tribologija u industriji

YU ISSN 03551-1642
GODINA X
MART 1988.
1

10
GODINA
1978-1988

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

YU ISSN 0351—1642

GODINA X
BROJ 1
MART 1988.

tribologija u industriji

sadržaj contents содержание

UVODNIK
INTRODUCTION
ПЕРЕДОВИЦА

B. JEREMIĆ: Potreba za eksperimentalnim istraživanjima triboloških karakteristika prevlaka - The need for investigations of tribological characteristics of coatings - Потребность в экспериментальним исследовании трибологических характеристик покрытий . . . 3

ISTRAŽIVANJA
RESEARCH
ИССЛЕДОВАНИЯ

B. SOVILJ: Identifikacija triboloških procesa na reznim elementima odvalnog glodala u modelskim uslovima - Identification of tribological processes on coated and non-coated cutting elements of hab milling tools in model conditions - Определние трибологических процессов происходящих на режущих деталях с покрытием и без покрытия в моде 5

R. PANTIĆ: Tribološke karakteristike okretnih pločica sa prevlakom TiN - Investigations of tribological characteristics of revolving cutting inserts with TiN depostit in production condations - Исследование трибологических характеристик поворотных плиток с рокрытием TiN в производственных условиях 15

ZA NEPOSREDNU PRAKSU
FOR DIRECT PRACTICE
ДЛЯ НЕПОСРЕДСТВЕННУЮ ПРАКТИКУ

M. BABIĆ, D. TRIFUNOVIĆ, B. NEDIĆ, B. TADIĆ: Ispitivanje obradivosti odlivaka od sivog liva 23

NOVOSTI
NEWS
ИЗВЕСТИЯ 26

KNJIGE I ČASOPISI
BOOKS AND JOURNALS
КНИГИ И ЖУРНАЛЫ 28

NAUČNI SKUPOVI
SCIENTIFIC MEETINGS
НАУЧНЫЕ СОБРАНИЯ 30

REZIMEA
ABSTRACTS
РЕЗЮМЕ 32

B. JEREMIĆ

Potreba za eksperimentalnim istraživanjima triboloških karakteristika prevlaka

Kod svih tribomehaničkih sistema sadržanih u sredstvima rada (mašine, pribori, alati) i drugoj opremi, prisutno je rasipanje energije prvenstveno zbog procesa trenja i rasipanje mase kao posledice habanja. To dovodi do povećanih troškova eksploatacije i održavanja i smanjenja njihovog ukupnog veka trajanja.

Kao što je poznato, rasipanje energije i mase u tribomehaničkim sistemima zavisi od većeg broja faktora koji definišu uslove pod kojima se kontakt ostvaruje. Pri tome dominantan uticaj imaju karakteristike materijala u kontaktnom sloju. To znači da su fizičko-mehaničke i hemijske pojave vezane za proces trenja i habanja lokalizovane na veoma tanke slojeve materijala izloženog uticajima spoljašnjeg opterećenja.

U fazi projektovanja nekog tehničkog sistema, konstruktori bez većih teškoća definišu materijale i dimenzije elemenata sa aspekta njihove izdržljivosti tj. sprečavanja iznenadnog otkaza zbog loma u željenom periodu eksploatacije. Medjutim, kada je u pitanju postepeni otkaz kao posledica razvoja procesa habanja, u većini slučajeva je prisutna dilema vezana za izbor materijala, njegovu termičku obradu, naknadnu mehaničku obradu, itd. Pri tome u većini slučajeva preovladava kriterijum vezan za izbor kvalitetnijih materijala za izradu kontaktnih elemenata sa aspekta usporenja procesa habanja, iako se zna da manje kvalitetan materijal upotpunosti sprečava pojavu iznenadnog otkaza u predvidjenom periodu eksploatacije. Ovakav pristup je prisutniji kod konstruktora opreme čije intenzivno habanje tribomehaničkih sistema dovodi do visokih troškova održavanja zbog dugotrajnog izdvajanja opreme iz eksploatacije i zamene pohabanih elemenata.

Očigledno je da projektovanje tehničkih sistema sa ovakvom logikom može dovesti do enormno visoke njihove cene.

Ako se ima u vidu i činjenica o iscrpnim rezervama pojedinih legirajućih elemenata sadržanih u najčešće primenjivanim visokokvalitetnim konstrukcionim čelicima, potpuno je opravdana i celishodna realizacija kontaktnih slojeva visokih triboloških svojstava na elementima od materijala bez značajnijeg prisustva legirajućih elemenata.

Obimna istraživanja koja se obavljaju poslednjih godina u oblasti vakumske i jonske tehnologije, stvorila su uslove za razvoj komercijalne opreme i tehnologije (MULTI-ARC, BALZERS, LEYBOLD, VAC-TEC, ULVAC, HAUZER, INTERATOM, IPSSEN, itd.) za nanošenje širokog spektra različitih prevlaka (TiN, TiCN, TiAlN, TiC, ZrN, HfN, TiNb, Si_3N_4, SiC, TiO_2, Al_2O_3, ZrO_2, itd.) sa izuzetno dobrim tribološkim karakteristikima u odredjenim uslovima primene.

U jugoslovenskoj industriji je naročito prisutan problem vezan za nedovoljni broj informacija o tribološkim karakteristikama prevlaka. Takodje ni većina istraživačkih centara ne čini odredjene pokušaje u cilju njegovog prevazilaženja.

Rezultati triboloških istraživanja (sa nedovoljnim brojem informacija za njihovu proveru) se mahom prezentiraju od strane proizvodjača komercijalne opreme za nanošenje prevlaka. Pri tome su skoro uvek prisutna poredjenja koja u najboljem svetlu favorizuju odredjenu tehnologiju i opremu. Neophodno je napomenuti da najviše informacija postoji o rezultatima primene prevlaka na alatima. Tako se u komercijalnim prospektima može videti da se postojanost alata sa prevlakom u odnosu na alate bez prevlake povećava za neverovatnih 5-20 puta. Kroz ispitivanja obavljena kod nas utvrdjeno je veoma veliko rasipanje rezultata o postojanosti istih alata sa prevlakom. Detaljnom analizom je utvrdjen veoma značajan uticaj tehnologije izrade i pripreme površine alata za nanošenje prevlake.

Sve navedeno ukazuje na činjenicu da zbog želje jugoslovenske industrije o što bržem uključivanju u svetske tehnološke tokove i kupovinu opreme za nanošenje prevla-

ka, treba poći od sopstvenih triboloških istraživanja.

Koristeći usluge komercijalnih proizvodjača do kupovine najracionalnije tehnologije i opreme, navedena istraživanja treba izvesti u dve faze:

- na tribometrima u laboratorijskim uslovima i
- na realnim elementima u eksploatacionim uslovima.

Neophodnost za navedenim redosledom leži u činjenici da nepoznavanje rezultata istraživanja na tribometru može dovesti kod direktne primene prevlaka na realnim elementima do neželjenih posledica (otežano funkcionisanje tribomehaničkog sistema, lom elemenata, pojava nedozvoljenih oblika habanja, itd.).

U prvoj fazi istraživanja na tribometru treba definisati:

- veličinu sila trenja,
- intenzitet habanja,
- temperature u zoni kontakta,
- interakciju prevlake i maziva i
- promenu topografije kontaktnih površina.

Poseban doprinos laboratorijskih istraživanja na tribometru je u odredjivanju:

- optimalnih materijala elemenata za odredjenu vrstru prevlake,
- optimalne tehnologije obrade i topografije kontaktne površine za nanošenje prevlake.

Na osnovu rezultata istraživanja na tribometrima i u eksploatacionim uslovima neophodno je izvršiti kompleksnu analizu ekonomske opravdanosti nanošenja prevlaka.

Do skora su postojala ograničenja kod izbora materijala elemenata sa aspekta temperatura pri kojima se odvija proces nanošenja prevlaka (670-770K).

Trenutni razvoj "hladnih" tehnologija (∿ 470K) nanošenja prevlaka, ukazuje na neophodnost izvodjenja obimnijih triboloških istraživanja. Ovo je tim pre opravdano ako se zna da se prevlake pri temperaturi izvodjenja procesa od ∿470K mogu nanositi na konstrukcione čelike prethodno termički obradjene (poboljšane, nitrirane, cementirane, itd.).

U svetu se smatra da će osvajanje tehnologija nanošenja prevlaka na nižim temperaturama dovesti do novog pristupa u izboru materijala za izradu kontaktnih elemenata tribomehaničkih sistema. Da bi ovo bilo ostvarljivo i kod nas, neophodna su obimna tribološka istraživanja sa ciljem formiranja banke podataka sa informacijama o materijalima elemenata, vrstama prevlaka i njihovim tribološkim karakteristikama.

Pratići svetske tehnološke tokove, Mašinski fakultet u Kragujevcu u zajednici sa Zavodima "Crvena zastava" kroz program izgradnje i opremanja zajedničkih laboratorija realizuje značajne aktivnosti. Tako je u okviru Laboratorije za obradu metala i tribologiju formiran Centar za nanošenje prevlaka, pri čemu su trenutne aktivnosti usmerene na izbor i kupovinu opreme sa širokim spektrom mogućnosti nanošenja različitih prevlaka, prvenstveno na konstrukcione a zatim na alatne i brzorezne čelike.

S obzirom na dugu tradiciju i kvalitetan istraživački tim Laboratorije za obradu metala i tribologiju, u zajednici sa Centrom za nanošenje prevlaka, stvara se nov pravac u oblasti triboloških istraživanja koji je prisutan kod manjeg broja industrijski razvijenih zemalja. Na taj način će se kroz zajedničke programe sa jugoslovenskom industrijom i drugim naučno-istraživačkim centrima ići u korak sa svetom u oblasti tehnologije nanošenja prevlaka i ispitivanja njihovih triboloških karakteristika.

10
1978-1988

Deset godina časopisa

tribologija u industriji

UDK 621.914.6:621.833.004.6

B. SOVILJ

Identifikacija triboloških procesa na reznim elementima odvalnog glodala u modelskim uslovima

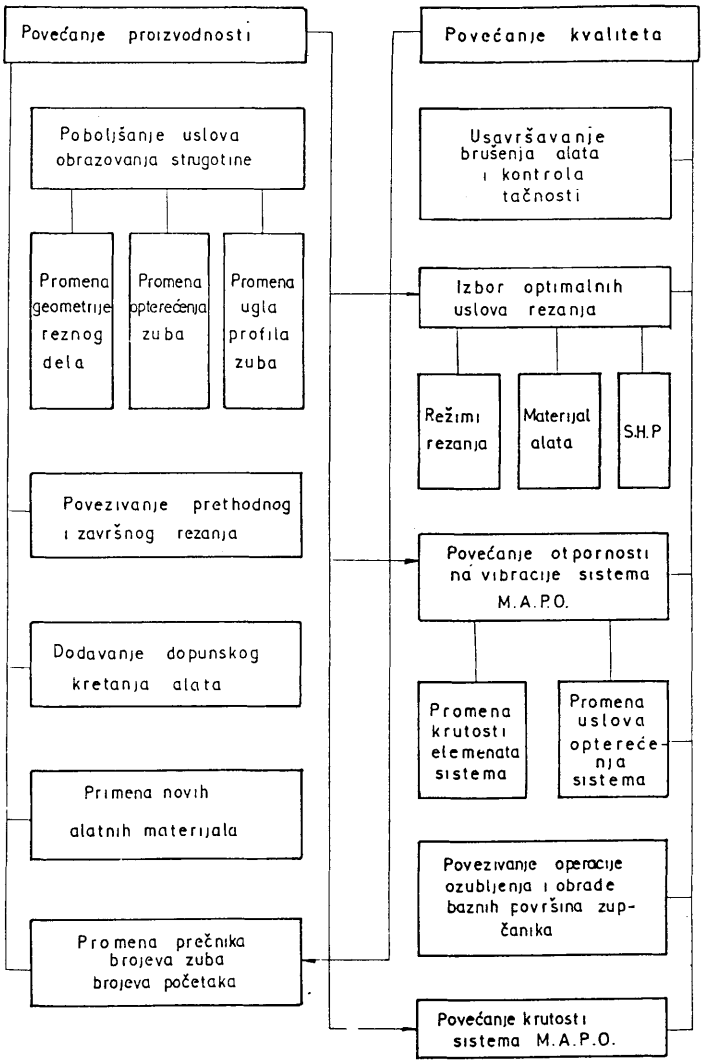
UVOD

Razvoj i unapredjenje tehnoloških procesa u jugoslovenskoj metalopreradjivačkoj industriji mogući su proizvodnjom i primenom savremenih alata. Zbog toga je poslednjih godina ostvaren značajan porast proizvodnje i uvoz savremenih alata. Proizvodnja kvalitetnih alata za obradu rezanjem u našoj zemlji značajno zaostaje od potreba i u kvalitetu i u količinama, pa se u otežanim uslovima na svetskom tržištu vrši i nedozvoljeno veliki uvoz istih.

