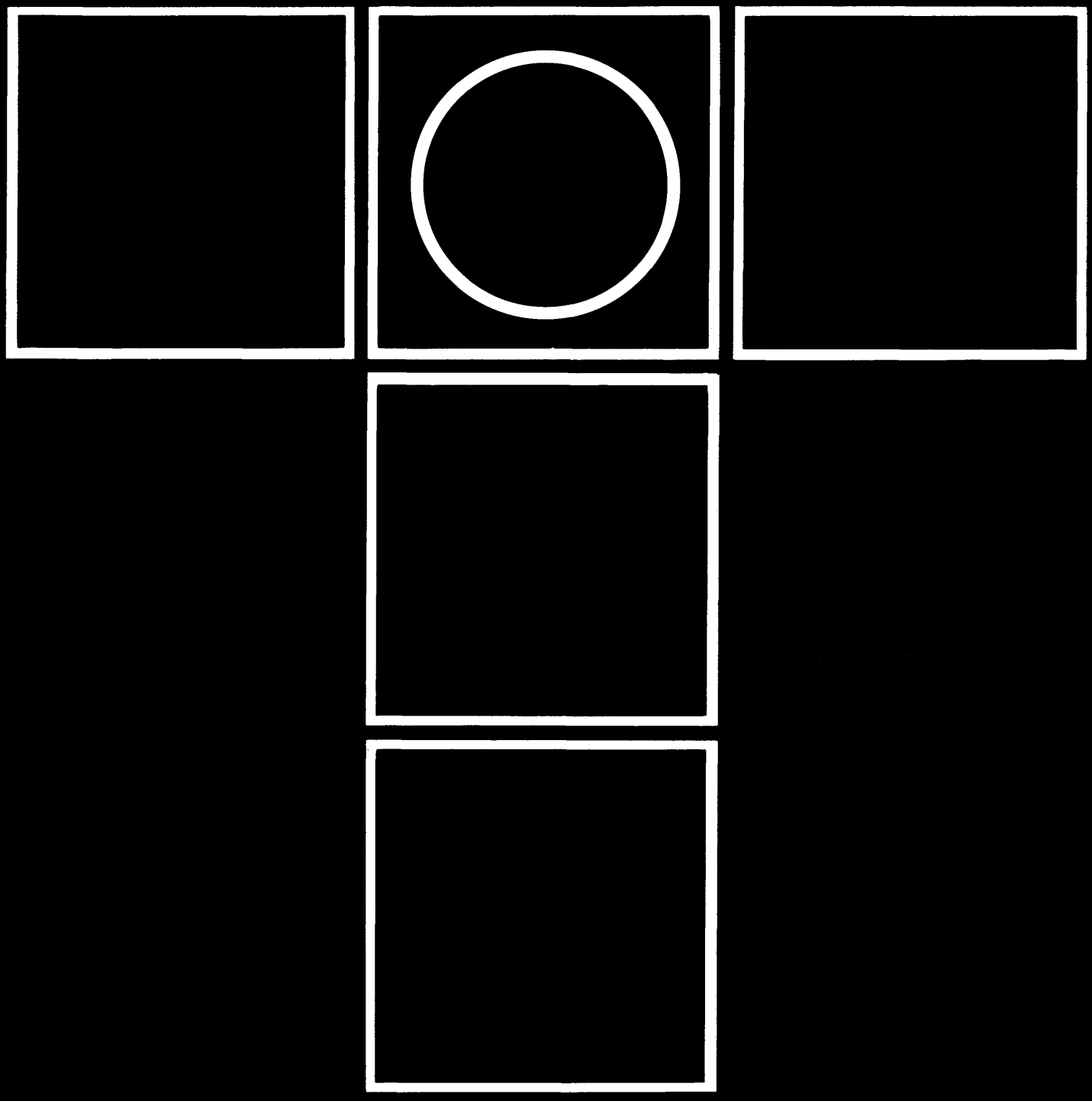
tribologija u industriji

YU ISSN 03551-1642
GODINA IX
SEPTEMBAR '87.
3



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

YU ISSN—0351—1642

GODINA IX
BROJ 3
SEPTEMBAR 1987.

tribologija u industriji

sadržaj contents содержание

UVODNIK
INTRODUCTION
ПЕРЕДОВИЦА

B. IVKOVIĆ: Tribološki informacioni sistem - The tribology information system - Трибологическая информационная система 67

