⁴GOI 3/56
Цстройство для измерения износа материалов.
- |2| АВТОРСКОЕ СВИДЕТЕЛЬСТВО СССР № 1323915, МКИ⁴GOI 3/56
Цстройство для испытания образцов полимерных материалов на износ.
- |3| АВТОРСКОЕ СВИДЕТЕЛЬСТВО СССР № 1305569, МКИ⁴GOI 3/56
Цстройство для испытания материалов на износ.
- |4| БОРИСОВ М.В., ПАВЛОВ И.А., ПОСТНИКОВ В.И., Ускоренные испытания машин на износостойкость как основа повышения их качества, -М. изд. Стандартов, 1976, 351с.
- |5| КИРПИЧЕТКО Ю.Е., НЕВЗОРОВ В.В., КОТОВ В.Л., ПИНЧУК Л.А., Устройство для прецизионного измерения износа полимерных материалов, Трение и износ, т.8, № 5, 921-923.
- |6| Mc KINNEY, Apparatur for measuring wear of dental restorative materials, Wear. 1982, 76, N3, p.337-347.
- |7| МИРОНОВ Е.А., БАЗДЕРКИН В.А., СТАДНИЧЕНКО Н.Г., Проблемы трения и изнашивания, Киев, 1982, вып.22, 49-52.
- |8| СВИРИДЕНOK, А.И., КИРПИЧЕНКО Ю. Е., Polimer Wear and Its Control, ACS Symposium series No 287, p.333-343.
- |9| СВИРИДЕНOK А.И., НЕВЗОРОВ В.В., Триботехнические испытания и формирование ванка данных по антифрикционным композитам, Интертрибо-87, т.1, с.87-93.
- |10| СТАНДАРТ ISO/DP № 8285, июль 1985, ISO/TR № 7147, декабрь 1985.
- |11| ТАЛЬЯН Т.Е., Компьютеризированные базы данных для трибологического проектирования.
- |12| ЯСВ Д.С., ПОДМОКОВ В.Б., ДЯДЕНКО И.С., Испытание на трение и износ, Киев, Техника, 1971, 137с.

B. TADIĆ, Z. YI-GANG



Otpori rezanja pri struganju alatima sa i bez prevlake od titan nitrida

UVOD

Pored troškova alata i troškova živog rada, troškovi energije predstavljaju značajan deo vrednosti kojom se opterećuje proizvodna operacija.

Obzirci na sadašnje pravce razvoja i primene alatnih materijala, razmatranje energetskih bilansa alata dobija sve veći značaj.

Savremene tehnologije prevlačenja alata TiN-TiC, Al103 i dr. dovele su do značajnog povećanja postojanosti istih i time im omogućile širok prodor u metalopregradjivačkoj industriji.

Sa druge strane uticaj alatnog materijala na troškove energije vrlo je malo poznat i ne uzima se u razmatranje pri izboru alata.

Ovim radom upravo želimo prikazati rezultate naših ispitivanja vezane za uticaj alatnog materijala na potrošnju energije.

U tom cilju planiran je eksperiment za paralelno praćenje veličine komponentnih otpora rezanja pri radu alatom sa i bez prevlake od TiN, čime bi se na indirektn način došlo do pokazatelja o potrošnji energije. Namne, ideja je da se obradom rezultata merenja preko jednačina regresije dodje do integralnih pokazatelja uticaja alatnog materijala na veličinu otpora rezanja.

PROGRAM I USLOVI ISPITIVANJA

Program ispitivanja obuhvata obradu struganjem jednog ugljeničnog i jednog legiranog čelika alatima sa i bez prevlake od TiN.

U cilju pokrivanja što šire oblasti mogućih režima obrade programom je predvidjeno:

- variranje tri dubine rezanja: $\delta=0,5$, $\delta=1$ i $\delta=1,5$ mm
- variranje tri koraka: $s = 0,1$; $s = 0,2$ i $s=0,315$ mm/o
- variranje pet brzina u intervalu $80 < v < 250$ m/min

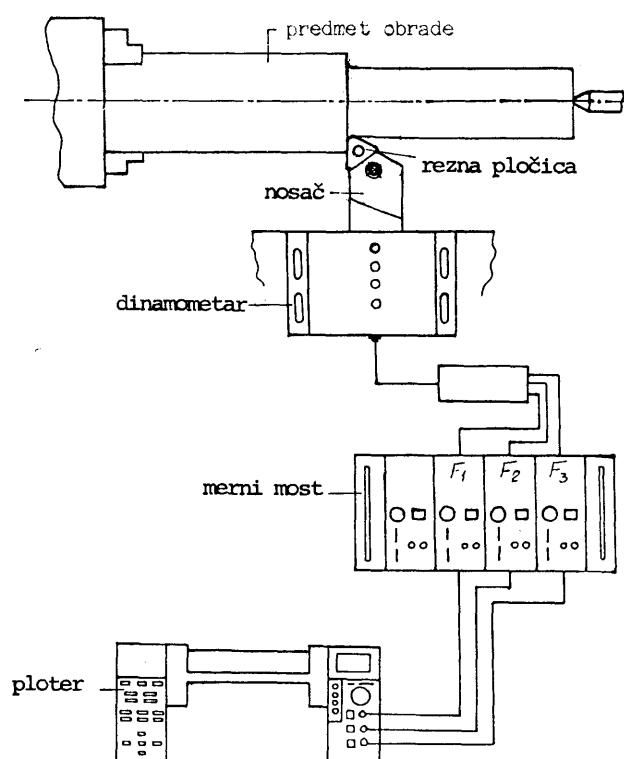
Od ugljeničnih čelika izabran je Č.1221 u obliku šipke dimenzija pre početka obrade $\phi 54,5 \times 5000$ u hladno vučenom stanju, zatezne čvrstoće $\sigma_m = 70$ (daN/mm²) i tvrdoće 200 HB. Kao legirani čelik izabran je Č.5420 u obliku šipke dimenzija pre početka obrade $\phi 79 \times 5000$ žaren na tvrdoću 167 HB sa zateznom čvrstoćom $\sigma_m = 57$ (daN/mm²).

Nosač alata: PTGNR 2525M16

Alat bez prevlake: TNMA160412 - PGP315 (izrada PP-CORUN po licenti SANDVIK-COROMANT).

Alat sa prevlakom od TiN - TNMA160412-P-K15 (izrada SANDVIK COROMANT).

Mašina: univerzalni strug snage 15 KW.



Slika - 1

Merna instrumentacija:

- trokomponentni dinamometar - KYS LLER
- četvororokanalni most pojačivač
- trokanalni ploter HEWLET PACKARD.

Na sl. 1. dat je šematski prikaz mernog lanca.

Merjenje otpora vršeno je na istom prečniku i odstojanju od uklještenja za oba alata.

PRIMERI ORIGINALNIH ZAPISA NA INSTRUMENTACIJI

Na sl. 2 i 3 dat je prikaz zapisa vezan za otpore rezanja pri struganju Č.1221 alatima sa i bez prevlakod TiN, dok je na sl. 4 i 5. dat prikaz zapisa vezanih za otpore rezanja pri struganju Č.5420 alatima sa i bez prevlakod TiN.