Brz razvoj industrijske proizvodnje u svetu izazvao je potrebu za obimnim istraživanjima u svim oblastima pa i u oblasti obrade metala rezanjem. Formiranjem velikog broja istraživačkih institucija i laboratorija po univerzitetima doprineo je razvoju novih vrsta: materijala za alate, materijala obradka, mašina, sredstva za hladjenje i podmazivanje i boljem upoznavanju prirode procesa rezanja i različitim uslovima obrade /1/.

Na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, a u okviru Naučno-obrazovnog instituta za proizvodno mašinstvo i njegove Katedre za obradu metala skidanjem strugotine radi se na istraživanju procesa odvalnog glodanja cilindričnih zupčanika. Deo ovih istraživanja odnosi se na identifikaciju triboloških procesa pri odvalnom glodanju, a iz kojih je proizišao tekst pod istim naslovom i koji je predložen Fakultetu tehničkih nauka kao doktorski rad. U ovom radu biće prikazan samo deo rezultata do kojih se došlo pri izradi doktorske disertacije.

U industrijskim zemljama, pa i kod nas danas kroz habanje i koroziju nastaju gubici izraženi u milijardama. Zbog toga je takvo projektovanje odvalnih glodala koje će obezbediti minimalne gubitke ove vrste od velikog značaja izraženo kroz konstruktivnu i reznu geometriju odvalnog glodala, a tako -



Sl. 1. - Pravci usavršavanja odvalnog glodanja zubaca zupčanika

dje i kroz izbor materijala alata.

Nedovoljno stanje naučnih saznanja na području odvalnog glodanja, kao i današnje privredne situacije, zahtevaju dalji razvoj istraživanja ovog procesa rezanja. Nedostatak informacija se povećava primenom raznih alata i materijala odvalnih glodanja pri obradi najrazličitijih obradaka.

Osnovni pravci usavršavanja odvalnog glodanja zubaca zupčanika dati su na sl. 1 /2/, a isto se može ostvariti preko povećanja produktivnosti i povećanja kvaliteta ozubljenja.

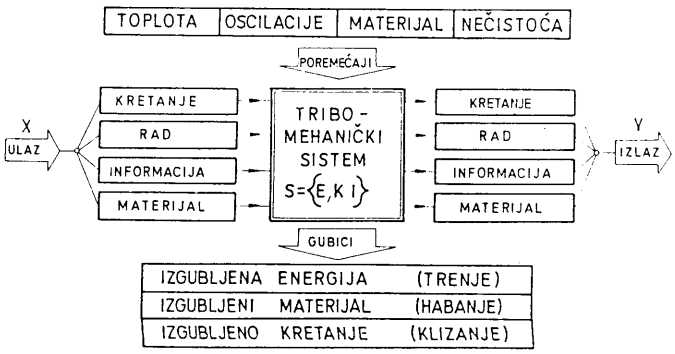
Da bi se omogućilo sigurno iskorišćenje sredstava rada metalopreradjivačka industrija mora imati pouzdane parametre obrade. Značajno mesto zauzimaju tehnološki parametri koji utiču na habanje alata i uzimajući u obzir parametre za definisanje ekonomičnosti procesa utiču na ostvarivanje optimalnih parametara režima rezanja.

Neophodnost povećanja produktivnosti rada i ekonomičnosti poslovanja proizvodnih sistema stvara pogodne uslove za razvoj istraživanja u oblasti tribologije i sve veću primenu triboleških znanja u industrijskoj praksi.

Tribo-mehanički sistemi u kojima se vrši proces prerade materijala razlikuju se medju sobom po vrstama obrade materijala koje se u njima koriste (obrada rezanjem i obrada deformisanjem), a zajednička im je osnovna struktura koja se sastoji od:

- obradka na kom se vrši obrada,
- alata sa kojim se vrši obrada i
- sredine u kojoj se vrši obrada i koja je najčešće ispunjena odgovarajućim sredstvom za hladjenje i podmazivanje

U osnovi tribo-mehanički sistem može da se predstavi kao "crna kutija" sa ulaznim, izlaznim i izgubljenim veličinama (sl. 2).



Sl. 2. - Transformacioni procesi u tribološkim sistemima

Za uspostavljanje veze izmedju ulaza i izlaza treba upoznati:

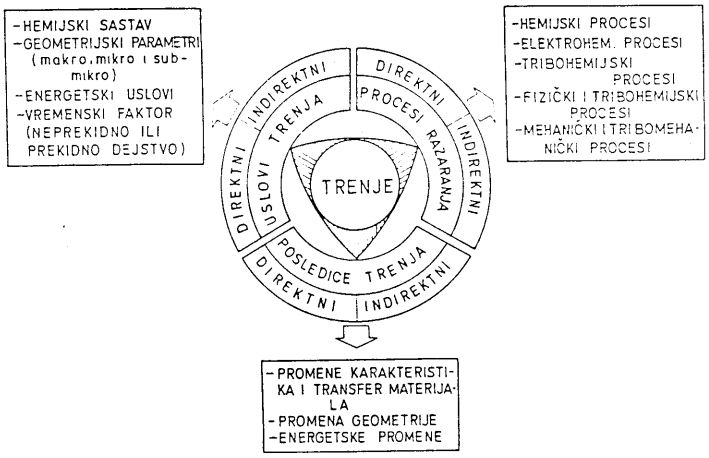
- stvarnu fiziku procesa, kojom se ulaz transoformiše u izlaz,
- prirodu procesa koja stvara gubitke na izlazu, tj. kakva je stvarna fizika mehanizma disipacije koja pripada trenju i stvaranju produkata habanja, i
- od kakvog je uticaja mehanizam disipacije i kako ga optimizirati.

Današnji nivo saznanja ukazuje da za razjašnjenje pojava pri trenju postoje tri glavna elementa koja treba sagledati i to:

- prirodu i čvrstoću veza obrazovanih u zoni kontakta,
- stvarnu površinu kontakta i
- mogućnost i način razaranja materijala oko i u zoni kontakta pri relativnom kretanju kontaktnih elemenata.

Navedeni elementi stoje u odredjenim uzročnim vezama i izmedju njih se ne može postaviti oštra granica.

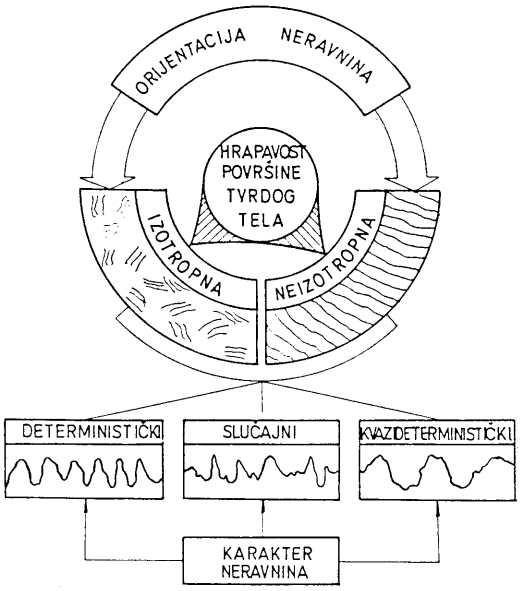
Sistemski prikaz /3,4/ kompleksnosti trenja preko uslova pod kojima se ovaj proces odvija i njegova povezanost sa razaranjem i krajnjim posledicama dat je na sl. 3.



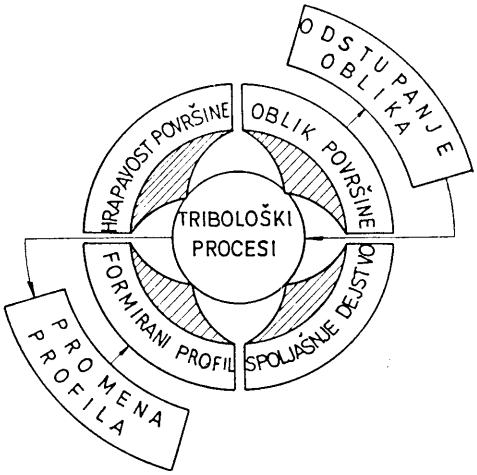
Sl. 3. - Sistemska analiza pojava pri trenju

Kontaktna površina se definiše topografijom odnosno mikro i makrogeometrijom, a njima pripadaju: hrapavost, valovitost i greške oblika. Pri definisanju topografije sa tribološkog aspekta red veličina nivoa je od posebnog značaja. Obradjene kontaktne površine u opštem slučaju imaju neravnine makro i mikro reda. Na sl. 4, data je klasifikacija neravnina kontaktnih površina. Potpuno definisanje topografije kontaktne površine moguće je preko

kvantificiranja mikro i makrogeometrijskih nepravilnosti. Veza izmedju topografije kontaktnih površina i razvoja triboloških procesa je složena. Promena topografije pri razvoju triboloških procesa može da se prikaže modelom kao na sl. 5.



Sl. 4. - Klasifikacija neravnina kontaktnih površina



Sl. 5. - Promena topografije pri razvoju triboloških procesa

Promena stanja tribomehaničkog sistema nastaje zbog razvoja triboloških procesa, a ogleda se i kroz promenu topografije kontaktnih površina. Odstupanja koja imaju makrokarakter su rezultat opšteg prikaza formalne topografije bez ograničenja nominalne površine.

Kvantificirati stvarnu površinu kontakta znači determinisati površinu kontakta, ne kao dvodimenzionalnu već kao fizički prostornu veličinu, znači upoznati u širem smislu njenu fizičku prirodu i topografiju u makro, mikro i submikro području. Zahvaljujući novim metodologijama i instrumentacijama danas se čine veliki napori da se prodre u suštinu prirode nastanka površine. Treba odrediti topografiju i veličinu kontaktnih površina u obradi odvalnim glodanjem u funkciji stepena pohabanosti alata.

U procesu rezanja kontakt odvalnog glodala sa materijalom obradka ostvaruje se izmedju strugotine i grudne površine zuba i ledjne površine zuba i obradjene površine. Tribološki procesi koji se javljaju u procesu reza - nja na obe površine zuba alata razvijaju se pod specifičnim uslovima. Uticaj procesa habanja odvalnog glodala na karakteristike stanja i izlazne efekte obradnog procesa je velik i izuzetno nepovoljan.

Već duže vremena pokušavaju stručnjaci za obradu rezanjem, tehnolozi i metalurzi u industriji i u naučnim ustanovama sveta smanjiti habanje alata od brzoreznih čelika u cilju povećanja njihove ekonomičnosti i prevazilaženja razlika izmedju alata od brzoreznih čelika i alata od tvrdog metala.