ISTRAŽIVANJA
RESEARCH
ИССЛЕДОВАНИЯ

R. M. MATVEJEVSKI: Metod ocene temperaturske postojanosti sredstava za podmazivanje - The method for determination of temperature stability of lubricants - Метод оценки температурной стойкости смазочных материалов 69

B. JEREMIĆ: Proces trenja pri dinamičkom opterećenju tribomehaničkog sistema - The friction process in dynamically loaded tribomechanical systems - Процес трения при динамической нагрузке трибомеханическоя системы 76

LJU VEY - SIN DŽAN KE: Dinamičko ispitivanje deformacije zuba zupčanika primenom radio-mernog sistema - Dynamic investigation of theeth deformation in tooth gears with application a radio trenemitter for remote measurement - Динамические исследования деформации зубьев зубчатых передач с применением радиотелеизмерительной системы 82

ZA NEPOSREDNU PRAKSU
FOR DIRECT PRACTICE
ДЛЯ НЕПОСРЕДСТВЕННУЮ ПРАКТИКУ

M. BABIĆ: Savremeni postupci modifikovanja površina (III) 87

KNJIGE I ČASOPISI
BOOKS AND JOURNALS
КНИГИ И ЖУРНАЛЫ 93

NAUČNI SKUPOVI
SCIENTIFIC MEETINGS
НАУЧНЫЕ СОБРАНИЯ 94

REZIMEA
ABSTRACTS
РЕЗЮМЕ 95

M. NEDELJKOVIĆ

Tehnička dijagnostika u funkciji efikasnosti i produktivnosti

Pouzdanost i trajnost su kvalitativni pokazatelji svih tehničkih objekata koji direktno uslovljavaju njihovu proizvodnost i ekonomičnost. Pouzdanost predstavlja sposobnost tehničkog objekta da izvršava zadatu funkciju u odredjenim uslovima za odredjeni period vremena. Vremensku sliku radne sposobnosti sredstava za proizvodnju, tehnoloških linija i mašinskih sistema karakterišu pokazatelji pouzdanosti: srednje vreme u radu i otkazu, zakon raspodele pojave otkaza, intenzitet otkaza i operativna gotovost tih sistema.

Smanjivanjem broja i vremena trajanja otkaza povećava se srednje vreme stanja sistema u radu, povećava se operativna gotovost i proizvodnost, stvaraju se uslovi za veći stepen vremenskog iskorišćenja tehnoloških linija. Za praćenje proizvodnih linija po stanju neophodno je stvoriti SISTEM TEHNIČKE DIJAGNOSTIKE.

Tehnička dijagnostika predstavlja skup znanja i stručnu disciplinu koja obuhvata teoriju i metode organizacije procesa dijagnosticiranja, a takodje i principe stvaranja sredstava za dijagnosticiranje radnog stanja celog objekta dijagnosticitranja ili odredjenih substruktura toga objekta. Tehnička dijagnostika obuhvata tri tipa zadataka koji odredjuju stanje radne sposobnosti tehničkih objekata.

Prvi tip zadataka se odnosi na prognoziranje stanja objekta za budući odredjeni trenutak vremena. Ovaj tip zadataka se može nazvati *dijagnostička prognoza*. Drugu vrstu zadataka predstavljaju zadaci kojim se postavlja dijagnoza radne ispravnosti *u datom trenutku*. Poznavajući sadašnje stanje radne ispravnosti objekta, a ocenom intenziteta opadanja radne sposobnosti za izvršavanje radne funkcije ili neke funkcije nižeg nivoa, mogu se predvideti buduća stanja. To omogućuje blagovremenu pripremu za otklanjanje pojave iznenadnih otkaza. Treću vrstu zadataka, koji se mogu rešavati metodom tehničke dijagnostike, predstavljaju istraživanja prethodnih stanja objekta koji mogu biti uzrokom nekog avarijnog otkaza. Ovaj kompleks zadataka se može nazvati *tehničkom genetikom*. Rešavanjem skupa ovih zadataka dobija se jasna slika o ranijem, trenutnom i verovatnom budućem stanju objekta u njegovoj evoluciji stanja pri izvršavanju radne funkcije po odredjenom radnom algoritmu.