S obzirom da se zapisi neznatno razlikuju za slučaj obrade Č.5420 u buduće će se smatrati da kod ovog čelika nema razlika u veličini otpora pri radu sa datim alatima.

TABELE SA ULAZNIM PODACIMA U PROGRAM OBRADE

U tabelama br. 1 i 2 prikazane su za slučaj obrade Č.1221 izmerene vrednosti otpora $F_i(\delta, s, v)$, $i=1, 2, 3$ koje su dobijene množenjem veličine originalnih zapisa sa razmerama baždarenja.

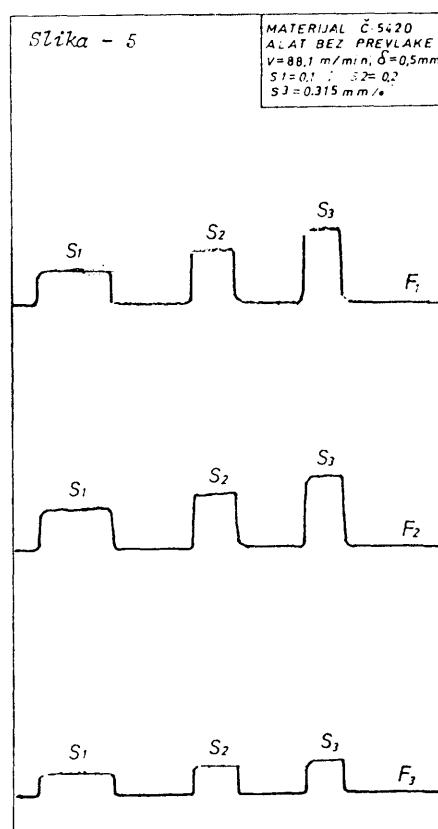
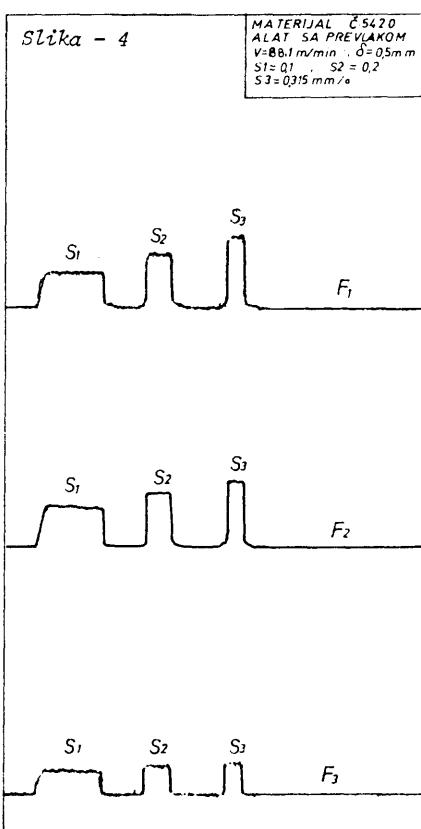
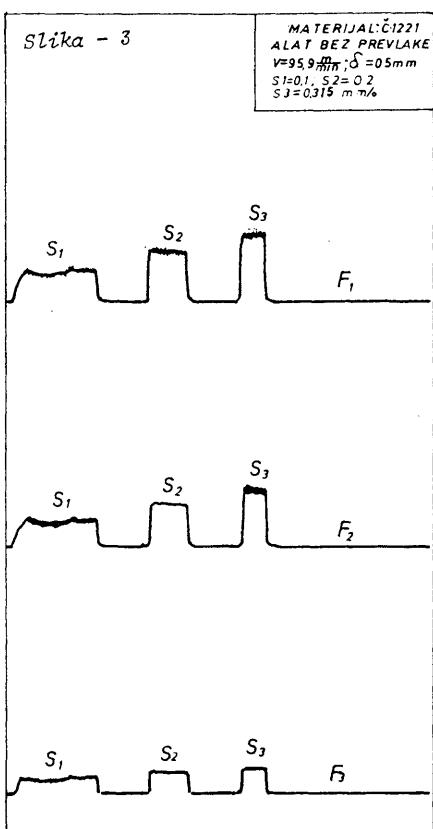
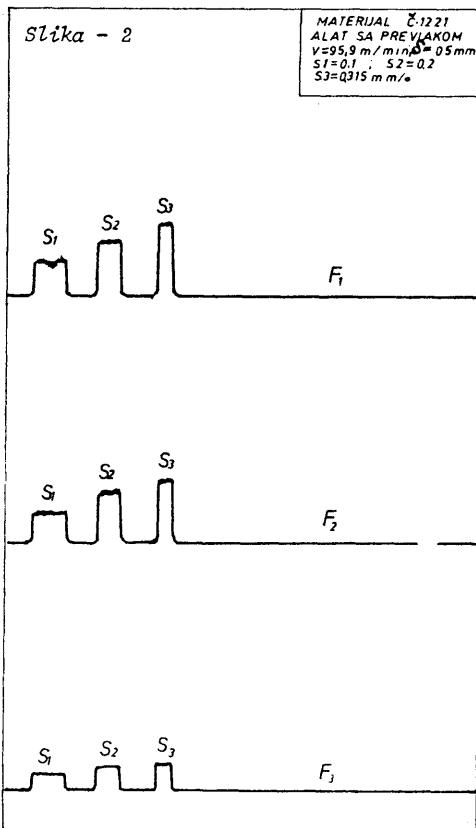


Tabela - 1

OBRADA STRUGANJEM Č.1221 ALATOM SA PREVLAKOM

| δ (mm) | V (m/min) | S (mm/o) | F ₁ (N) | F ₂ (N) | F ₃ (N) |
|---------------|-----------|----------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 0.5 | 95.5 | 0.1 | 131.4 | 120 | 64.5 |
| | | 0.2 | 240.9 | 216.6 | 107.5 |
| | | 0.315 | 328.5 | 269.1 | 129.0 |
| | | 0.1 | 142.4 | 117.0 | 64.5 |
| | 121.6 | 0.2 | 240.9 | 210.6 | 107.5 |
| | | 0.315 | 328.5 | 269.1 | 129.0 |
| | | 0.1 | 131.4 | 117.0 | 64.5 |
| | | 0.2 | 236.5 | 187.2 | 107.5 |
| | 154.1 | 0.315 | 317.6 | 257.4 | 129.0 |
| | | 0.1 | 131.4 | 110.0 | 60.5 |
| | | 0.2 | 236.5 | 187.2 | 100.5 |
| | | 0.315 | 306.6 | 257.4 | 129.0 |
| | 191.8 | 0.1 | 131.4 | 110.0 | 60.5 |
| | | 0.2 | 236.5 | 187.2 | 100.5 |
| | | 0.315 | 306.6 | 257.4 | 129.0 |
| | | 0.1 | 131.4 | 110.0 | 60.5 |
| | 239.7 | 0.2 | 236.5 | 187.2 | 100.5 |
| | | 0.315 | 306.6 | 234.0 | 118.3 |