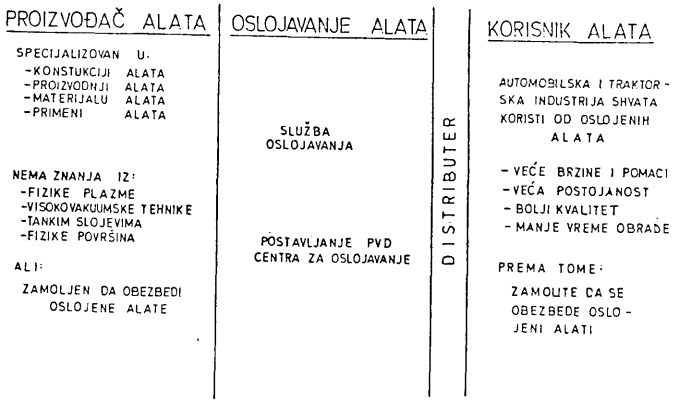
U poslednjih 20 godina postignut je veliki napredak u razvoju novih materijala za alate, novih konstrukcija alata, termičkoj obradi i optimizaciji procesa obrade. Prelomni trenutak u razvoju alata je nastupio uvodjenjem alata za obradu rezanjem od tvrdih metalnih karbida. Zahvaljujući ovim alatima povećane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

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

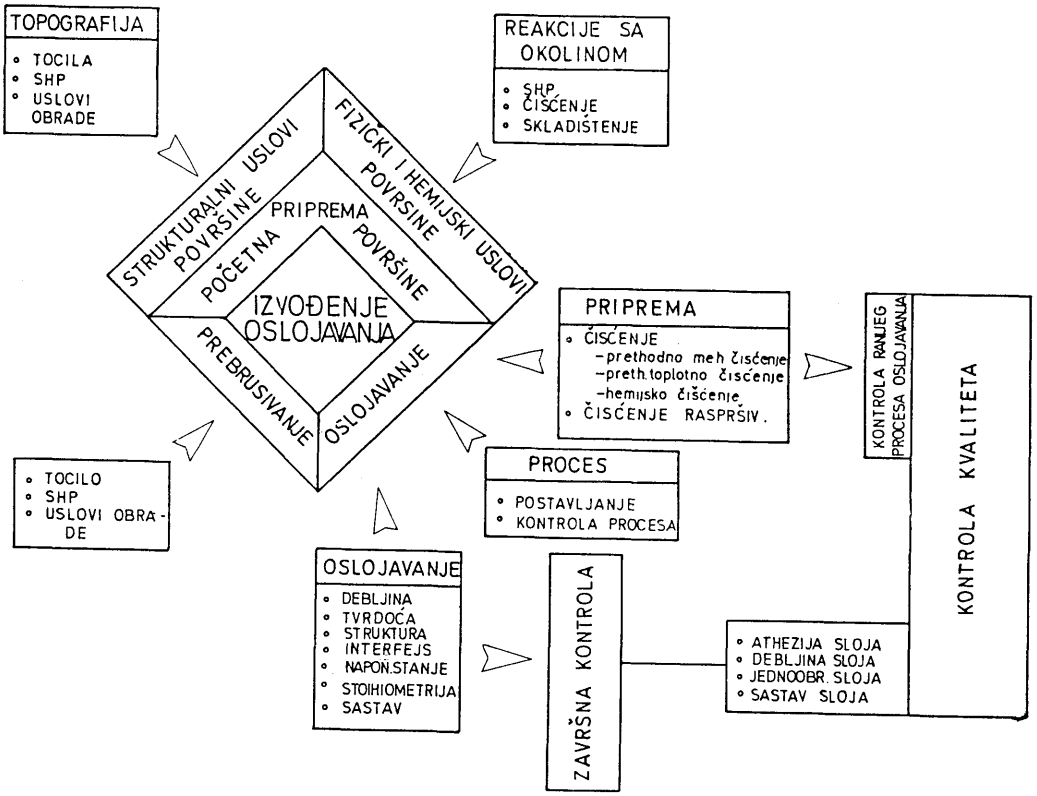
Već godinama poznata metoda oslojavanja tvrdog metala CVD postupkom (Chemical Vapor Deposition) nija bila pogodna za alate od brzoreznog čelika zbog visoke temperature od cca 1000°C koja je dovodila do pada tvrdoće alata i velike deformacije složenih alata za obradu rezanjem kao što je odvalno glodalo. Zbog toga se koristi nanošenje fizičkim uparivanjem (PVD) pri niskoj temperaturi, što ne zahteva naknadno tretiranje toplotom i na taj način sprečava deformacije alata.

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

Na osnovu analize veze svih učesnika obuhvaćenih u poslove oslanjanja alata (sl. 6) sagledava se potreba za



Sl. 6. - Veza svih učesnika obuhvaćenih u poslove oslojavanja alata i njihove veštine



Sl. 7. - Uticajni parametri na oslojavanje alata

informisanjem proizvodjača alata o veoma specifičnim dodatnim zahtevima oslojavanja njegovih alata sa svojstvima otpornim na habanje (sl. 7) /5/.

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

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

U cilju razjašnjenja mogućnosti primene oslojenih odvalnih glodala u industriji treba izvršiti eksperimentalna ispitivanja oslojenih i neoslojenih alata u laboratorijskim i u proizvodnim uslovima. U ovom radu iznosi se deo rezultata tih istraživanja izvedenih u laboratorijskim, odnosno modelskim uslovima.

Unapredjenje procesa odvalnog glodanja značajno je i korisno kako za proizvodjače zupčanika tako i za proizvodjače odvalnih glodala. Zbog komplikovanosti procesa, visoke vrednosti zupčanika, a osobito alata, istraživanja podloga za optimizaciju procesa odvalnog glodanja zahtevaju znatna finansijska sredstva i značajne napore istraživača.

Iako se većina spoljnjeg cilindričnog ozubljenja obradjuje postupkom odvalnog glodanja, do sada nismo imali pouzdanih vrednosti parametara rezanja. Ovakve vrednosti koje bi omogućile uvrštavanje ove obrade u rad informacionog centra za režime rezanja je od velikog ekonomskog značaja. Da bi se za postupak obrade ozubljenja moglo vršiti automatizirano odabiranje optimalnih parametara rezanja potrebno je izvršiti identifikaciju triboloških procesa, tj. opisati proces habanja alata (sl. 8) /6/.

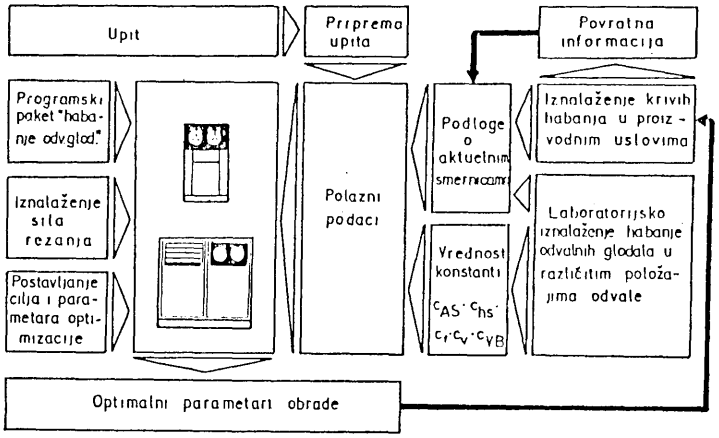
Pri definisanju postojanosti odvalnog glodanja neophodno je izvesti dugotrajna eksperimentalna ispitivanja, koji zahtevaju znatna sredstva i napore, a izuzetno teško ih je sprovesti u realnom procesu proizvodnje. Zbog toga, treba laboratorijska ispitivanja odvalnog glodanja izvesti jednozubim alatom. Radi korišćenja dobijenih rezultata neophodno je znati vezu izmedju postojanosti jednozubog i integralnog odvalnog glodala.

Na sl. 9. dato je poredjenje odvalnog glodanja jednozubim alatom i aksijalnog odvalnog glodanja integralnim alatom.

Na osnovu literaturnih i sopstvenih istraživanja /7/ izabrani su režimi rezanja sa kojima se obezbedjuje zahtevana tačnost i kvalitet obradjene površine, postižu najpovoljniji ekonomski efekti i ravnomernije habanje alata, ako bi se obrada izvodila integralnim odvalnim glodalom.

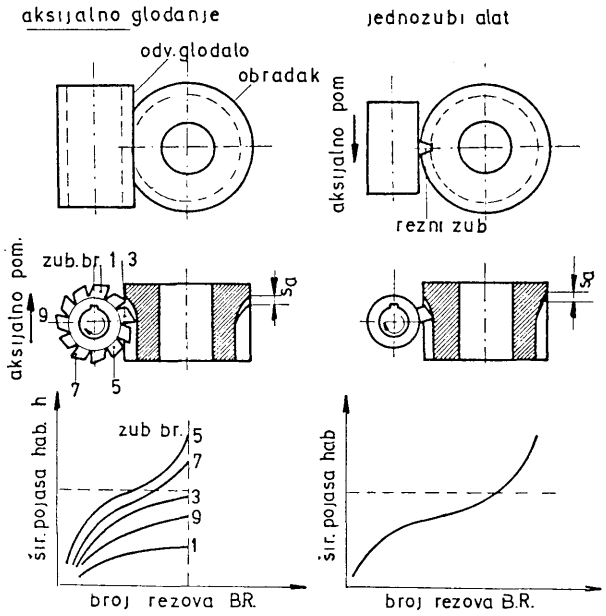
Ispitivanja su izvedena u laboratorijama Instituta za proizvodno mašinstvo, Fakulteta tehničkih nauka pri sledećim uslovima:

- Obradak: cilindrični zupčanik sa pravim zubima
  - modul $m_n = 3$
  - broj zuba $z_2 = 45$
  - dužina venca zupčanika $l_v = 54$ (mm)
  - ugao dodirnice $\alpha = 20^o$
  - materijal obratka Č.4721
- Alat: jednozubo odvalno glodalo /7/, kao model integralnog odvalnog glodala:
  - prečnik odvalnog glodala $d_g = 125$ (mm)
  - broj hodova $z_1 = 1$
  - broj žljebova koji se modelira $n_i = 12$
  - osnovni materijal alata Č.7680
  - oslojeni zub 8-79
  - neoslojeni zub 9-79
- Mašina: Odvalna glodalica MODUL-ZFWZ-250x5A proizvodjača VE.STARKSTROM-Anlogeubau, Karl.Marx-Stadt, DDR
  - sredstvo za hladjenje i podmazivanje: emulzija 12%-CLEARTEX D
  - režim rezanja: v=98,125 (m/min), s_d=2,0 (mm/ob) i $a_p = 0,63$ (mm).

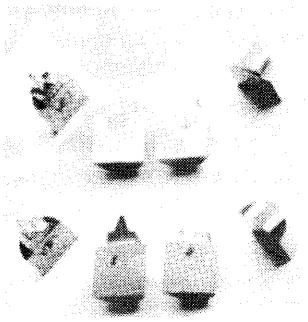


Sl. 8. - Automatizirano odredjivanje optimalnih parametara obrade kod odvalnog glodanja

10
1078-1088



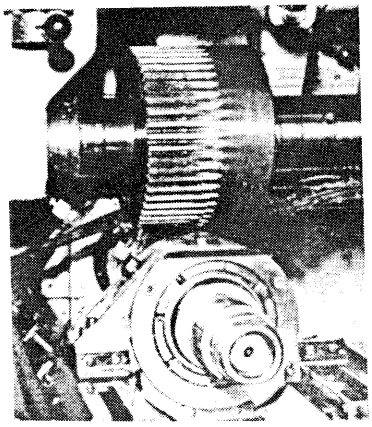
Sl. 9. - Poredjenje odvalnog glodanja jednozubim alatom i aksijalnog odvalnog glodanja integralnim alatom



Sl. 10. - Oslojeni i neoslojeni zubi modelskog alata

Ispitivanja su obohvatila odredjivanje krivih habanja oslojenih i neoslojenih reznih elemenata i snimanje topografije reznih elemenata alata i zuba obradjenih zupčanika. Merenje širine pojasa habanja na ledjnoj površini vršeno je na univerzalnom mikroskopu. Pri svakom merenju vršeno je fotografisanje, pomoću fotografskog aparata, adaptiranog na alatnom mikroskopu; temene ledjne površine, ulaznog i izlaznog bočnog sečiva i grudne površine.

Topografija jednozubih alata i obradjenih zuba zupčanika izvršena je na Form Talysurf-Taylor Hobson instrumentu. Ovaj instrument koristi se za odredjivanje oblika, dimenzija i strukture površine merenog predmeta. Sistem obuhvata traverse unit jedinicu u kojoj se nalazi dvoosni inteferometrijski transduktorski laser za praćenje merne igle. Ova jedinica omogućuje veliki opseg kretanja igle,



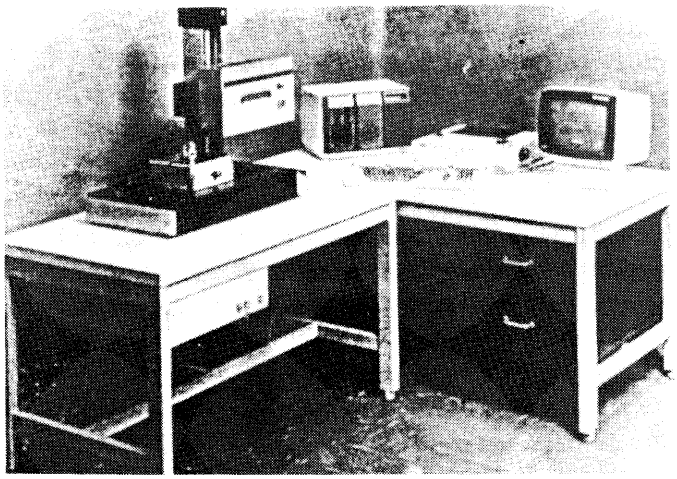
Sl. 11. - Obrada medjuzublja zupčanika jednozubim odvalnim glodalom

potreban za odredjivanje vertikalnih i horizontalnih podataka nekog prostornog oblika mernog predmeta.