Svaki tehnički objekat, postrojenje, tehnološka linija ili mašinski sistem egzistira u dve oblasti: u oblasti njegove proizvodnje i u oblasti njegove eksploatacije. U svakoj oblasti objekat mora da zadovolji odredjene tehničke zahteve i provera sposobnosti objekta da ispunjava te zahteve rešava se ili epizodnom ili kontinualnom dijagnostikom stanja i sposobnosti objekta da ispunjava te zahteve pod odredjenim uslovima.

Fipzdna dijagnoza se vrši u trenutku *provere ispravnosti* objekta kada se na probnom stolu vrši prijmena kontrola pod odredjenim uslovima i po odredjenom algoritmu dijagnoze. Ovim se otkrivaju nedostaci funkcionisanja pojedinih podsistema (podmazivanje, zaptivanje, zagrevanje, udari, buka i dr. zavisno od objekta), greške montaže i izrade.

U oblasti eksploatacije radi profilaktike objekta vrši se *provera radne sposobnosti* objekta, koja može biti neotkrivene neispravnosti koje ne ometaju eksploataciju objekta po njegovoj nameni.

Treći oblik praćenja stanja objekta je *provera pravilnosti funkcionisanja* u zadatim dozvoljenim odstupanjima. Tako na primer, proverom geometrijske i radne tačnosti alatne mašine u toku eksploatacije može se utvrditi da neke mašine ne zadovoljavaju pri obradi tačnost oblika obradka. To tada indicira potrebu istraživanja uzroka u habanju vodjica, ležišta vretena, zagrevanju i dr. U slučaju ovakve provere treba znati pri kom režimu rada objekat ne izvršava pravilno datu funkciju.

Sledeću veoma važnu grupu zadataka tehničke dijagnostike čini *pretraživanje neispravnosti* radi utvrdjivanja

mesta i uzroka pojave neispravnosti ili otkaza. Analognim pokazivanjem da je temperatura rashladne tečnosti u motoru sa unutrašnjim sagorevanjem visoka još ostaje neutvrdjeno uzrok i mesto povećanja temperature (nivo tečnosti, hladnjak pumpa, kaiš ventilatora i dr.).

Sva stanja tehničkog objekta, stanje u radu i otkazu, stanja neispravnosti čine skup S njegovih tehničkih stanja. Sve prethodno navedene provere predstavljaju parcijalne slučajeve ukupne dijagnostike tehničkog stanja objekta.

Radi utvrdjivanja stanja i otkrivanja uzroka tehničkog stanja, neispravnosti i otkaza treba utvrditi dubinu pretraživanja, odnosno *dubinu dijagnoze stanja*. Od stepena širine i dubine dijagnosticiranja zavise i metode i sredstva za dijagnosticiranje. Ovaj proces dijagnosticiranja se ostvaruje tako što se na objekat deluje odredjenim ulaznim veličinama, a mere se i analiziraju izlazni signali. Izlazi iz objekta se mere i analiziraju tehničkim sredstvima dijagnosticiranja (primer: provera rada pumpi sa obradom podataka merenja na računaru).

U teoriji tehničke dijagnostike razlikuju se dva sistema: sistem testiranja i sistem funkcionalne dijagnoze. U prvom sistemu spoljašnja dejstva na objekat dijagnosticiranja potiču od dijagnostičkih sredstava, a u drugom slučaju od radnih opterećenja (dejstva) predvidjenih namenom objekta.

Formalan opis procesa dijagnosticiranja naziva se *algoritmom* dijagnosticiranja. Ovaj algoritam definiše skup elementarnih provera,redosled operacija provera i obrade rezultata dobijenih putem elementarnih provera radi utvrdjivanja ukupnog rezultata dijagnosticiranja. Poznato je da se svaki algoritam dijagnosticiranja može predstaviti orijentisanim grafom.

Algoritam dijagnosticiranja se realizuje pomoću mernih instrumenata, programa i kombinovanim programsko-instrumentalnim načinom. Merni instrumenti mogu biti nezavisni od objekta dijagnoze, ili su funkcionalno ugradjeni u objekat. U prvom slučaju nazivaju se spoljašnjim (nezavisnim), a u drugom slučaju unutarnjim (ugradbenim) instrumentarijumom. Spoljašnja merna sredstva mogu biti ručna, poluautomatska i automatska. Unutarnji instrumentarijum za dijagnostiku je po pravilu specijalan i automatizovan. Problem takvog instrumentarijuma za sistem funkcionalne dijagnoze tehničkog stanja rešava se još u fazi projektovanja i konstruisanja objekta. Ovo je posebno značajno za automatske ilinije u obradi metala.