Tabela - 2

OBRADA STRUGANJEM Č.1221 ALATOM BEZ PREVLAKE

| δ (mm) | V(m/min) | S (mm/o) | F ₁ (N) | F ₂ (N) | F ₃ (N) |
|---------------|----------|----------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 0.5 | 95.9 | 0.1 | 129.6 | 115.0 | 64.5 |
| | | 0.2 | 226.8 | 210.1 | 96.8 |
| | | 0.315 | 302.4 | 265.1 | 118.3 |
| | | 0.1 | 129.6 | 120.5 | 64.5 |
| | 121.6 | 0.2 | 216.0 | 180.8 | 96.8 |
| | | 0.315 | 291.6 | 253.4 | 118.3 |
| | | 0.1 | 118.8 | 108.4 | 53.8 |
| | | 0.2 | 205.2 | 180.8 | 96.8 |
| | 154.1 | 0.315 | 280.8 | 228.9 | 118.3 |
| | | 0.1 | 118.8 | 108.4 | 64.5 |
| | | 0.2 | 205.2 | 168.4 | 96.8 |
| | | 0.315 | 280.8 | 228.9 | 107.5 |
| | 191.8 | 0.1 | 118.8 | 108.4 | 64.5 |
| | | 0.2 | 205.2 | 168.7 | 86.0 |
| | | 0.315 | 270.0 | 216.9 | 108.0 |
| | | 0.1 | 237.6 | 168.7 | 161.3 |

| δ (mm) | V (m/min) | S (mm/o) | F ₁ (N) | F ₂ (N) | F ₃ (N) |
|---------------|-----------|----------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | 93.9 | 0.1 | 240.9 | 175.5 | 172.0 |
| | | 0.2 | 438.0 | 280.8 | 258.0 |
| | | 0.315 | 580.4 | 374.4 | 301.1 |
| | | 0.1 | 240.9 | 175.5 | 172.0 |
| | 119.1 | 0.2 | 416.1 | 280.8 | 236.5 |
| | | 0.315 | 569.4 | 374.4 | 301.0 |
| | | 0.1 | 262.8 | 175.5 | 172.0 |
| | | 0.2 | 416.1 | 280.8 | 236.5 |
| | 151.0 | 0.315 | 547.5 | 351.0 | 279.5 |
| | | 0.1 | 240.9 | 170.5 | 161.3 |
| | | 0.2 | 394.2 | 280.8 | 215.0 |
| | | 0.315 | 525.6 | 315.9 | 258.0 |
| | 187.9 | 0.1 | 240.9 | 170.5 | 172.0 |
| | | 0.2 | 394.2 | 269.1 | 215.0 |
| | | 0.315 | 525.6 | 315.9 | 236.5 |
| | | 0.1 | 240.9 | 170.5 | 172.0 |

| δ (mm) | V(m/min) | S (mm/o) | F ₁ (N) | F ₂ (N) | F ₃ (N) |
|---------------|----------|----------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | 93.9 | 0.2 | 110.4 | 277.2 | 247.3 |
| | | 0.315 | 561.6 | 385.6 | 301.0 |
| | | 0.1 | 337.6 | 168.7 | 161.3 |
| | | 0.2 | 399.6 | 265.1 | 225.8 |
| | 119.1 | 0.315 | 537.6 | 373.6 | 290.3 |
| | | 0.1 | 237.6 | 156.7 | 150.3 |
| | | 0.2 | 388.8 | 253.1 | 225.8 |
| | | 0.315 | 540.0 | 337.4 | 301.3 |
| | 151.0 | 0.1 | 237.6 | 156.7 | 150.5 |
| | | 0.2 | 388.8 | 241.0 | 204.3 |
| | | 0.315 | 518.4 | 301.3 | 247.3 |
| | | 0.1 | 226.8 | 156.7 | 150.5 |
| | 187.9 | 0.2 | 367.2 | 228.9 | 204.3 |
| | | 0.315 | 518.4 | 301.3 | 236.5 |
| | | 0.1 | 367.2 | 180.8 | 290.3 |
| | | 0.2 | 583.2 | 289.2 | 397.8 |

| δ (mm) | V (m/min) | S (mm/o) | F ₁ (N) | F ₂ (N) | F ₃ (N) |
|---------------|-----------|----------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 1.5 | 90.1 | 0.1 | 394.2 | 198.9 | 322.5 |
| | | 0.2 | 657.0 | 304.2 | 451.5 |
| | | 0.315 | 832.2 | 397.8 | 494.5 |
| | | 0.1 | 394.2 | 187.2 | 284.7 |
| | 114.2 | 0.2 | 613.2 | 304.2 | 430.0 |
| | | 0.315 | 821.3 | 374.4 | 451.5 |
| | | 0.1 | 372.3 | 187.2 | 284.7 |
| | | 0.2 | 591.3 | 292.5 | 416.1 |
| | 144.8 | 0.315 | 810.3 | 397.8 | 462.3 |
| | | 0.1 | 372.3 | 187.2 | 279.3 |
| | | 0.2 | 569.4 | 280.8 | 365.5 |
| | | 0.315 | 799.3 | 397.8 | 430.0 |
| | 180.2 | 0.1 | 350.3 | 187.2 | 279.5 |
| | | 0.2 | 547.5 | 257.4 | 365.5 |
| | | 0.315 | 766.5 | 351.0 | 408.5 |
| | | 0.1 | 324.0 | 540.0 | 241.0 |

| δ (mm) | V(m/min) | S (mm/o) | F ₁ (N) | F ₂ (N) | F ₃ (N) |
|---------------|----------|----------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 1.5 | 90.1 | 0.2 | 583.2 | 289.2 | 397.8 |
| | | 0.315 | 810.0 | 397.7 | 473.0 |
| | | 0.1 | 350.4 | 180.8 | 268.8 |
| | | 0.2 | 583.2 | 289.2 | 387.0 |
| | 114.2 | 0.315 | 799.2 | 397.7 | 451.5 |
| | | 0.1 | 345.6 | 168.7 | 268.8 |
| | | 0.2 | 561.6 | 289.2 | 365.5 |
| | | 0.315 | 777.6 | 361.5 | 440.8 |
| | 144.8 | 0.1 | 334.8 | 168.7 | 247.3 |
| | | 0.2 | 550.8 | 265.1 | 333.3 |
| | | 0.315 | 756.0 | 361.5 | 397.8 |
| | | 0.1 | 324.0 | 156.7 | 236.5 |
| | 180.2 | 0.2 | 540.0 | 241.0 | 311.8 |
| | | 0.315 | 756.0 | 361.5 | 376.3 |
| | | 0.1 | 324.0 | 156.7 | 236.5 |
| | | 0.2 | 540.0 | 241.0 | 311.8 |

OBRADA REZULTATA

Rezultati eksperimentalnih ispitivanja statistički su obradjeni posredstvom programa čiji je algoritam prikazan na sl. 6.

Primer originalnih izlaznih podataka iz programa obrade dat je za slučaj obrade rezultata merenja vezanih za otpor F_1 pri obradi č. 1221 alatom sa prevlakom od TiN.