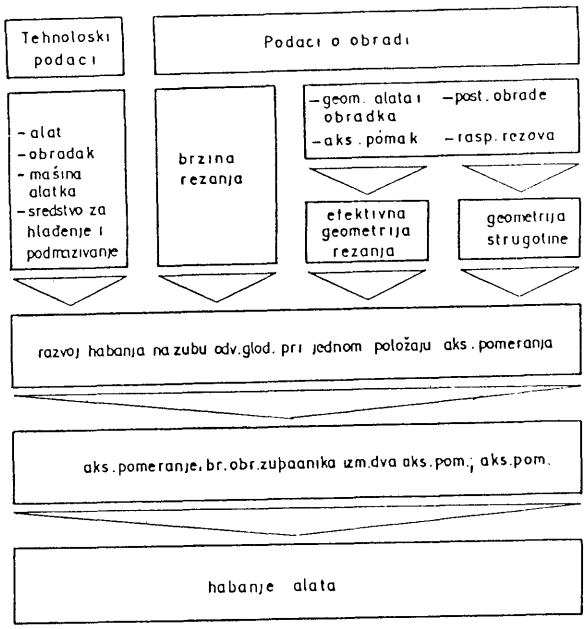
Sistem upravljanja i obrada podataka odvija se preko računara, koji obezbedjuje programsko upravljanje sa instrumentom kao i očitavanje i obradu prikupljenih podataka. Izlazni rezultati su vizuelni prikaz profila, numeričkih podataka i strukture površine. Dobijeni rezultati mogu se odštampati na matričnom štampaču istovremenim pritiskom na tastaturi dugmeta CMD i PRINT.

Ekonomičnost obrade skidanjem strugotine zavisi pre svega od karaktera habanja alata. Višebrojnost veličina i njihovo naizmenično dejstvo veoma otežavaju istraživanje procesa habanja. Detaljna analiza najvažnijih uticajnih parametara može poslužiti kao osnova za sagledavanje puteva povećanja ekonomičnosti obrade odvalnim glodanjem.

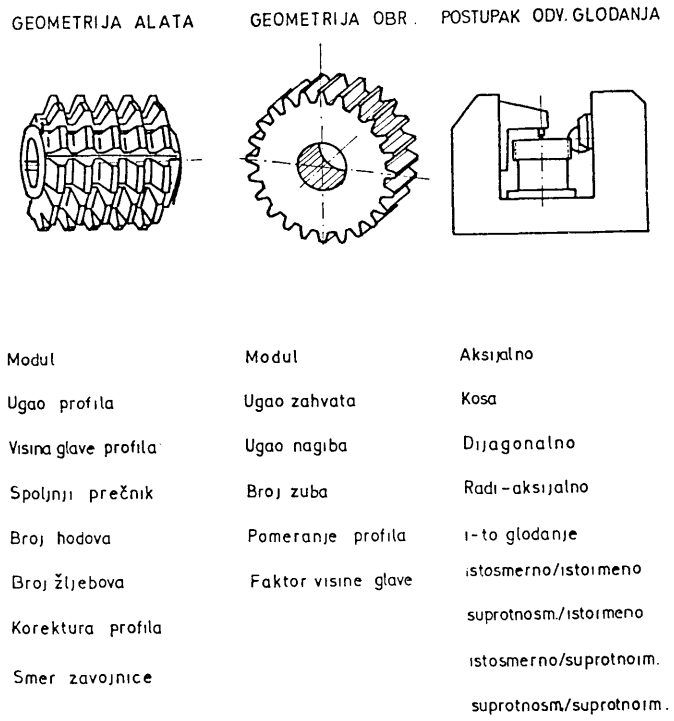
Habanje jednog zuba odvalnog glodala zavisi od veličine aksijalnog pomeranja i broja tih pomeranja. Razvoj habanja na pojedinom zubu odvalnog glodala zavisi takodje od kombinacije materijala alata i obradka, mašine i pri-



Sl. 12.-Sistem FORM TALYSUFR-Taylor Hobson za analizu topografije površina



Sl. 13. - Uticajni parametri na proces habanja odvalnog glodala



Sl. 14. -Geometrija alata, geometrija obradka i postupci glodanja koji utiču na habanje odvalnog glodala

menjenog sredstva za hladjenje i podmazivanje, a sa druge strane zavisi od parametara obrade prikazanih na sl. 13. Na ovoj slici u gornjem levom uglu dati su tehnološki podaci o alatu, obradku, priboru i mašini alatki. Geometrije alata, geometrije obradka i postupci odvalnog glodala prikazani su na sl. 14. i oni utiču na proces habanja alata.

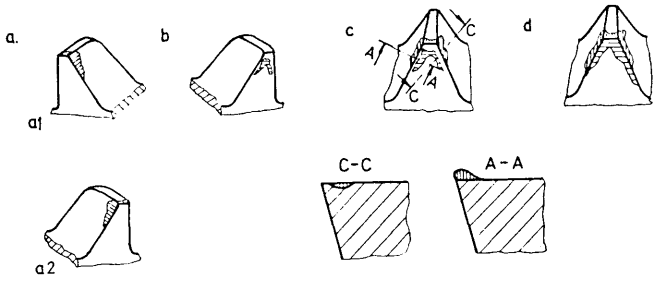
Većina od ovih parametara su promenive veličine sa širokim rasponom vrednosti što je odredjeno komplikovanim procesom obrade kao i složenom geometrijom alata i obradka /6,7/.

Proces habanja prostire se na sve rezne elemente odvalnog glodala. Medjutim, nemaju procesi habanja na svim radnim elementima odvalnog glodala jednak značaj. Najveći značaj i presudni uticaj imaju primarni ili dominantni procesi habanja. Od njih upravo zavisi rezna sposobnost odvalnog glodala, jer je uticaj sekundarnih procesa habanja vrlo mali ili beznačajan.

Proces habanja zuba odvalnog glodala manifestuje se u vidu zona habanja. Zone habanja, koje su posledica procesa habanja odvalnog glodala, razlikuju se po obliku i po lokaciji, jer se javljaju u dva osnovna vida, kao pojas habanja na ledjnoj i kao krater na grudnoj površini zuba odvalnog glodala (sl. 15).

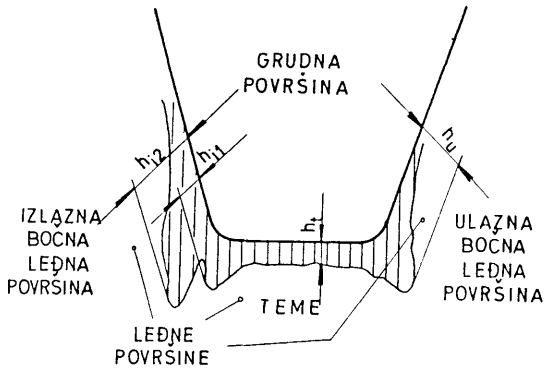
Kada će i koja zona biti primarna zavisi od brojnih tehnoloških uslova: vrste i karakteristika materijala obradka, postupka odvalnog glodanja, brzine rezanja, pomaka, modula i dr.

Ledjna površina, kao što je već napomenuto, haba se po ulaznom bočnom ledjnom sečivu, temenom ledjnom sečivu i izlaznom bočnom ledjnom sečivu. Na temenom sečivu javlja se pojas habanja u približno pravougaonom obliku (h_t, sl. 16).

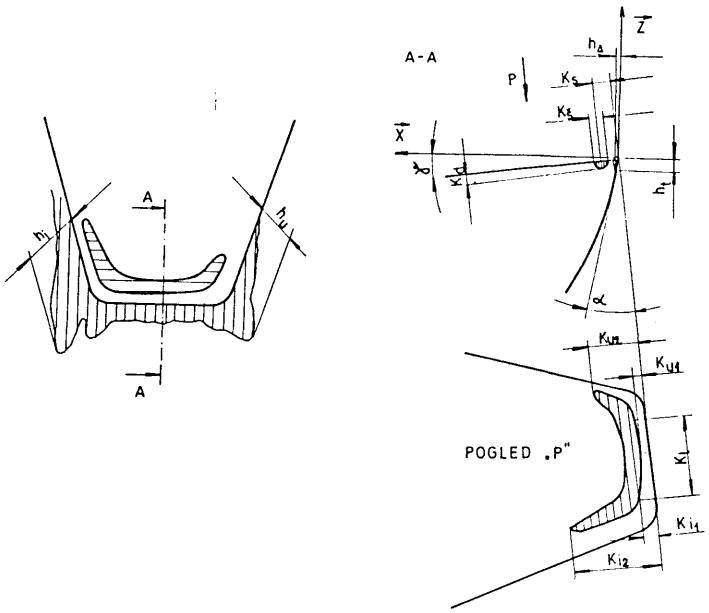


Sl. 15. - Oblik i položaj zona (pojasa i kratera) habanja na zubu odvalnog glodala

Brojna sistematska sopstvena eksperimentalna istraživanja otkrila su tzv. koncentrisano habanje čije su eksperimentalne osnove izložene u /7,9/. Morfologija ledjnog pojasa habanja karakteriše se pojavom najčešće dva žljeba na izlaznoj bočnoj ledjnoj površini i jednim žljebom na ulaznoj bočnoj ledjnoj površini. Dužina ovih žljebova h_{il} je promenljiva. Žljebovi su locirani, kod zuba odvalnog glodala, u zonama prelaza temene ledjne površine u izlaznu bočnu ledjnu površinu i ulaznu bočnu ledjnu površinu.



Sl. 16. - Osnovni oblici ledjnog pojasa habanja



Sl. 17.-Definicija parametara zona habanja (pojasa i kratera) na zubu odvalnog glodala

Sem od ledjnog pojasa habanja postojanost habanja odvalnog glodala zavisi, pri odredjenim tehnološkim uslovima obrade (onim pri kojima se pojavljuje krater) i od stanja druge zone habanja (kratera) na grudnoj površini zuba odvalnog glodala. Nastanak i razvoj kratera s vremenom rezanja objašnjava se mehanizmom difuzionog habanja, dok se pojava uske površine na grudnoj površini koja razdvaja ledjni pojas i krater (sl. 15c) ili njeno odsustvo (sl. 15d) tumači fenomenom naslage.

Neko tekuće stanje pohabanosti odvalnog glodala opisuje se parametrima habanja ili karakteristikama habanja.

U tribologiji rezanja postoje tri vrste parametara habanja, a to su /8/:

- linijski parametri habanja h_i,
- zapreminski parametri habanja V_i,
- maseni parametri habanja M_i.

Parametri habanja predstavljaju linijske,zapreminske ili masene karakteristikepohabanih površina ili zona habanja (pojasa habanja, kratera i dr.) na zubu odvalnog glodala.

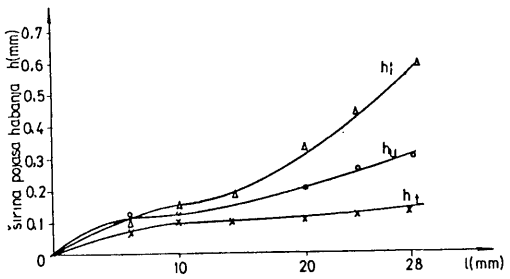
Dva su osnovna zahteva koja mora da zadovolji neka veličina da bi se mogla označiti kao parametar habanja. Prvi je da na dovoljno pouzdan način odražava objektivni proces habanja odvalnog glodala u prostoru i vremenu, tj. da u praktično zadovoljavajućoj meri kvantifikuje habanja datog alata i, drugi, da se predmetni parametar habanja može na brz, lak i tačan način izmeriti (odrediti).