Osnovni cilj tehničke dijagnostike je da se organizuje efikasan proces dijagnoze tehničkog stanja proizvodne opreme, jer njihova radna sposobnost se narušava usled neizbežnih triboloških procesa, zbog promenljivosti opterećenja u vremenu, zbog promene u strukturi opreme. Treba naglasiti da efikasnost ovih procesa zavisi od kvaliteta algoritama dijagnoze, kvaliteta mernih pribora i organizacije procesa dijagnosticiranja. Nije nepoznato da intuitivni metodi izrade algoritama dijagnoze tehničkog stanja ne daju dovoljno objektivna saznanja o stvarnom stanju objekta, te ni o merama za saniranje stanja. Tada bi dolazilo do nepotrebnog produžavanja stanja u otkazu i povećanja troškova opravki. Radi izrade optimalnog algoritma dijagnoze tehničkog stanja izuzetan značaj ima prikupljanje i obrada statističkih podataka o karakteru, mestu i tipu pojava otkaza ili neispravnosti.

Radi formalizacije metoda izrade algoritama dijagnoze neophodno je imati opis objekta, njegovo ponašanje u radu, otkazu i neispravnosti. Takav formalan opis u analitičkom, vektorskom, grafičkom ili tabelarnom obliku naziva se *matematički model* objekta za dijagnozu tehničkog stanja.

Teorija tehničke dijagnostike objekte dijagnoze deli na kontinualne, diskretne kombinovane i diskretne objekte sa memorijom.

Posebno mesto u ovoj teoriji imaju greške dijagnosticiranja: greške pri utvrdjivanju stanja, greške pri oceni stanja i greške ulaznih podataka za dijagnosticiranje.

Pošto teorija tehničke dijagnostike nije sama sebi cilj, treba njen ukupan efekat ocenjivati u odnosu na pouzdanost, terotehnologičnost, proizvodnost i ekonomičnost u pogledu smanjenja troškova proizvodnje, održavanja i regeneracije radne ispravnosti. Istraživanja su pokazala da radi povećanja veka trajanja opreme u industriji mora da raste faktor dozvoljenih troškova dijagnosticiranja. Ovo je posebno značajno za opremu čiji otkaz znači veliki finansijski gubitak u neostvarenoj proizvodnji. Isto važi i za odgovorne podstrukture opreme, čiji se vek trajanja jako rasipa, a otkaz je skup i vreme opravki je dugačko. Efikasnost sistema tehničke dijagnostike sumarno se ocenjuje redukovanim troškovima proizvodnje, povećanjem operativne gotovosti i poboljšanjem terotehnologičnosti.

Neosporno je da primena teorije tehničke dijagnostike u industriji prerade metala zahteva skup specifičnih znanja konstruisanja, modeliranja, algoritmizacije, tribologije, merenja, obrade rezultata, računa ekonomičnosti i organizatorskih sposobnosti. Zbog toga je neophodno obrazovati takav profil kadrova, ili uvesti predmet za veći broj profila diplomiranih mašinskih inženjera.

UDK 621,891,078

A. RAC

Prognoziranje veličine habanja

UVOD

Projektovanje savremenih mašina i uredjaja visoke pouzdanosti i dugog veka trajanja nije moguće bez poznavanja veličine habanja materijala od kojih su izradjeni njihovi pokretni delovi. To se objašnjava činjenicom da 50 do 75% svih oštećenja i neispravnosti kod tribo-mehaničkih sistema nastaje usled habanja. Takodje je poznato da se više od jedne trećine bruto nacionalnog dohotka u industrijski razvijenim zemljama troši na obnavljanje mašina i postrojenja zbog oštećenja, u čemu vidno mesto zauzima habanje materijala. To istovremeno znači da problem prognoziranja veličine habanja za datu konstrukciju nije samo tehničko, već i izrazito ekonomsko pitanje /1, 2/.

Stalni razvoj teorijskih i eksperimentalnih metoda u oblasti trenja i habanja uslovljen je potrebom za razvojem novih tehnika i tehnologija koje će da obezbede visok kvalitet i pouzdan rad mehaničkih sistema. Zbog toga su pokušaji za iznalaženje analitičkih modela mnogobrojni u zadnjih trideset godina. Nažalost, univerzalnih i jednostavnih metoda još nema, što se može objasniti izuzetnom složenošću procesa habanja i mnogobrojnim faktorima koji su prisutni a još nedovoljno istraženi i objašnjeni.