FINAL SOLUTION

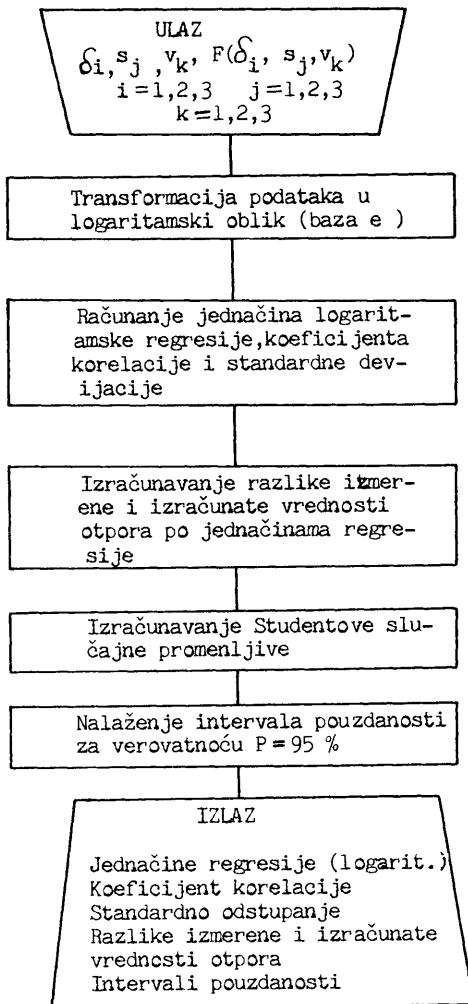
REDRESSION NUMBER 4

$F = 7.49852$
 $+ .8522645 \text{ DEL}$
 $+ .6954091 \text{ S}$
 $+ -7.159933E-02 V$

COEFFICIENT OF DETERMINATION = .9916118

STD DEVIATION OF ESTIMATE = 4.903642E-02

| ACTUAL | PREDICTED | DIFFERENCE | % DIFFERENCE | LOWER LIMIT | PREDICTED | UPPER LIMIT |
|----------|-----------|---------------|---------------|-------------|-----------|-------------|
| 4.878246 | 4.979806 | -.1015601 | -2.081898 | 4.873822 | 4.979806 | 5.08579 |
| 5.484382 | 5.461827 | .255488E-02 | .4112565 | 5.357568 | 5.461827 | 5.566087 |
| 5.794537 | 5.777772 | 1.681709E-02 | .2902233 | 5.672159 | 5.777772 | 5.883281 |
| 4.95864 | 4.962806 | -4.166126E-03 | -8.401751E-02 | 4.856465 | 4.962806 | 5.067148 |
| 5.484382 | 5.444827 | .0395546 | .7212225 | 5.342238 | 5.444827 | 5.547416 |
| 5.794537 | 5.760721 | 3.381682E-02 | .5835982 | 5.65681 | 5.760721 | 5.864631 |
| 4.878246 | 4.945847 | -6.760121E-02 | -1.385769 | 4.84204 | 4.945847 | 5.049654 |
| 5.465948 | 5.427868 | 3.808022E-02 | .6966809 | 5.325822 | 5.427868 | 5.529914 |
| 5.760793 | 5.743761 | 1.703119E-02 | .2956398 | 5.640386 | 5.743761 | 5.847136 |
| 4.878246 | 4.930177 | -5.193138E-02 | -1.06455 | 4.825868 | 4.930177 | 5.034487 |
| 5.465948 | 5.412198 | 5.375004E-02 | .9833617 | 5.309841 | 5.412198 | 5.514756 |
| 5.725544 | 5.728091 | -2.547264E-03 | -4.448947E-02 | 5.624212 | 5.728091 | 5.831971 |
| 4.878246 | 4.914215 | -3.596926E-02 | -.73734 | 4.808424 | 4.914215 | 5.020007 |
| 5.465948 | 5.396236 | 6.971216E-02 | 1.27539 | 5.292172 | 5.396236 | 5.500301 |
| 5.725544 | 5.712129 | 1.341486E-02 | .2342985 | 5.606762 | 5.712129 | 5.817497 |
| 5.484382 | 5.57206 | -8.767843E-02 | -1.598693 | 5.467978 | 5.57206 | 5.676142 |
| 6.082219 | 6.054081 | 2.813769E-02 | .4626221 | 5.951755 | 6.054081 | 6.156407 |
| 6.363717 | 6.369974 | -6.257057E-03 | -9.832393E-02 | 6.266323 | 6.369974 | 6.473626 |
| 5.484382 | 5.555039 | -7.065678E-02 | -1.288327 | 5.452553 | 5.555039 | 5.657525 |
| 6.030926 | 6.03706 | -6.133557E-03 | -.1017017 | 5.936357 | 6.03706 | 6.137762 |
| 6.344583 | 6.352953 | -8.369446E-03 | -.1319148 | 6.250904 | 6.352953 | 6.455001 |
| 5.571394 | 5.538047 | 3.334665E-02 | .5985335 | 5.436024 | 5.538047 | 5.64007 |
| 6.030926 | 6.020068 | 1.085806E-02 | .1800397 | 5.919837 | 6.020068 | 6.120299 |
| 6.344583 | 6.335961 | 8.622169E-03 | .1358981 | 6.234378 | 6.335961 | 6.437544 |
| 5.571394 | 5.522393 | 4.900027E-02 | .8794974 | 5.419785 | 5.522393 | 5.625002 |
| 6.030926 | 6.004414 | 2.651167E-02 | .4395954 | 5.903587 | 6.004414 | 6.105242 |
| 6.305362 | 6.320308 | -1.494503E-02 | -.237021 | 6.218136 | 6.320308 | 6.422479 |
| 5.484382 | 5.506409 | -2.202702E-02 | -.4016317 | 5.402216 | 5.506409 | 5.610602 |
| 5.976858 | 5.98843 | -1.157141E-02 | -.1936035 | 5.085991 | 5.98843 | 6.090868 |
| 6.264541 | 6.304323 | -3.978205E-02 | -.6350353 | 6.20056 | 6.304323 | 6.408086 |
| 5.976858 | 5.920582 | .0562768 | .9415782 | 5.815097 | 5.920582 | 6.026067 |
| 6.487684 | 6.402602 | 8.508206E-02 | 1.311144 | 6.29885 | 6.402602 | 6.506355 |
| 6.582995 | 6.718496 | -.1355009 | -2.058348 | 6.613436 | 6.718496 | 6.823855 |
| 5.976858 | 5.90361 | 7.324839E-02 | 1.225533 | 5.799789 | 5.90361 | 6.007431 |
| 6.418691 | 6.385631 | 3.306055E-02 | .5150669 | 6.283571 | 6.385631 | 6.487691 |
| 6.683862 | 6.701524 | -1.766253E-02 | -.2642563 | 6.598135 | 6.701524 | 6.804913 |
| 5.9197 | 5.886612 | 3.308773E-02 | .5589428 | 5.783345 | 5.886612 | 5.98988 |
| 6.382324 | 6.368633 | 1.369047E-02 | .2145061 | 6.267136 | 6.368633 | 6.47013 |
| 6.697405 | 6.684526 | .0128789 | .1922968 | 6.581693 | 6.684526 | 6.787359 |
| 5.9197 | 5.870953 | 4.874707E-02 | .8234719 | 5.767194 | 5.870953 | 5.974712 |
| 6.344583 | 6.352974 | -8.390427E-03 | -.1322455 | 6.250976 | 6.352974 | 6.454971 |
| 6.641835 | 6.668867 | -.0270319 | -.4069944 | 6.56554 | 6.668867 | 6.772194 |
| 5.859076 | 5.854992 | 4.08411E-03 | 6.970571E-02 | 5.749757 | 5.854992 | 5.960226 |
| 6.305362 | 6.337013 | -3.165007E-02 | -.5019548 | 6.233514 | 6.337013 | 6.440511 |
| 6.582995 | 6.652906 | -.0679911 | -1.061994 | 6.548097 | 6.652906 | 6.757715 |



Slika - 6

OBRASCI ZA IZRAČUNAVANJE OTPORA

Prevodjenjem korelativnih veza $F_i(\delta, s, v)$ iz logaritamskog (izlaz iz programa) u oblik stepene zavisnosti, dobivaju se dovoljno precizni obrasci za izračunavanje komponentnih otpora rezanja.