Primeri linijskih parametara habanja, koji definišu oblik i položaj zone habanja (ledjnih pojaseva i kratera) na zubu odvalnog glodala, pokazani su na sl. 17. Ima nekoliko osnovnih razloga kvantifikovanja habanja odvalnog glodala (njegovih zona) linijskim parametrima habanja, a to su:

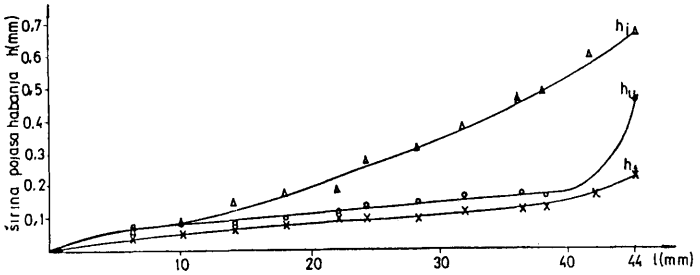
- mogućnost utvrdjivanja normi zatupljenja i potrošnje odvalnih glodala,
- lakoća merenja,
- direktna povezanost sa kvalitetom konformnosti i
- mogućnost korišćenja u adaptivno upravljanim procesima odvalnog glodanja.

Proizvodna praksa je pokazala da se na osnovu linijskih parametara habanja mogu postaviti, sa dovoljnom praktičnom sigurnošću, norme zatupljenja odvalnih glodala. Za navedene linijske parametre postoje efikasni metodi (tehnike) merenja. Kvalitet konformnosti (i njegove karakteristike) direktno je povezan sa linijskim parametrima habanja, a u novije vreme razvijeno je više konstrukcija adaptivno upravljanih sistema na bazi identifikacije linijskih parametara /8/.

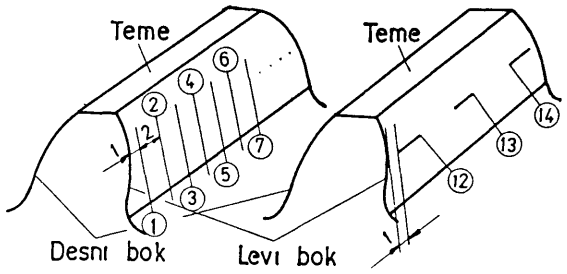
Prema planu izvodjenja eksperimenata vršeno je snimanje (fotografisanje) i merenje parametara habanja na



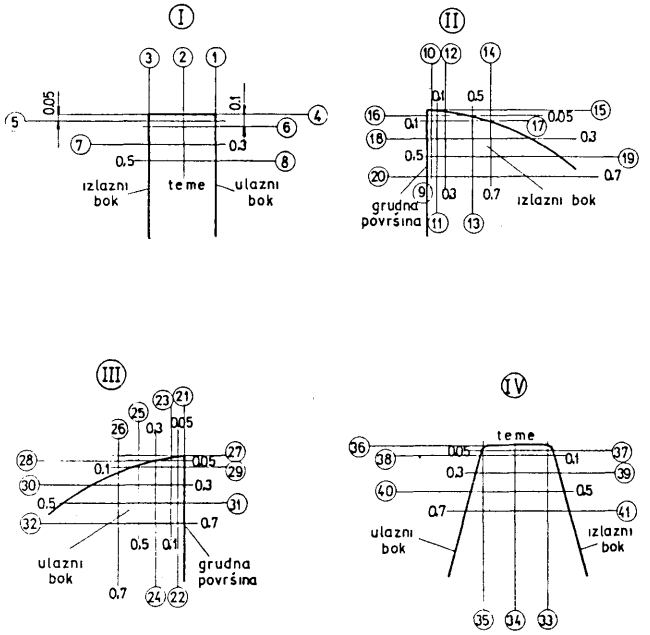
Sl. 18.-Razvoj procesa habanja za alat 9-79



Sl. 19.-Razvoj procesa habanja za alat 8-79



Sl. 21. - Metodologija snimanja topografije obradjenih zubaca zupčanika



Sl. 20. - Metodologija snimanja topografije jednozubih odvalnih glodala

oslojenim i neoslojenim jednozubim alatima.Na sl.20 prikazan je razvoj procesa habanja na jednozubom neoslonjenom alatu 9-79, a na sl. 19 prikazan je razvoj procesa habanja na oslonjenom alatu 7-79.

Pri eksperimentalnim istraživanjima razvoj procesa habanja praćen je do trenutka postizanja vrednosti parametara habanja izlaznog boka h_i = 0,6 mm.

Jedan od ciljeva ovog rada bio je i uspostavljanje, odnosno odredjivanje veze izmedju hrapavosti i stepena pohabanosti reznih elemenata odvalnih glodala. Da bi prethodno mogli ostvariti bilo je neophodno da se izvrši topografija jednozubih odvalnih glodala. Snimanje topografije analiziranih alata izvršeno je na najsavremenijem uredjaju (sl. 12). Prema planu eksperimenta ovo snimanje je izvršeno za svaki jednozubi alat u 41 pravcu (sl. 20). Na obradjenim zupčanicima izvršeno je snimanje topografije prema metodologiji prikazanoj na sl.21. Topografija je snimana po levom i desnom boku zupca, po evolventi, a takodje i duž samog zupca.

Pre početka izvodjenja eksperimenta snimana je topografija novih oslojenih i neoslojenih jednozubih alata.

Snimanje topografije alata vršeno je onda kada je parametar habanja dostigao orijentaciono vrednost 0,1 mm, 0,3 mm i 0,6 mm.

Pri analizi dobijenih krivih razvoja procesa habanja dolazi se do zaključka da je povećanje postojanosti oslojenih jednozubih alata 63,6%, a objašnjenje nalazimo u činjenici da je prionljivost sloja na grudnoj površini bila slaba u konkretnom slučaju.

Dosadašnja iskustva pokazuju da postojanost alata varira, jer nije moguće postići konstantno optimalnu prionljivost sloja. Oko 80% alata poseduje dobru prionljivost, a kod 20% dolazi do ljuštenja sloja što uzrokuje smanjenje postojanosti. Prednosti ovih alata su do sada korišćene samo u pravcu povećanja postojanosti. U ovim istraživanjima načinjeni su i jedni od prvih koraka povećanja režima rezanja, tj. brzine rezanja. Planira se kompleksno povećanje režima rezanja, što će se odraziti u značajnom povećanju kapaciteta.

Na osnovu dosadašnjih iskustava proizilaze i zahtevi koje korisnici odvalnih glodala postavljaju pred proizvodjače istih i naučne ustanove:

- obezbediti ravnomernu postojanost odvalnih glodala preko ravnomerne prionljivosti sloja.

Dalje povećanje ekonomičnosti obrade ozubljenja može se očekivati istraživanjima na području:

- Razvoja boljih tvrdih slojeva
- Nanošenjem više različitih slojeva različitih osobina, kao što se to radi kod TM
- Optimizacija geometrije i režima rezanja.

Sem uporednih ispitivanja značajno mesto u ovom radu zauzima odredjivanje topografije jednozubih alata i zubaca zupčanika. Na osnovu prezentiranih rezultata može

se odrediti veza izmedju hrapavosti zubaca zupčanika i pohabanosti njenih elemenata odvalnog glodala. Prikazan rezultati do kojih se došlo u toku ovih sistematskih istraživanja poslužiće u daljoj identifikaciji triboloških procesa pri odvalnom glodanju.

ZAKLJUČAK

Uporednim ispitivanjima neoslojenih i oslojenih jednozubih alata pri povišenim režimima obrade i koristeći emulziju 12% kao sredstvo za hladjenje i podmazivanje dobijeno je: poboljšanje kvaliteta površine obradka i veća postojanost.

Dobijene krive relativne noseće dužine mogu da posluže kao osnova za uporedjenje površina trenja u promenljivim uslovima rezanja.

LITERATURA

/1/ IVKOVIĆ, B.: Tribologija rezanja, Gradjevinska knjiga, Beograd, 1979.

/2/ OVUMJAN, G.G., EHERSKIJ, B.E., HUKRIJ, A.S.: Povišenje proizvoditelnosti i kačestva čistovogo zubonarezanija, Mašinostroenije, Moskva, 1979.

/3/ POLZER, G., MEISSNER, F.: Grundlagen zu Reibung und Verschleiss, VEB, Leipzig, 1980.

/4/ JEREMIĆ, M.B. Prilog izučavanju uticaja dinamičkog opterećenja na proces trenja i tribološkim sistemima, Doktorska disertacija, Kragujevac, april, 1987.

/5/ BRINK, R.: Manufacturing aspects for coated tools, BALZERS, LTD, FL-9486 Balzers.

/6/ BOUZAKISK, D.K.: Koncept und technologische Grunlagen zur automatisieren Erstellung optimaler Bearbeitungsdaten beim Wälzfräsen, VDI-Verlag GmbH Düsseldorf, Nr. 42, 1980.

/7/ SOVILJ, B.: Optimizacija geometrijskih parametara odvalnog glodala, Magistarski rad, Novi Sad,1980.

/8/ STANIĆ, J.: Teorija obrade metala I, Mašinski fakultet, Beograd, 1986.

/9/ BANJAC, D., SOVILJ, B. i dr.: Tehnoekonomska optimizacija elemenata tehnologije mašinske obrade, Elaborat, Novi Sad, 1980.

/10/BOBROV, V.F.: Osnovi teorii rezanija metallov, Mašinostroenie, Moskva, 1975.

/11/NAVINŠEK, B.: Tvrde zaštitne prevlake i povećanje življenske dobe orodij, Zbornik posvetovanja, Bled, 1985.

/12/KELLY W.P.: Gear cutting with TiN-coated tools, American machinist, 1982.

Deset godina časopisa TRIBOLOGIJA U INDUSTRIJI

Prvi broj časopisa "TRIBOLOGIJA U INDUSTRIJI" izašao je u proleće 1978. god. u dubokoj štampi sa koricama u boji. Časopis je počeo da izlazi kvartalno i takav je ostao do danas. Pojavio se u vreme kada se tribologija kao nauka i tehnologija već širila kao "divlja vatra" kroz industrijski svet. Namera redakcije je bila da na stručnom i naučnom nivou upoznaje jugoslovensku javnost sa mogućnostima rešavanja industrijskih problema primenom triboloških znanja, da stvori prostor za afirmaciju domaćih istraživačkih napora u oblasti tribologije i da upoznaje domaću stručnu javnost sa delom novosti iz sveta tribologije.

Časopis je od početka bio prihvaćen u dovoljnoj meri da bi opstao na tržištu uz pomoć odgovarajućih društvenih institucija i fondova. Danas je to publikacija koja se nalazi u bibliotekama većine srednjih i većih radnih organizacija, fakulteta i viših škola u zemlji a broj pretplatnika iz sveta zadržava se na konstantnom nivou.

Prikaz radova objavljenih u časopisu "TRIBOLOGIJA U INDUSTRIJI" vrše odgovarajuće odelenje Sovjetske akademije nauka i Poljski časopis "TRIBOLOGIJA".

Redakcija se nada da je časopis "TRIBOLOGIJA U INDUSTRIJI" doprineo širenju triboloških znanja u našem prostoru i da će moći da nastavi svoju delatnost i u narednim godinama.

UDK 621.9.025.004.62

R. PANTIĆ

Tribološke karakteristike okretnih pločica sa prevlakom TiN

UVOD

Postupak depozicije reznih alata tankim površinskim slojevima tvrdim prevlakama spada u savremene tehnološke postupke. Smatra se, da u oblasti novih tehnologija možda najznačajnije mesto pripada tehnologiji novih materijala i području tehnologije depozicije tankih površinskih slojeva na alatima i mašinskim elementima. Osnova za razvoj novih tehnologija je činjenica da u prirodi ne postoji "super-materijal" koji može zadovoljiti sve tehnološke zahteve savremene proizvodnje.

Radi povećanja tribo-mehaničkih osobina na kontaktnim površinama osnovnih materijala nanose se (deponiraju) posebnim postupcima i tretmanima slojevi materijala čije tribološke osobine višestruko nadmašuju osobine osnovnih materijala (supstrata).

Efikasnost prevlaka zavisi od fizičko-hemijskih osobina materijala prevlake (debljina, gustina, čvrstoća na graničnom sloju, termohemijskih i strukturnih osobina...). Neke od navedenih osobina uslovljene su postupkom depozicije.

Složene zavisnosti uticaja parametara koje odredjuju kvalitet prevlaka zahtevaju i zadiru u fundamentalna istraživanja iz oblasti fizičke hemije, fizike čestica gradnje i strukture atoma. Danas postoji veliki broj razvijenih i primenjenih postupaka depozicije materijala. Prema stepenu primene u oblasti alata najzastupljeniji su CVD (Chemichal Vapor Deposition) i PVD (Physical Vapor Deposition) postupci.