S obzirom na tu činjenicu postavlja se pitanje da li konstruktor ili tehnolog raspolaže danas sa dovoljno podataka za procenu habanja materijala i da li se na osnovu računskih metoda može da oceni veličina habanja nekog tribomehaničkog sistema. U daljem tekstu čini se pokušaj da se opišu i prikažu osnovne i najznačajnije metode razvijene i objavljene u svetu.

MATEMATIČKI MODEL ZA PROGNOZIRANJE HABANJA

Veličina habanja materijala zavisi od mnogobrojnih faktora koji se uslovno mogu podeliti na spoljnje i unutrašnje. U spoljnje se ubrajaju oni koji se tokom eksploatacije menjaju u odredjenim, dopuštenim granicama (pritisak, brzina, temperatura, režim podmazivanja, itd.). U unutrašnje faktore spadaju oni koji pod dejstvom spoljnjih mogu da menjaju svoja svojstva (fizičko-mehaničke karakteristike materijala, frikciona svojstva, strukturu površinskih slojeva materijala itd.). Uspostavljanje veze izmedju uslovno uzetih spoljnjih i unutrašnjih faktora daje analitičke metode za prognoziranje veličine habanja, a time i veka trajanja posmatranog elementa tribo sistema.

U opštem slučaju intenzitet habanja se može izraziti jednakošću

$$I_h = \Phi_h A \ ,$$

gde je: Φ_h kompleksna karakteristika fizičko mehaničkih svojstava materijala (unutrašnji faktor) koji se može nazvati i faktor habanja, A - kompleksna karakteristika spoljnih faktora.

Za različite vrste habanja i uslove rada tribo sistema oba činioca zavise od različitih parametara. Korišćenje date opšte zavisnosti pretpostavlja posedovanje "banke" podataka faktora habanja što omogućuje uporednu ocenu veka trajanja u toku faze projektovanja. Drugim rečima, poznavanjem faktora habanja može da se odredi pogodan materijal, vrsta maziva i druge komponente povezane sa etapama projektovanja.

Usvajajući dati opšti koncept razvijeno je na osnovu eksperimentalnih i teorijskih razmatranja niz obrazaca za proračun veličine habanja i to za adhezivno, abrazivno, oksidaciono, kavitaciono, i druge vrste habanja /3, 4, 5/. S obzirom na značaj i učestanost pojave, matematički modeli za adhezivno i abrazivno habanje su najbrojniji i najčešće citirani u literaturi.

Pri abrazivnom habanju bez podmazivanja ustanovljena je jednostavna zavisnost /6/:

$$I_h = \frac{V}{s} = \phi_{ab} \frac{F}{H}$$

gde je: V - zapremina pohabanog materijala, s - predjeni put, ϕ_{ab} - koeficijent abrazivnog habanja, F - sila koja deluje na spregnute površine i H - tvrdoća mekšeg materijala u dodiru.

Relativnu otpornost na abraziju za različite materijale utvrdio je Kruščov /7/ istovremeno dokazujući direktnu zavisnost tvrdoće materijala i veličine abrazivnog trošenja.

Za adhezivno habanje najpoznatija je jednačina Ерčарда koja se može iskazati jednakošću /8, 9, 10/:

$$I_h = \frac{V}{s} = \phi_{ad} \frac{F}{3\sigma_T}$$

gde je: ϕ_{ad} - koeficijent adhezivnog habanja, F - sila koja deluje na spregnute površine i σ_T - napon na granici tečenja materijala.

Navedeni izrazi su veoma jednostavni i izvedeni su razmatranjem idealizovanih oblika neravnina, kao i oblika produkata habanja. Ali, i pored toga eksperimentalni rezultati potvrdjuju njihovu upotrebnu vrednost. Medjutim, kao osnovni problem javlja se odredjivanje veličine koeficijenta habanja. On se može utvrditi za izabrani materijal i radne uslove samo eksperimentalno. To je osnovna slabost navedenih izraza. Pokušaj da se odredi koeficijent za adhezivno habanje izvršen je od strane Rabinoviča /11/ koji je u tu svrhu konstruisao nomogram.