Ovi obrasci važe za ispitivanu oblast variranih parametara (δ, s, v) i dati su tabelarno (tab. 3) za slučaj struganja prevučenim i neprevučenim alatom oba materijala predmeta obrade.

PRIMERI GRAFIKA

S ciljem da se sagleda pouzdanost pri određivanju otpora rezanja preko obrazaca datih u tab. 3 dati su neki od mogućih uporednih grafičkih prikaza $F_i(\delta, s, v)$. Naime, krive na dijagramima crtane su po opštim jednačinama regresije (obrasci u tab. 3), dok su tačkama na dijagramima označene izmerene vrednosti otpora.

Tabela - 3

| | |
|---|--|
| Obrada struganjem Č.1221 Alat sa prevlakom TiN | $F_1 = 1805 \cdot \delta^{0,852} \cdot s^{0,695} \cdot v^{-0,0716}$ |
| | $F_2 = 1094 \cdot \delta^{0,39} \cdot s^{0,646} \cdot v^{-0,0839}$ |
| | $F_3 = 948 \cdot \delta^{1,23} \cdot s^{0,47} \cdot v^{-0,1295}$ |
| Obrada struganjem Č.1221 Alat bez prevlake TiN | $F_1 = 2034,5 \cdot \delta^{0,91} \cdot s^{0,721} \cdot v^{-0,099}$ |
| | $F_2 = 1762 \cdot \delta^{0,39} \cdot s^{0,66} \cdot v^{-0,186}$ |
| | $F_3 = 1116 \cdot \delta^{1,234} \cdot s^{0,487} \cdot v^{-0,172}$ |
| Obrada struganjem Č.5420 za oba alata | $F_1 = 4092,5 \cdot \delta^{0,843} \cdot s^{0,672} \cdot v^{-0,22}$ |
| | $F_2 = 4129 \cdot \delta^{0,1693} \cdot s^{0,4967} \cdot v^{-0,365}$ |
| | $F_3 = 4047 \cdot \delta^{1,07} \cdot s^{0,327} \cdot v^{-0,425}$ |

Na sl. 7-12 dijagramski su prikazane zavisnosti glavnog otpora rezanja i brzine za različite vrednosti koraka i dubine rezanja pri obradi Č.1221 alatima sa i bez prevlake od TiN.

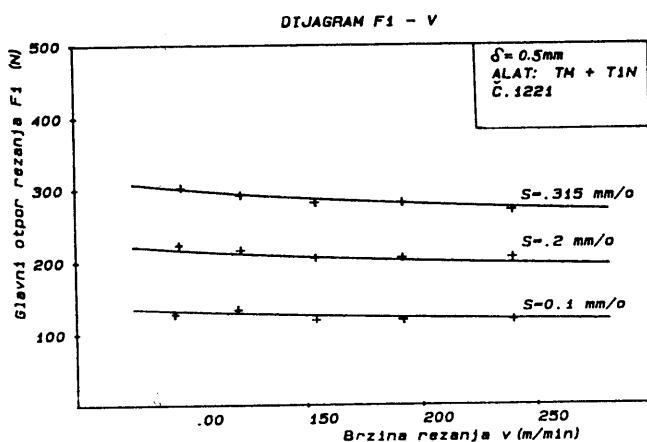
Grafički prikaz zavisnosti $F_i(\delta)$, $i=1,2,3$ za različite vrednosti koraka pri brzini od 150 m/min za slučaj obrade Č.1221 alatima sa i bez prevlaka od TiN dok je dijagramima na sl. 13-18.

Zavisnost glavnog otpora rezanja i brzine za različite vrednosti koraka i dubine rezanja pri obradi Č.5420 prikazana je dijagramski na sl. 19, 20 i 21.

YUTRIB
89

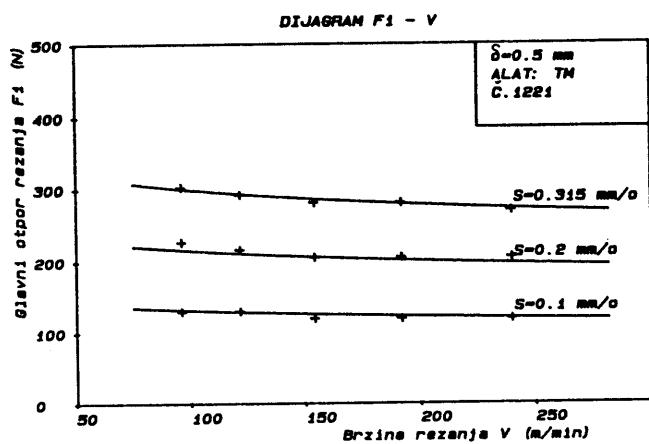
OBRADA STRUGANJEM Č.1221 (dijagramske zavisnosti F_1 - v)