CVD postupci ranijeg su datuma (30-tih godina ovoga veka) od PVD postupaka koji su za industrijsku primenu razvijeni i usavršeni početkom 1980. godine.

Oba navedena postupka spadaju u grupu plazma tehnologija.

Osnovne razlike /6/, i uslovi primene, danas PVD postupke kao novije opredeljuju u većem stepenu u oblasti tehnologije izrade alata posebno sa osnovom od brzoreznih čelika, kao i svih kontaktnih parova sa posebnim uslovima primene (hemijski aktivne sredine) i povećanim tribo-mehaničkim osobinama. Osnov koji PVD postupke depozicije čini primenljivim u oblasti tehnologije izrade alata i mašinskih elemenata sa povećanim tribološkim efektima je niža temperatura depozicije 473 ÷ 773K u odnosu na CVD postupke kod kojih je temperatura depozicije oko 1273K.

Najsavremenijom opremom za PVD postupke na površini supstrata deponuju se različite prevlake (TiN, TiCN, TiAlN, TiC, ZrN, HfN), kao i više slojne (sendvič) prevlake različitih kombinacija.

Osnovni uslov za primenu PVD postupka depozicije je da je temperatura otpuštanja supstrata (osnove) viša od temperature depozicije. Najnovija postrojenja i uredjaji omogućuju depoziciju PVD postupkom na alatima i mašinskim elementima do dimenzija (d x l), 450x2500 mm.

Svi PVD postupci su vakumski postupci depozicije koji imaju zajedničke osobine /7/:

- prevodjenje materijala koji se deponuje na supstrat iz čvrstog u gasovito (parno) stanje pomoću jedne od pogodnih tehnika;
- transport materijala od mete (supstrata) uz aktivaciju kako reaktivnog tako i nosećeg gasa i samog materijala;
- deponovanje materijala na supstratu na kome se odigravaju termohemijske (površinske) reakcije pri mnogo nižim temperaturama usled povećane energije interagujućih čestica.

Svi PVD postupci koji se danas koriste u industrijske svrhe za dobijanje tvrdih prevlaka mogu se u osnovi klasificirati prema načinu prevodjenja materijala mete iz čvrstog u parno (gasovito) stanje:

- PVD postupci na principu usparavanja materijala mete;

PVD postupci na principu raspršivanja atoma sa površine mete.

Najnovija postrojenja /6/ za industrijske primene omogućuju formiranje tvrdih prevlaka na površini supstrata od 1 ÷ 100 μm.

Efikasnost tvrdih prevlaka na kontaktnim parovima tretirana je u mnogobrojnim radovima, posebno prevlaka CVD postupka depozicije na reznim alatima od tvrdog metala (najzastupljenija oblast).

U ovom radu dat je prikaz rezultata ispitivanja efikasnosti prevlaka TiN, PVD depozicijom na reznim alatima od tvrdog metala. Matematičko modeliranje ispitivanih zavisnosti izvedeno je primenom savremene teorije višefaktornih planova eksperimenata i matematičke statistike.

Zbog obimnosti u radu su prikazani samo uporedni parametri funkcija obradivosti bez tehnoekonomske analize obradnog procesa.

EFIKASNOST OKRETNIH PLOČICA SA DEPOZICIJOM TITAN NITRIDA (TiN) U PROIZVODNIM USLOVIMA

Postupak deponiranja (prevlačenje) alata spada u novu savremenu tehnologiju. Smatra se, da u oblasti novih tehnologija izrade alata najznačajnije mesto pripada tehnologiji novih materijala, u okviru koje je najznačajnije područje formiranja tankih površinskih slojeva (prevlaka) na funkcionalnim površinama reznih alata i mašinskih elemenata.

Osnova za razvoj novih tehnologija u oblasti alata je činjenica nepostojanja "super materijala" koji može vrlo efikasno zadovoljiti sve tehnološke potrebe savremene proizvodnje, već se moraju kombinovati osobine osnovnog alatnog materijala i osobine materijala kao površinske prevlake.

Radi povećanja tribo-mehaničkih osobina kontaktnog para reznog alata i obratka kao elemenata obradnog sistema, posebnim postupcima i tretmanima na površine reznih alata nanose se (deponiraju) tanki površinski slojevi od materijala i elemenata čije rezne osobine višestruko nadmašuju osobine osnovnog materijala.

Efikasnost površinskih prevlaka zavisi od velikog broja faktora, pri čemu se kao najznačajniji /9/, /10/, /11/, mogu smatrati: vrsta materijala prevlake, debljina, gustina (zrnoća) prevlake, čvrstoća na graničnom sloju sa osnovnim materijalom, vrsta materijala i mehaničke osobine osnove, kao i od postupka deponiranja. Složene zavisnosti uticaja velikog broja parametara koji odredjuju kvalitet i efikasnost prevlaka na reznim alatima zadiru u fundamentalna istraživanja fizike čvrstog stanja kao i gradnje i strukture atoma /9/.

Danas postoji veliki broj razvijenih i primenjenih postupaka nanošenja prevlaka /1/, /2/. Prema stepenu primene u oblasti alata najzastupljeniji su CVD (Chemichal Vapor Deposition) i PVD (Physical Vapor Deposition) postupci.

CVD postupci su razvijeni znatno ranije od PVD postupaka depozicije koji su razvijeni i usavršeni za širu industrijsku primenu početkom 80-tih godina.

Oba navedena postupka depozicije spadaju u grupu plazma tehnologija. Osnovne razlike /9/, /10/ i uslovi primene, danas opredeljuju PVD postupke u većem stepenu u oblasti tehnologije izrade alata, posebno izradjenih sa osnovom od brzoreznih čelika. U tehnologiji i postupku izrade okretnih reznih pločica sa osnovom od tvrdog metala, CVD postupci čine danas osnovu kod svih vodećih proizvodjača u svetu pri izradi jednoslojnih i višeslojnih prevlaka. Uvodjenje PVD postupaka depozicije titan-nitrida (TiN) u postupku izrade reznih pločica sa osnovom tvrdog metala ili brzoreznog čelika novijeg je datuma u ovoj oblasti. Pri PVD postupcima znatno niži su energetski bilansi, tako da su i temperature procesa znatno niže nego kod depozicija CVD postupaka, usled čega pri PVD postupcima ne dolazi do strukturalnih niti geomerijskih promena alata. U zavisnosti od vrste alata, najčešće pri PVD postupku depozicije sa TiN debljina prevlake se kreće u granicama od 2 - 5 μm.

EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA OKRETNIH PLOČICA

U okviru rada izvršena su obimna uporedna ispitivanja okretnih ploča od tvrdog metala ISO geometrije, kvaliteta P25 sa depozicijom titan - nitrida (TiN), PVD postupkom. Ispitivanja su realizovana u proizvodnim uslovima u IHP "Prva Petoletka", Trstenik, OOUR "Hidraulika" na opraciji strugarske obrade.

Mašina: NC strug SL-4 "Mori Seiki" (Japan);

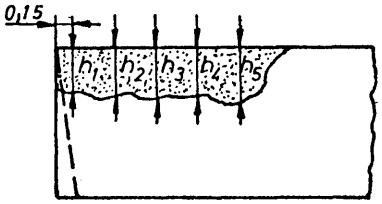
Materijal: Č.1530, poboljšan, $\sigma_m = 70^{+10}$ daN/mm^2 bez kore;

Rezni alat: Okretne pločice ISO geometrije SNMM 120408 P25 sa TiN, tvrdi metal tretiran na izostatičkoj presi (HIP), SNMM 120408 P25 bez TiN (HIP) TPMR 160308 P25 sa TiN (HIP). Depozicija sa TiN izvedena je u Institutu "Jožef Štefan" - Ljubljana.

Držač: PSBNR 2525 M12 - "Sintal", CTGPR 2525 M16 - "PP - Courn .

Merna instrumentacija: Alatni mikroskop "Karl-Zeiss" - Jena, sa podelom od 0,01. Instrument za merenje hrapavosti "Surtronic 3P", "Taylor-Hobson".

Merni parametri: Srednja vrednost širine pojasa habanja $h_{si} = \frac{1}{n} \sum_{i}^{5} h_i$ po ledjnoj površini, sl. 1 vreme rezanja T_i, parametar kvaliteta obrade R_a, meren u četiri tačke $Ra_{si} = \frac{1}{4} \sum_{1}^{4} Ra_i$.



Sl. 1. - Merna mesta pojasa habanja

Sva ispitivanja izvedena su korišćenjem sredstava za hladjenje i podmazivanje (SHP, SOL 40E, koncentracija 6%, viskozitet 4,2 - 4,5°E pri temperaturi 323 /K/.

PLANIRANJE EKSPERIMENTA I MATEMATIČKA OBRADA PODATAKA

Planiranje eksperimenata za uporedna ispitivanja mernih veličina: postojanost alata T, parametar habanja h_i i kvaliteta obrade Ra, vršena su po konceptu /12/, /13/,/14/, višefaktornog plana eksperimenta (Box - Vilson) tipa $2^k + n_o$, prema planu matricama: Tabela-1, Tabela-2, Tabela-3 za odgovarajuće nivoe (-1; 0; +1) režima obrade (V, s, δ).

Redosled izvodjenja pojedinih eksperimenata iz T-1; T-2; T-3, odredjen je pomoću tablice slučajnih brojeva /14/.

Na osnovu rezultata merenja postojanosti T datih u planu matricama odredjene su razlike medijana (ΔMe) za svaki faktor (X_i), ($X_i X_j$), ($X_i X_j X_k$) i to za oba kodirana nivoa (+1), (-1), jer medijana (Me) predstavlja parametar koji najbolje reprezentuje centar rasturanja rezultata merenja. Selekcija ispitivanja signifikantnosti (značajnosti) parametara procesa vršena je na osnovu razlike medijana (ΔMe) i na osnovu računskih vrednosti dejstava B_i, B_{ij}, B_{ijk}, Tabela - 4.

Rang dejstva ulaza na f-ciju $Y = lnT$ dat je na sl. 2 (a,b,c).

Za navedene uslove ispitivanja grafički je dat prikaz uporednih krivih habanja, sl. 3 (a,b,c), sl. 5 (a) u sistemu h-T, kao i uporedne krive parametara kvaliteta obrade u sistemu h-T, kao i uporedne krive parametara kv-

TABELA -1.

Redni broj eksperimenta	ULAZNI HIPER PROSTOR										IZLAZNI HIPER PROSTOR	
	prirodne promene / nivoi		V [m/min]	S [mm/o]	δ [mm]	Višefaktorni plan $2^k + n_o$, $k = 3$, $n_o = 4$					Pločica: SNMM 120408 P25 deponirana sa TiN, TM tretiran na izostatičkoj presi	
	gornji (+1)		154	0,392	4						Prirodne vrednosti	Kodirane vrednosti
	srednji (0)		124	0,249	2							
	donji (-1)		100	0,142	1							
	kodirane prom. / redos. izvođenja	X_0	X_1	X_2	X_3	$X_1 X_2$	$X_1 X_3$	$X_2 X_3$	$X_1 X_2 X_3$		T [min]	$\bar{Y} = lnT$
1	4	+1	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1		48,43	3,88012
2	5	+1	0	0	0	0	0	0	0		34,85	3,55105
3	6	+1	+1	-1	+1	+1	+1	-1	-1		27,93	3,32970
4	7	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1		35,15	3,55962
5	9	+1	0	0	0	0	0	0	0		37,1	3,613612
6	2	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1		34,01	3,52665
7	1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1		13,85	2,62829
8	5	+1	+1	+1	+1	+1	-1	-1	-1		21,15	3,05164
9	12	+1	0	0	0	0	0	0	0		35,53	3,57319
10	6	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1		42,01	3,73791
11	8	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1		54,96	4,00661
12	10	+1	0	0	0	0	0	0	0		34,72	3,54732

TABELA - 2.