Posebno značajna aktivnost u oblasti iznalaženja računskih metoda za procenu habanja postoji u Sovjetskom Savezu. Mnogi istraživači, medju kojima se ističu Kragelјski, Kombalov, Dobičin, Pronikov, Grib i drugi razvili su različite modele za prognoziranje habanja /12, 13, 14, 15/. Najznačajnija su svakako istraživanja Kragelјskog i Kombalova, koji postavljaju teoriju habanja pri relativnom klizanju tela usvajajući kao osnovni uzrok pojave habanja zamor materijala na površini dodira. Drugim rečima, oni pretpostavljaju da produkti habanja nastaju kao rezultat višestrukog kontakta i deformacija neravnina što ima za posledicu zamaranje materijala. Faktor habanja ϕ_h dat je odnosom bezdimenzionog intenziteta habanja i pritiska koji vlada na dodirnim površinama

$$\phi_h = \frac{I_h}{p}.$$

Razvijeni matematički modeli se razmatraju za dva slučaja: ako na površinama u dodiru nastaje elastična deformacija bezdimenzioni intenzitet linearnog habanja ima vid:

$$I_h = C\left(\frac{p\theta}{K'_\nu}\right)^{1+\beta t} \cdot \Delta^{\frac{t}{2}(1-\beta)} \cdot \left(\frac{K^y_\mu}{\sigma_o \theta}\right)^t \cdot \eta_{k,g}^{-\beta t},$$

dok za slučaj da su deformacije materijala na dodirnim mestima plastične izraz glasi:

$$I_h = 2^{\frac{t+1}{2}} \cdot C\left(\frac{p}{HB}\right)^{\frac{1+\beta t}{1-\beta}} \cdot \Delta^{\frac{1+t}{2}} \cdot \left(\frac{K^n_\mu}{e_o}\right)^t \cdot \eta_{k,g}^{-\frac{\beta+\beta t}{1-\beta}}$$

U navedenim izrazima veličine C, θ, β, K'_ν, Δ i η su konstante vezane za svojstva materijala, dok konstante K^y_μ i K^n_μ obuhvataju uticaj veličine trenja na habanje, p je nominalni pritisak, a t je koeficijent koji karakteriše svojstva materijala na zamor.

Analizom jednačina moguće je zaključiti da je habanje proporcionalno pritisku sa stepenom većim od jedinice. Koeficijent trenja se može direktno korelirati sa intenzitetom habanja. Fizičko mehanička svojstva materijala, kao što su tvrdoća i relativno izduženje pri kidanju, su direktno povezane sa intenzitetom habanja. Zbog toga su materijali veće tvrdoće i veće sposobnosti da se deformišu bez kidanja mnogo povoljniji sa gledišta habanja. Medjutim, prikazane jednačine su složene za praktičnu primenu jer zahtevaju poznavanje velikog broja parametara neophodnih za odredjivanje odgovarajućih koeficijenata. Takodje, date zavisnosti ne uzimaju u obzir brzinu kao uticajnu veličinu na habanje. One se mogu, kako ističu autori, koristiti u slučaju stacionarnog habanja kada se bitnije ne menjaju fizičko hemijska svojstva materijala. Za te uslove faktor habanja je konstantan.

Dugogodišnja istraživanja s ciljem da se iznadju analitički metodi za ocenu habanja obavljena su i u Sjedinjenim Američkim Državama u laboratorijama IBM-a. Bajer i njegovi saradnici objavili su niz članaka /16, 17, 18, 19, 20/, pa i knjigu /21/ vezanu za probleme prognoziranja habanja kod tribomehaničkih sistema kojima su demonstrirali mogućnosti primene predloženih modela za različite uslove dodira, materijale i režime podmazivanja. To znači da je IBM metod proračuna habanja univerzalno primenljiv za sisteme sa graničnim i mešovitim podmazivanjem, kao i nepodmazivane sisteme kod kojih se dodir ostvaruje u tački, liniji ili površini.

Model IBM-a obuhvata dva sukcesivna režima habanja. Prvi je nazvan "nulto" habanje, a drugi "merljivo" habanje. Nulto habanje označava onu veličinu habanja koja ne prelazi veličinu početne hrapavosti površine. Analitički izraz razvijen za ovaj režim habanja glasi:

$$Z_o = \frac{2.10^3}{n}\left(\frac{\phi_o \tau_y}{\tau_{max}}\right)^9,$$

pri čemu mora da je zadovoljen uslov da je $\tau_{max} < \phi_o \tau_y$.