alat sa prevlakom od TiN

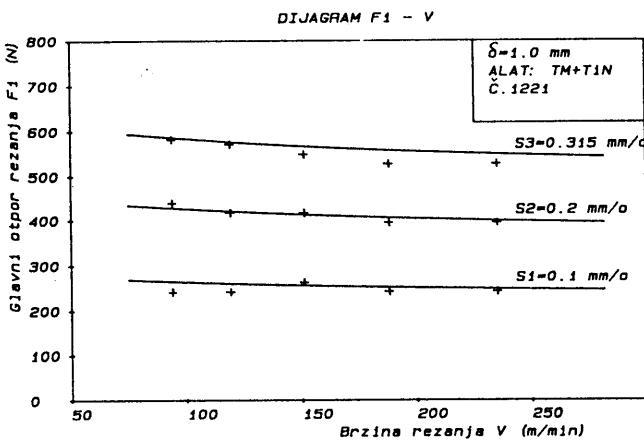


Slika - 7

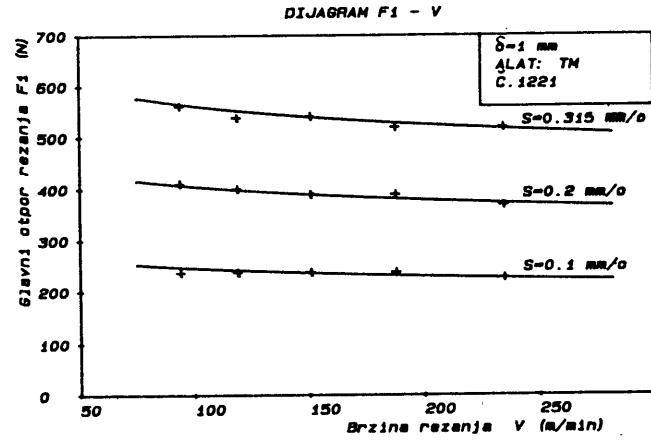
alat bez prevlake



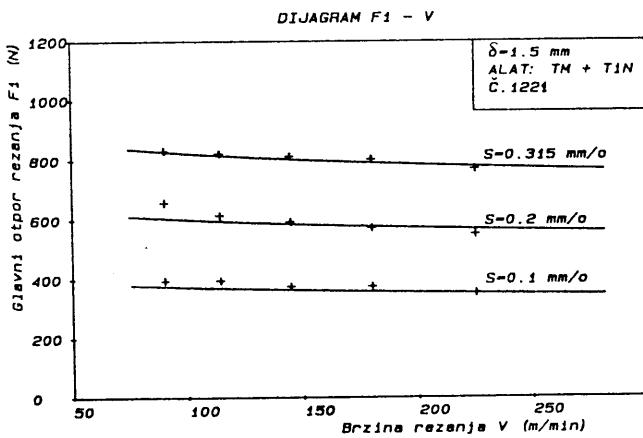
Slika - 10



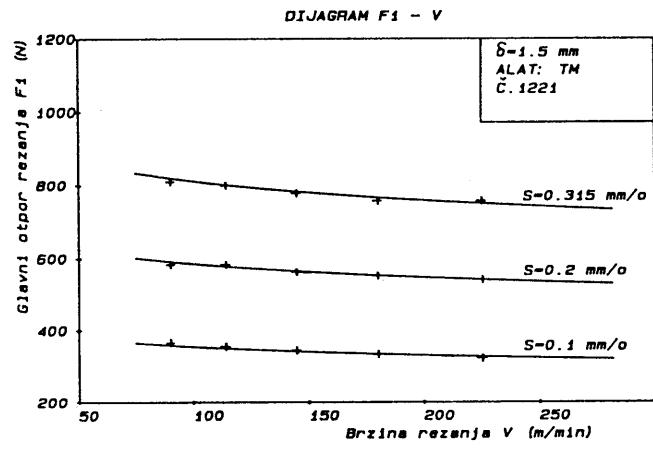
Slika - 8



Slika - 11



Slika - 9

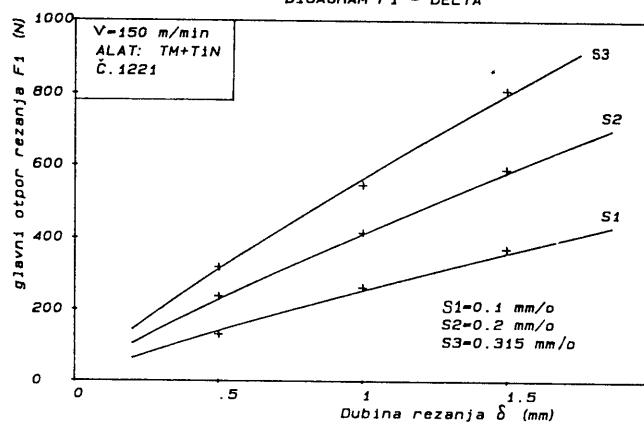


Slika - 12

OBRADA STRUGANJEM Č.1221 (dijagramske zavisnosti F_1 - δ)