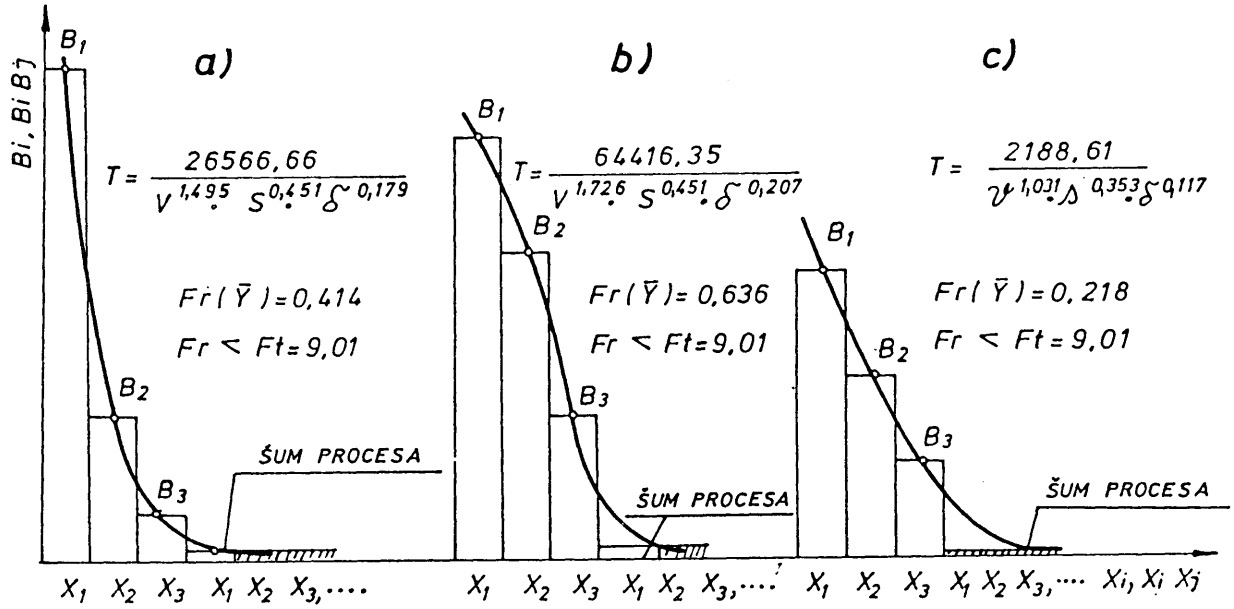
ULAZNI HIPER PROSTOR										IZLAZNI HIPER PROSTOR	
prirodne promen. / nivoi		V [m/min]	S [mm/o]	δ [mm]	Viscfaktorni plan $2^k + n_0$, $k = 3$, $n_0 = 4$					Pločica: SNMM 120408 P25 bez TiN, TM tretiran na izostatičkoj presi	
gornji (+1)		154	0,392	4						Prirodne vrednosti	Kodirane vrednosti
srednji (0)		124	0,249	2							
donji (-1)		100	0,142	1							
Redni broj eksperimanta / kodirane prom. / redos. izvođenja	X_0	X_1	X_2	X_3	X_1X_2	X_1X_3	X_2X_3	$X_1X_2X_3$		T [min]	$\bar{Y} = \ln T$
1	4	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	37,96	3,63653
2	11	+1	0	0	0	0	0	0	0	23,29	3,14802
3	3	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	21,8	3,08191
4	7	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	26,44	3,27488
5	9	+1	0	0	0	0	0	0	0	24,42	3,19540
6	2	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	25,11	3,22327
7	1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	8,14	2,09679
8	5	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	14,40	2,66723
9	12	+1	0	0	0	0	0	0	0	23,13	3,14113
10	6	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	32,24	3,47321
11	8	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	43,44	3,77136
12	10	+1	0	0	0	0	0	0	0	23,13	3,14113

TABELA - 3.

ULAZNI HIPER PROSTOR										IZLAZNI HIPER PROSTOR	
prirodne promene / nivoi		V [m/min]	S [mm/o]	δ [mm]	Višefaktorni plan $2^k + n_0$, $k = 3$, $n_0 = 4$					Pločica TPMR 160308 P25 deponirana sa TiN, TM tretiran na izostatičkoj presi	
gornji (+1)		154	0,285	3						Prirodne vrednosti	Kodirane vrednosti
srednj (0)		124	0,196	1,55							
donji (-1)		100	0,124	0,8							
Redni broj eksperimenta / kodirane prom. / redos. izvođenja	X_0	X_1	X_2	X_3	X_1X_2	X_1X_3	X_2X_3	$X_1X_2X_3$		T [min]	$\bar{Y} = \ln T$
1	4	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	34,6	3,54385
2	11	+1	0	0	0	0	0	0	0	26,1	3,26194
3	3	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	23,1	3,13983
4	7	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	27,1	3,29953
5	9	+1	0	0	0	0	0	0	0	25,3	3,23080
6	2	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	27,35	3,30872
7	1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	15,57	2,74535
8	5	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	19,56	2,97349
9	12	+1	0	0	0	0	0	0	0	25,53	3,23985
10	6	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	30,98	3,43334
11	8	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	38,56	3,65222
12	10	+1	0	0	0	0	0	0	0	24,52	3,19949

TABELA - 4.

SNMM 120408 P25 (HIP) sa TiN		SNMM 120408 P25 (HIP) bez TiN		TPMR 160308 P25 (HIP) sa TiN	
IZDVOJENI EFEKTI Bi	VREDNOST EFEKATA	IZDVOJENI EFEKTI Bi	VREDNOST EFEKATA	IZDVOJENI EFEKTI Bi	VREDNOST EFEKATA
B_1 (X_1)	20,332	B_1 (X_1)	17,06	B_1 (X_1)	11,54
B_2 (X_2)	5,931	B_2 (X_2)	12,463	B_2 (X_2)	7,475
B_3 (X_3)	1,897	B_3 (X_3)	5,847	B_3 (X_3)	3,895
$B_{123}(X_1 X_2 X_3)$	0,426	$B_{123}(X_1 X_2 X_3)$	0,5075	$B_{123}(X_1 X_2 X_3)$	0,08



Sl. 2. - Rang dejstva ulaza na F-ciju $\bar{Y}$ = InT (za = 0,05 i k_1 = 8) - a) SNMM 120408 P25, depozicija sa TiN, TM tretiran na izostatičkoj presi (HIP); b) SNMM 120408 P25. bez TiN, TM tretiran na izostatičkoj presi (HIP); c) TPMR 160308 P25, depozicija sa TiN, TM tretiran na izostatičkoj presi (HIP)

aliteta obrade u sistemu Ra - h, Ra - T, sl. 4(a,b), Sl. 5(b,c).

Matematičko modeliranje zavisnosti $T = f(V,S,\delta)$ se na osnovu kodiranog oblika stepene funkcije:

$$Y_i = b_o + b_1X_1+b_2X_2+b_3X_3 + b_{12}X_1X_2+b_{13}X_1X_3+b_{23}X_2X_3 + b_{123}X_1X_2X_3 , \quad (1)$$

Koeficijenti regresije b_o, b_{ij}, b_{ijk} iz (1) odredjeni su /12/, na osnovu izmerenih eksperimentalnih vrednosti (T-1, T-2, T-3), ili u matričnom obliku izraza za odredjivanje koeficijenata regresije iz (1) je:

$$\{b\} = \{X' X\}^{-1} \cdot \{X\} \cdot \{Y\} \quad (2)$$

$\{X\}$ - ortogonalni plan matrice iz T-1, T-2, T-3

$\{X'\}$ - transponovana matrica

$\{X' X\}^{-1}$ - inverzna matrica proizvoda

$\{Y\}$ - matrica kolone iz tabela T-1, T-2, T-3.

Prelaskom sa kodiranih na prirodne koordinate pomoću jednačina krivolinijske transformacije /12/, dobijeni su traženi matematički modeli, stepene funkcije postojanosti u konačnom obliku:

- Za SNMM 120408 P25, TiN (HIP) prema T-1:

$$T = 26566,66 \cdot V^{-1,495} \cdot \bar{S}^{0,451} \cdot \delta^{-0,179} \quad (3)$$

- Za SNMM 120408 P25 (HIP) prema T-2:

$$T = 64416,35 \cdot V^{-1,726} \cdot S^{-0,451} \cdot \delta^{-0,207} \quad (4)$$

- Za TPMR 160308 P25, TiN (HIP) prema T-3;

$$T = 2188,61 \cdot V^{-1,031} \cdot S^{-0,353} \cdot \delta^{-0,117} \quad (5)$$

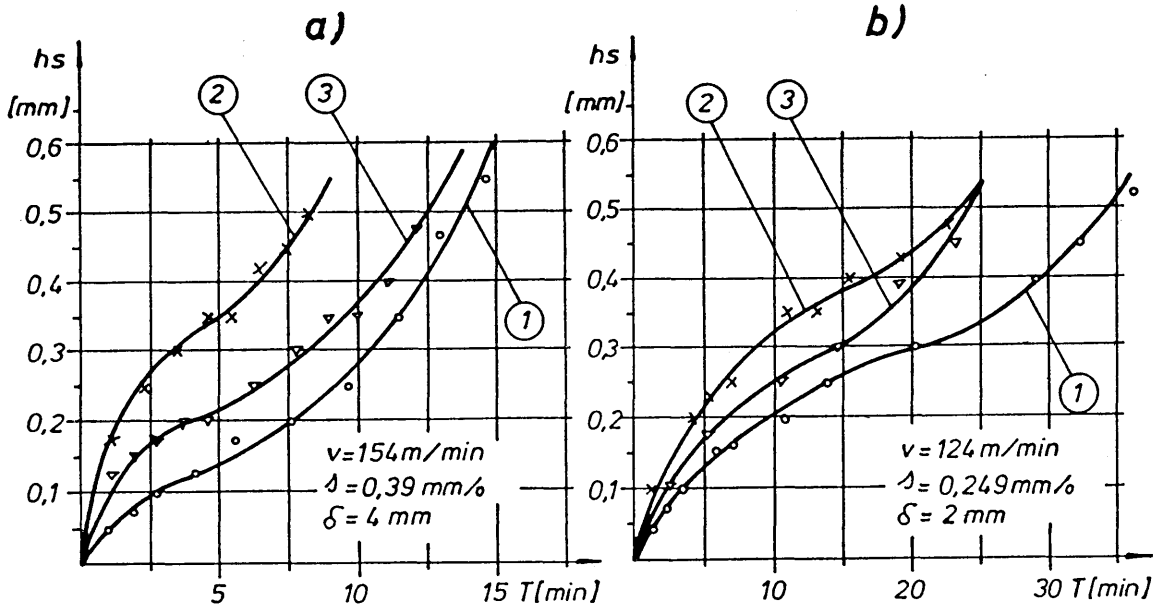


TABELA - 5.

F-je postojanost T=f(V,S,)	Eksperimenti	Širina intervala pouzdanosti
Izraz (1)	1,3,4,6,7,8,1o,11 (T-1)	$\ln\bar{T} = \bar{y} \pm$ o,18671
	2,5,9,12 (T-1)	$\ln\bar{T} = \bar{y} \pm$ o,1126
Izraz (2)	1,3,4,6,7,8,1o,11 (T-2)	$\ln\bar{T} = \bar{y} \pm$ o,31
	2,5.9,12 (T-2)	$\ln\bar{T} = \bar{y} \pm$ o,135
Izraz (3)	1,3,4,6,7,8,1o,11 (T-3)	$\ln\bar{T} = \bar{y} \pm$ o,1256
	2,5,9,12 (T-3)	$\ln\bar{T} = \bar{y} \pm$ o,o53

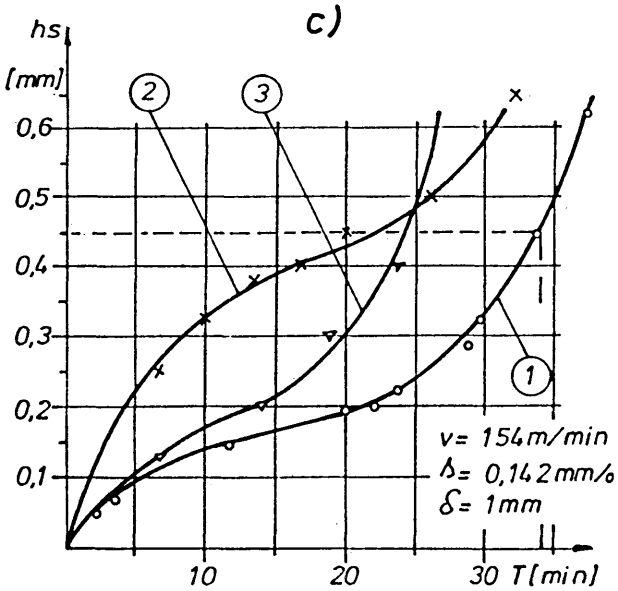
Ocena adekvatnosti modela (3), (4), (5) izvršena je primenom statistike Fišera (*Fr*) /14/, pri čemu su dobijene sledeće računske vrednosti:

$$Fr_{(3)} = 0,414;\ Fr_{(4)} = 0,636;\ Fr_{(5)} = 0,218$$

Kako je za usvojeni nivo značajnosti $\alpha = 0,05$ i stepene slobode $fm = fr - fe = 5$ za $fe = 3$; teoretska vrednost $Ft = 9,01$; $Fr_{(3)}$, $Fr_{(4)}$, $Fr_{(5)}$, $Ft = 9,01$, sledi da su stepene funkcije (matematički modeli) (3), (4) i (5) visoko adekvatni i da sa dovoljnom tačnošću reprezentuju eksperimentalni hiper prostor.