U datoj jednačini z_o je vek trajanja za nulto habanje, n je broj prolaza ili medjudejstva za usvojenu jedinicu predjenog puta, ϕ_o je faktor nultog habanja, τ_y je napon smicanja na granici tečenja materijala i τ_{max} je najveći napon na smicanje izračunat za početnu geometriju.

Vek trajanja z_o iskazuje se obično kao vreme, broj obrtaja, hodova ili oscilacija za koje se postiže nulto habanje.

Broj prolaza n za usvojenu jedinicu puta (jedan obrtaj, hod, oscilaciju itd.) odredjuje se u zavisnosti od uslova dodira posmatranih elemenata. Pri tome se elementi uslovno dele na opterećene i neopterećene. Ako je posmatrana tačka elementa izložena opterećenju i rasterećenju tokom kretanja, takav element se naziva neopterećen. Opterećen je onaj deo kod koga je posmatrana tačka u oblasti dodira opterećena sve vreme kretanja. Za opterećen element veličina n je odredjena izrazom:

$$n = \frac{l}{s}$$

gde je: l - dužina izabrane jedinice puta, s - širina površine dodira u pravcu kretanja.

Za neopterećen deo $n = 1$.

Faktor nultog habanja ϕ_o se odredjuje eksperimentalno, ali se sa dovoljnom tačnošću mogu koristiti već utvrdjene vrednosti:

- za uslove trenja suvih površina $\phi_o = 0{,}2$,
- za uslove graničnog podmazivanja sa mazivima koja sadrže aditive $\phi_o = 0{,}54$ i
- za kvazihidrodinamičko podmazivanje $\phi_o = 0{,}54\text{-}1{,}0$.

Merljivo habanje je definisano kao režim habanja pri kome je geometrija površine znatno izmenjena u odnosu na početnu. Autori su usvojili da merljivo habanje počinje u tački za koju je srednja dubina traga habanja jednaka vrednosti polovine početne vrednosti maksimalne hrapavosti površine ($1/2\ R_{max}$).

Za ovaj režim habanja su ustanovljene sledeće zavisnosti:

- za malu tendenciju transfera materijala

$$d\left|\frac{A}{(\tau_{max}, s)^{9/2}}\right| = C_{(z_o)}\frac{l}{s}dz$$

- za visoku tendenciju transfera materijala

$$dA = C_{(z_o)}\frac{l}{s}dz\ ,$$

gde je: A - površina poprečnog preseka traga habanja u ravni upravnoj na pravac kretanja, $C_{(z_o)}$ - konstanta zavisnosti od z_o,

Za slučaj da je geometrija elemenata takva da se dimenzije dodirne površine normalno na pravac kretanja ne menjaju tokom habanja, proizvod (τ_{max}, s) je stalan što označava da su jednačine u osnovi iste. To važi za većinu praktičnih slučajeva kod kojih je dodir po liniji ili površini.

Konstanta $C_{(z_o)}$ odredjuje se eksperimentalno ili analitički koristeći jednačinu za nulto habanje i usvajajući kao granični uslov da je za vek trajanja z_o srednja dubina traga habanja jednaka jednoj polovini od R_{max}.

Za praktičnu primenu, dati proračun se svodi na odredjivanje i izbor takvih konstruktivnih parametara da je zadovoljena sledeća jednakost:

$$h = h_o\left(\frac{z}{z_o}\right)^m$$

gde je: h - dubina traga habanja za vek trajanja, z, h_o - je dubina traga habanja koja odgovara veku trajanja nultog habanja z_o, m - eksponent koji zavisi od geometrije, kretanja i načina habanja.

Eksponent m se odredjuje eksperimentalno ili se koriste već odredjene vrednosti koje su npr. date grafički u radu navedenom u literaturi pod brojem 20.

Na kraju ovog pregleda treba spomenuti već dugo korišćeni izraz za odredjivanje veličine habanja putem tzv. $p.v$ proizvoda koji je primenljiv kod jednostavnih nepodmazivanih sistema čiji su delovi u relativnom klizanju. Intenzitet habanja se može iskazati jednačinom:

$$I_h = \phi_h . p . v$$

gde je: ϕ_h - faktor habanja, p - specifično opterećenje, v - brzina klizanja.