alat sa prevlakom od TiN

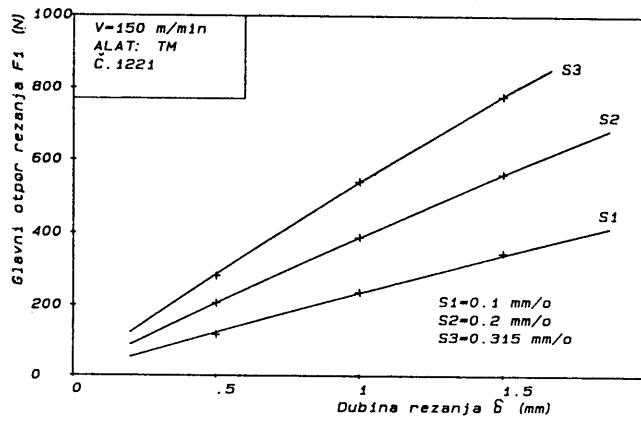
DIJAGRAM F1 - DELTA



Slika - 13

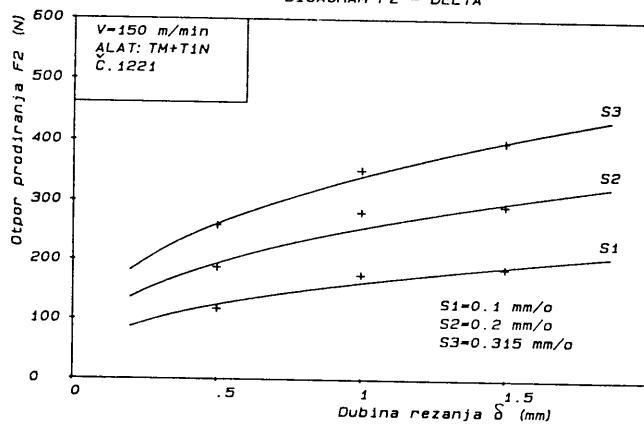
alat bez prevlake

DIJAGRAM F1 - DELTA



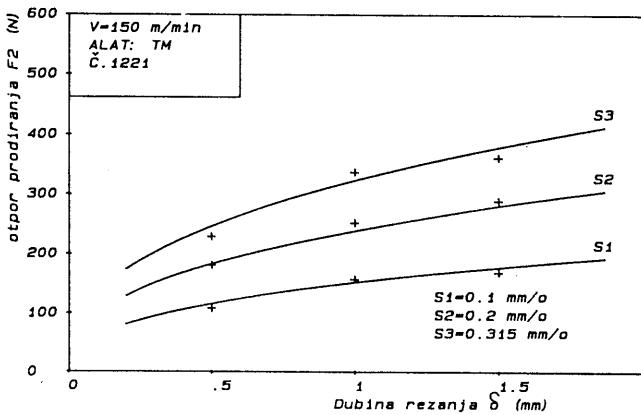
Slika - 16

DIJAGRAM F2 - DELTA



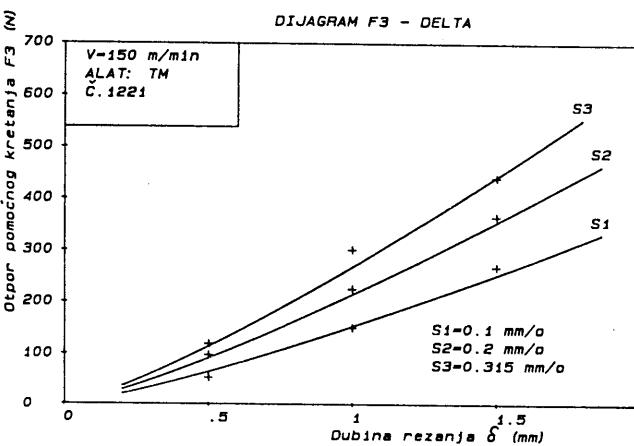
Slika - 14

DIJAGRAM F2 - DELTA



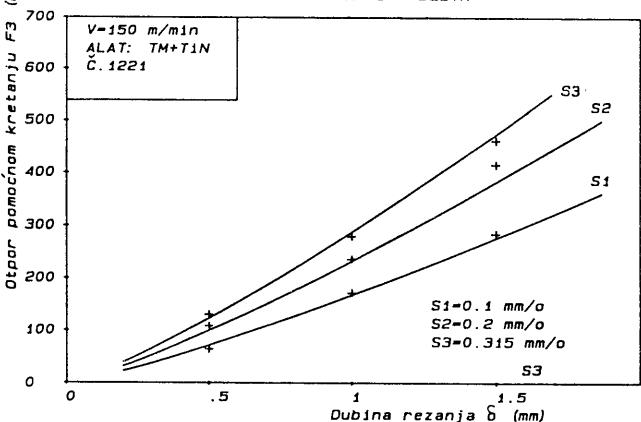
Slika - 17

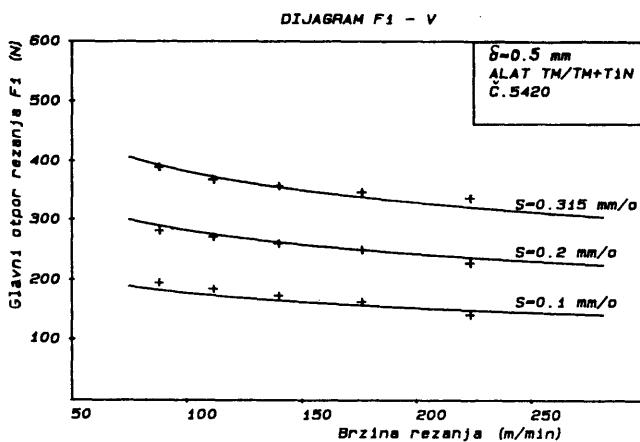
DIJAGRAM F3 - DELTA



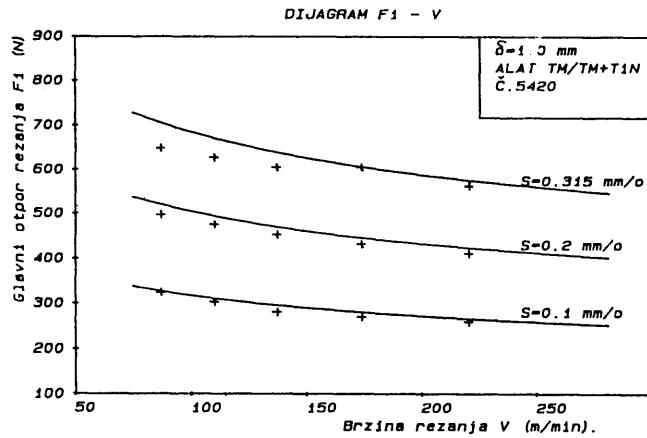
Slika - 15

DIJAGRAM F3 - DELTA

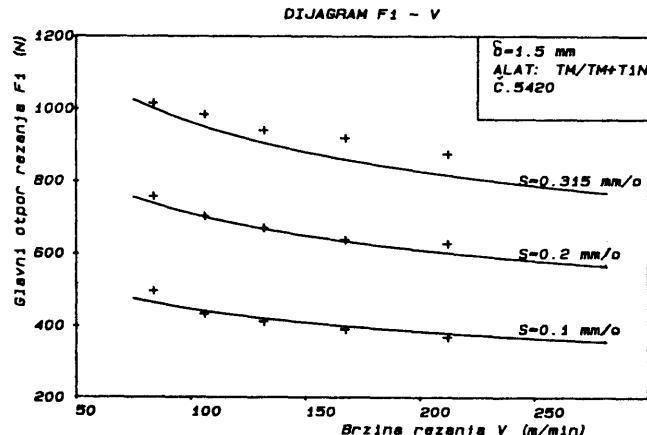




Slika - 19



Slika - 20



Slika - 21

Korelativna veza oblika $F_i(\delta, s, v=c)$, $i = 1, 2, 3$ matički definiše površ u trodimenzionalnom prostoru. Za različite vrednosti konstante c dobiće se familija površi što je grafički predstavljeno na sl. 22.

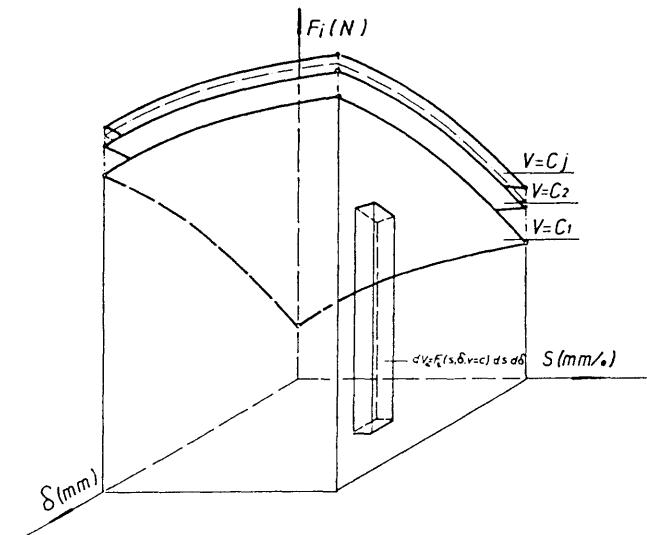
Poredjenje zapremina koje površi $F_i(\delta, s, v=c1)$ i $F_i(\delta, s, v=c2)$ obrazuju sa koordinatnim ravnima adekvatno je poredjenju srednjih vrednosti otpora na određenom intervalu koraka i dubina pri brzini $v = c1$ i $v = c2$.