Ocena tačnosti matematičkog modela (1), tj. zakonitosti (3), (4) i (5) izvršena je po teoriji disperzione analize, pri čemu su granice grešaka odnosno intervali pouzdanosti dati u tabeli 5.

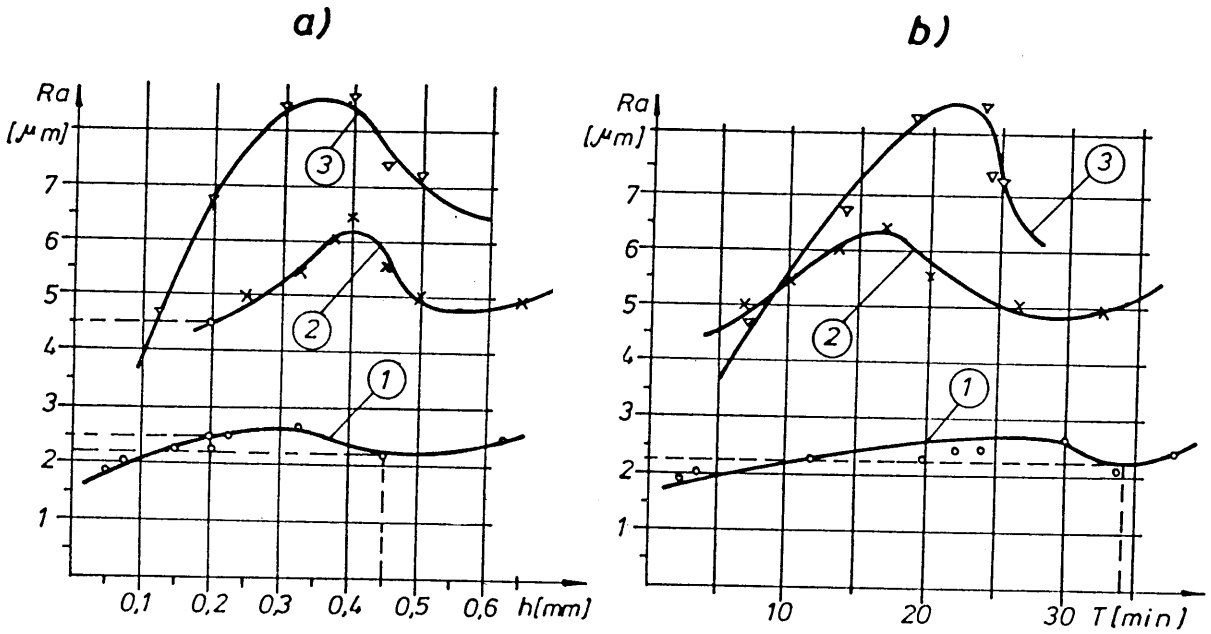
Rasponi intervala posmatrano u apsolutnim merama mali su osim za izraz (2) kod eksperimenata 1,3,4,6,7, 8,10,11 pri ispitivanju izmenljive pločice SNMM 120408



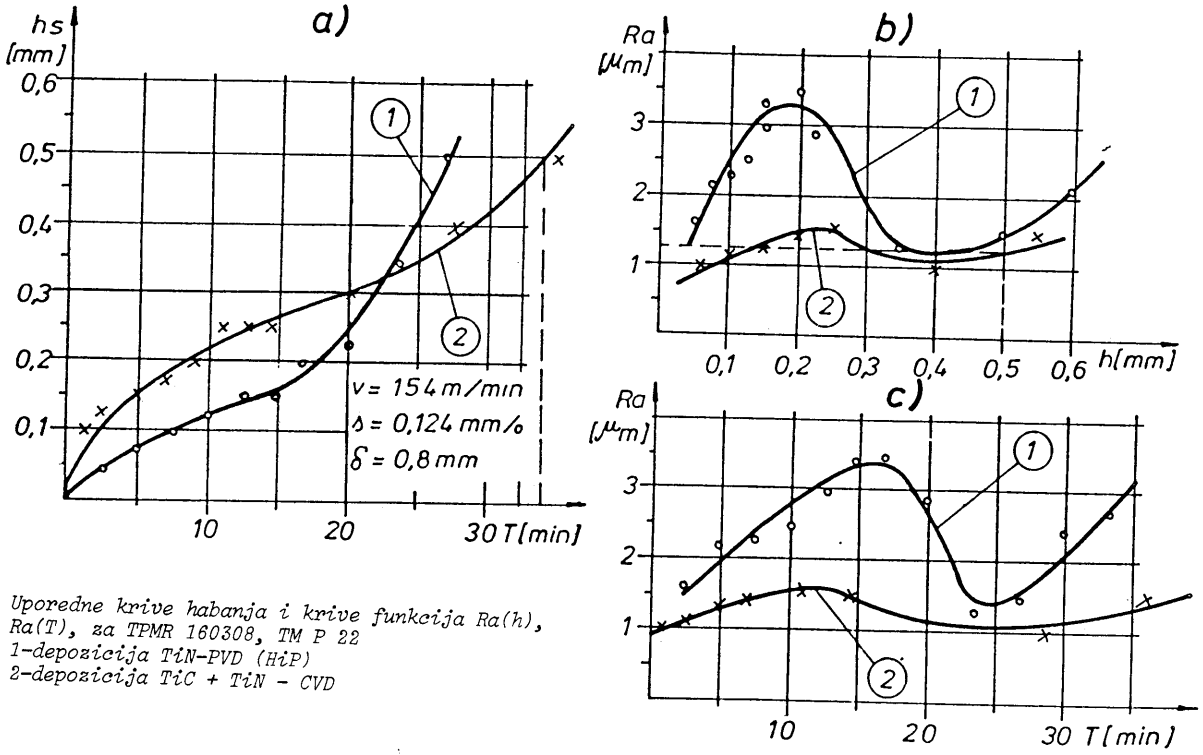
Sl. 3. - Uporedne krive habanja rezne pločice: SNMM 120408 P 25
1-depozicija TiN, TM tretiran na izostatičkoj presi, (HiP)
2-bez TiN, TM tretiran na izostat.presi; (HiP)
3-bez TiN, TM samo sinterovan

P25 bez TiN. Jedan od razloga je relativno slab kvalitet i neujednačenosti strukture materijala obratka. Kako su svi eksperimenti izvedeni u stvarnim proizvodnim uslovima svi dobijeni rezultati mogu se uzeti dosta pouzdano kao osnova u postupku tehno-ekonomske analize i optimizacije obradnih procesa sa ispitivanim elementima obradnog procesa.

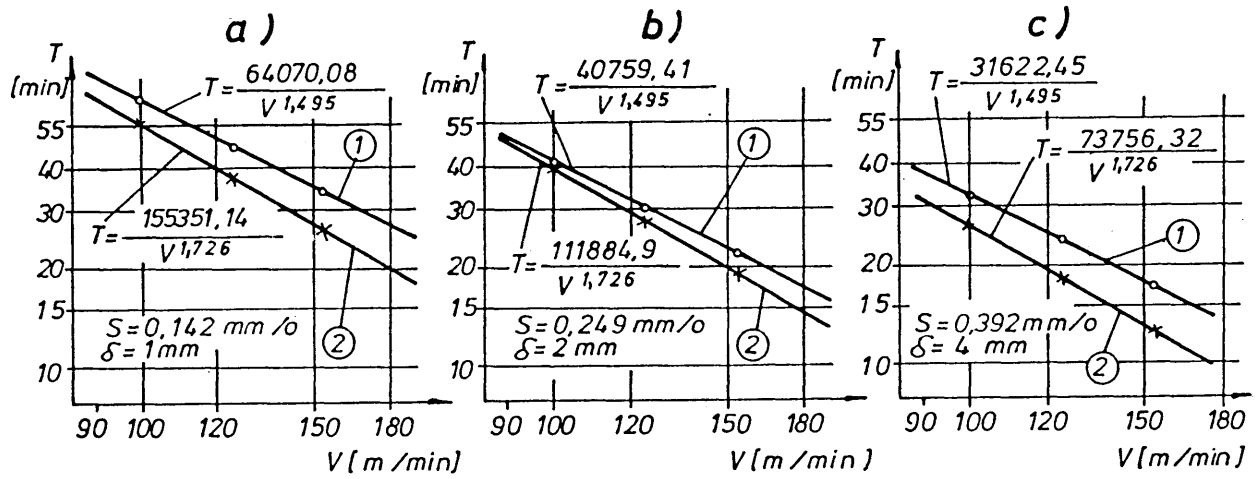
Uobičajena prezentacija T-V uporednih krivih u logaritamskom sistemu za ispitivane izmenljive pločice SNMM 120408 sa i bez depozicije data je na sl. 6(a,b,c).



Sl. 4. - Eksperimentalne krive funkcija Ra(h),Ra(T) za SNMM120408 P 25
1-Depozicija TiN, TM tretiran na izostatičkoj presi (HiP)
2-bez Tin, TM " "
3-bez TiN, TM samo sinterovan



Sl. 5. - Uporedne krive habanja i krive funkcija Ra(h), Ra(T), za TPMR 160308, TM P 22
1-depozicija TiN-PVD (HiP)
2-depozicija TiC + TiN - CVD



Sl. 6. - F-cije T = f(V) za SNMM 120408 P25

1 - depozicija sa TiN, TM tretiran na izostatičkoj presi (HIP)
2 - bez TiN, TM tretiran na izostatičkoj presi (HIP)

ZAKLJUČAK

- Kvalitet tvrdog metala uslovljen je kontrolom velikog broja parametara u tehnološkom procesu izrade;
- Izostatičkim presovanjem na povišenim temperaturama znatno se poboljšava kvalitet tvrdog metala pa su rezni alati u obradi znatno veće pouzdanosti i postojanosti;
- Depozicijom titan nitrida PVD postupkom na alatima tvrdog metala u znatnoj meri povećavaju se njihova rezna svojstva, posebno na alatima namenjenim za operacije završne obrade;
- Dobijeni matematički modeli u saglasnosti su sa rezultatima eksperimentalnih ispitivanja i isti se mogu uzeti kao polazna osnova u postupku tehno-ekonomske analize i optimizacije obradnih procesa sa ispitivanim elementima;
- Posebno, ispitivanja ove vrste treba nastaviti radi kvantifikacije efekata ove vrste procesa: postojanost alata, kvalitet obrade uporednim ispitivanjima PVD i CVD postupka depozicije na alatima od tvrdog metala.

LITERATURA

/1/ Istraživanje i razvoj reznih pločica od tvrdog metala, Institut za alatne mašine i alate (IAMA), Beograd, izveštaj br. 604/80.

/2/ N. ROMANOVA, P.Č. HCKULAEV; V. DUSEV, T. LIFSHITZ, M. KURDOV; Sinterovani metalni karbidi.

/3/ B.I.M. TRETJAKOV: Osnovi metallovedenija u tehnologii proizvodstva spečenih tverdih splavov, "Metalurgija", 1976.

/4/ V.P. BANDARENKO, I. ARONIN, V.S. MENDELSON: Proektirovanie press-form dlja izdelij iz tverdih splavov. izdateljstvo "Naukova dumka", 1983.

/5/ Dr M. JOVIČIĆ, Mr B. KRŠLJAK: Osnovi konstrukcije alata i pribora, Naučna knjiga, Beograd.

/6/ P.J. JAMES: Isostatic Pressing Technology Editet by.

/7/ PAUL POPPER: British Cermic Research Association, Stoke-on-Trent, England.

/8/ Dokumentacija RO "Tvrdi metala", OOUR "Metalurgija praha", "Prvi partizan", Titovo Užice.