Treba napomenuti da data zapremina fizički predstavlja energetsku veličinu. Procentni porast srednjeg otpora pri padu brzine za $\Delta v = v_1 - v_2$ može se izračunati preko odnosa ovih zapremina, što se može napisati u obliku:

$$\Delta \bar{F}_i(\delta v) \% = \frac{A(\delta, s, v_2) - A(\delta, s, v_1)}{A(\delta, s, v_2)} \cdot 100$$

Imajući u vidu korelativnu vezu otpora, koraka, dubine i brzine rezanja ovaj pokazatelj se može izraziti relacijom:

$$\Delta \bar{F}_i(\Delta v) = \frac{\frac{\delta_2}{\delta_1} \frac{s_2}{s_1} \int_{\delta_1}^{\delta_2} \int_{s_1}^{s_2} \int_{v_2^z}^{v_1^z} F_i(\delta, s, v) d\delta ds dv}{c \cdot v_2^z \int_{\delta_1}^{\delta_2} \int_{s_1}^{s_2} \int_{v_2^z}^{v_1^z} F_i(\delta, s, v) d\delta ds dv} \cdot 100\% = \frac{(v_2^z - v_1^z) 100\%}{v_2^z} = \Delta F_i(\Delta v)$$



Slika - 22

| Tabela - 4 Obrada struganjem Č.1221 | | | | | | |
|-------------------------------------|--|--|---|--|--|---|
| | Alat sa prevlakom od TiN | | | Alat bez prevlake | | |
| $\Delta j \rightarrow$ | $v_1 = 100$ $v_2 = 220$ $\Delta v = 120$ (m/min) | $\delta_1 = 0,5$ $\delta_2 = 1,5$ $\Delta \delta = 1$ (mm) | $s_1 = 0,1$ $s_2 = 0,315$ $\Delta s = 0,215$ (mm/s) | $v_1 = 100$ $v_2 = 220$ $\Delta v = 120$ (m/min) | $\delta_1 = 0,5$ $\delta_2 = 1,5$ $\Delta \delta = 1$ (mm) | $s_1 = 0,1$ $s_2 = 0,315$ $\Delta s = 0,215$ (mm/s) |
| $\Delta F_1 (\Delta j)$ | 5,49 % | 60,8 % | 54,95 % | 7,5 % | 63,2 % | 56,26 % |
| $\Delta F_2 (\Delta j)$ | 6,4 % | 34,82 % | 52,34 % | 13,63 % | 34,8 % | 53,14 % |
| $\Delta F_3 (\Delta j)$ | 9,7 % | 74 % | 41,68 % | 12,66 % | 74,2 % | 42,8 % |

Ovim se može zaključiti da procentni pad otpora u sled povećanja brzine rezanja ne zavisi od veličine koraka i dubine rezanja. Sličnim postupkom može se preko po kazatelja $\Delta F_i(\Delta \delta)$ i $\Delta F_i(\Delta s)$ sagledati uticaj dubine i koraka na veličinu otpora rezanja, gde je:

$\Delta F(\Delta \delta)\%$ - procentni porast otpora pri promeni dubine od δ_1 do δ_2 i

$\Delta F(\Delta s)\%$ - procentni porast otpora pri promeni koraka od s_1 do s_2 .

Radi preglednosti svi ovi pokazatelji dati su tabelarno (tab. 4 i 5) za oba alata i materijala predmeta obrade. Kao pokazatelj za poređenje alata koristiće se procentni odnos srednjih vrednosti otpora F_i za određenu oblast koraka i dubine rezanja. Ovaj pokazatelj računa se za određenu brzinu rezanja i može se odrediti po obrascu:

$$K_{fi} \% = \frac{\bar{F}_i^{TN}}{\bar{F}_i^{TM}} \cdot 100\% = \frac{\int_{\delta_1}^{\delta_2} \int_{s_1}^{s_2} F_i^{TN}(\delta, s, v=c_1) d\delta \cdot ds}{\int_{\delta_1}^{\delta_2} \int_{s_1}^{s_2} F_i^{TM}(\delta, s, v=c_1) d\delta \cdot ds} \cdot 100$$

gde je: \bar{F}_i^{TN} - srednja vrednost otpora pri radu alatom sa prevlakom od TiN za oblast $\delta_1 < \delta < \delta_2$ i $s_1 < s < s_2$ pri konstantnoj brzini ($v = c_1$),

\bar{F}_i^{TM} - je srednja vrednost otpora pri radu neprevučenim alatom za istu oblast variranih parametara obrade.

Posebno je interesantno K_{fi} izračunati za oblasti graničnih vrednosti koraka, dubine i brzine rezanja.

U tabeli 6. date su vrednosti ovog pokazatelja za različite oblasti variranih parametara obrade.

ZAKLJUČAK

Analiza rezultata eksperimenta ukazuje na razlike u veličini komponentnih otpora pri struganju Č.1221 prevučenim i neprevučenim alatom. Stiti u vezi za ispitivanu oblast variranih parametara δ , s i v sa aspekta potrošnje energije prednost svakako pripada alatu bez prevlake od TiN.

| Tabela - 5 Obrada struganjem Č.5420 za oba alata | | | |
|--|---|--|---|
| $\Delta j \rightarrow$ | $v_1 = 90$ $v_2 = 210$ $\Delta v = 120$ (m/min) | $\delta_1 = 0,5$ $\delta_2 = 1,5$ $\Delta \delta = 1$ (mm) | $s_1 = 0,1$ $s_2 = 0,315$ $\Delta s = 0,215$ (mm/s) |
| $\Delta F_1 (\Delta j)$ | 17 % | 60,4 % | 53,7 % |
| $\Delta F_2 (\Delta j)$ | 26,6 % | 17 % | 43,4 % |
| $\Delta F_3 (\Delta j)$ | 30,2 % | 69 % | 31,3 % |

| Tabela - 6 | | $\Delta j \rightarrow$ | $\text{interval } \delta$ | $\text{K}_{fi} \%$ | $\Delta j \rightarrow$ | $\text{interval } \delta$ | $\text{K}_{fi} \%$ |
|---------------------------------------|-----------------|------------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------------------|---------------------------|--------------------|
| Obrada Č.1221 alatom sa prevlakom TiN | \bar{F}_1 (N) | 428,48 | $K_{f1} = 101,5\%$ | 255,2 | Obrada Č.1221 alatom bez prevlake TiN | \bar{F}_2 (N) | 181 |
| | \bar{F}_2 (N) | 263,4 | | 135,74 | | \bar{F}_3 (N) | 232,71 |
| | \bar{F}_3 (N) | 249,36 | | 163,7 | | \bar{F}_1 (N) | 235,47 |
| Obrada Č.5420 alatom bez prevlake TiN | \bar{F}_1 (N) | 409,89 | $K_{f2} = 105,9\%$ | 123,2 | | \bar{F}_2 (N) | 163,7 |
| | \bar{F}_2 (N) | 259,45 | | | | \bar{F}_3 (N) | |
| | \bar{F}_3 (N) | 235,47 | | | | | |

Međutim, analizom parcijalnih uticaja (uticaj dubine, koraka i brzine) i pokazatelja $K_{fi}\%$ dolazi se do vrlo interesantnih zapažanja.

Pri većim koracima i dubinama rezanja razlika u otporima je vrlo mala, dok sa povećanjem brzine i smanjenjem koraka i dubine ova razlika asymptotski raste.

Ovo saznanje nameće pretpostavku da će se regresione površi koje definišu otpore rezanja pri struganju alatima sa i bez prevlake seći u prostoru.

Napominjemo da smo ovu pretpostavku potvrdili nizom kratkih eksperimenata obavljenih pri struganju Č.1220, Č.5420 i Č.5430 istim alatima.

Time se može zaključiti da postoje odredjene oblasti veličine koraka, dubine i brzine rezanja za koje je energetski posmatrano opravdana primena nekog od ovih alata.

LITERATURA

1. STANIĆ J., Metod inženjerskih merenja, Mašinski fakultet, Beograd, 1986.
2. IVKOVIĆ B., Obrada metala rezanjem, Izbor ekonomičnih režima obrade, Gradjevinska knjiga, Beograd, 1979.