Medjutim i ovde postoje problemi sa odredjivanjem veličine faktora habanja, kao i ocene granice dozvoljenih vrednosti zasebno za p i zasebno za brzinu v /22/. Ipak, u nedostatku drugih mogućnosti i ovaj način daje korisne informacije. Dozvoljene p i v vrednosti, kao i faktori habanja moraju se za dati sistem da odrede eksperimentalno.

ZAKLJUČAK

Poznavanje numeričkih podataka za veličinu habanja ili otpornost na habanje za izabrani materijal neke konstrukcije u datim uslovima rada postaje od posebnog značaja za konstruktore, naročito u situacijama kod kojih male promene u dimenzijama ili kvalitetu površine znače neispravnost sistema.

Za rešavanje problema habanja u stadijumu projektovanja mašina i pri prognoziranju habanja u procesu eksploatacije, što se do skora vršilo na osnovu empirije ili

ili dugotrajnih ispitivanja, zahvaljujući razvitku analitičkih metoda postaje sve realnije. To daje osnovu da se tvrdi da će proračun elemenata mašina u budućnosti obavezno da obuhvati i proračun na habanje.

Prvi korak u korišćenju navedenih matematičkih modela je da se proceni predominantna vrsta habanja koja se javlja u posmatranom sistemu, a zatim da se usvoji odgovarajući model za proračun. To dalje predpostavlja poznavanje svih neophodnih veličina, pre svega faktora habanja, za koje treba stvarati banku podataka.

LITERATURA

/1/ S. BAHADUR, The Economic Impact of Wear on Society, Trans of ASME, JOLT, 100,145-147.

/2/ P.M. Ku, Energy and Materials Conservation through Tribology, Lub. Eng. 34,3,1978.

/3/ A.D. SARKAR, Wear of Metals, Pergamon Press, 1976.

/4/ D.F. MOORE, Principles and Applications of Tribo - logy, Pergamon Press, 1975.

/5/ B. PUGH, Friction and Wear, Butterworths, London, 1973.

/6/ D. SCOTT, ed., Treatise on Materials Science and Technology, vol. 13, Wear, Academic Press, 1979.

/7/ M.M. KHRUSCHOV, Resistance of Metals to Wear by Abrasion, as Related to Hardness, Conf. on Lub. and Wear, London, IME, 1957.

/8/ J. F. ARCHARD, The Wear of Metals, Scientific Lub., 10, 11, 1958, 16-21.

/9/ G. SOLOMON, Laws of Wear, Wear, 11,1968,317-318.

/10/ F.T. BARWELL, A Review of Wear, Conf. on Lub. and Wear, London, IME, 1957.

/11/ E. RABINOVICZ, I.F. STOWERS, A nomogram for wear coeffient calculations, Wear, 21, 1972, 401-403.

/12/ I.V. KRAGELJSKI, Calculation of Wear Rate, Trans.of ASME, J. Basic Eng., sept. 1965.

/13/ I.V. KRAGELJSKI, M.N. DOBIČIN, V.S. KOMBALOV, Osnovi rasčetov na trenie i iznos, Mašinostroenie, Moskva, 1977.

/14/ V. S. KOMBALOV, Ocenka tribotehničeskih svoistv kontaktirujušćih poverhnosti, Nauka, Moskva,1983.

/15/ V.S. KOMBALOV, Theretical Fundamentals of Predicition of Life of Materials by Wear Factor, Eurotrib'81, Proc. vol. 1, 230-239, Warszava,1981.

/16/ R. G. BAYER, W.C. CLINTON, C.W. NELSON, R.T. SCHUMACHER, Engineering Model for wear, Wear, 5, 1962, 378-391.

/17/ R.G. BAYER, W.C. CLINTON, J.L.SIRICO, A Note on the Application of the Stress Dependency of Wear in the Wear Analysis of an Electrical Contact, Wear, 7, 1964, 282-289.

/18/ R.G. BAYER, Prediction of Wear in a Sliding System, Wear, 11, 1968, 319-332.

/19/ R. G. BAYER, A.T. SHALKEY, A. R. WAYSON, Designing for Zero Wear, Machine Design, 41,1,1969, 142-151.

/20/ R.G. BAYER, A. R. WAYSON, Designing for Measurable Wear, Machine Design, 41,18,1969, 118-127.

/21/ R.G. BAYER, T.C.Ku, Handbook of Analitical Design for Wear, Plenum Press, New York, 1964.

/22/ D. VITAS, Mašinski elementi, Naučna knjiga, Beog 1960.

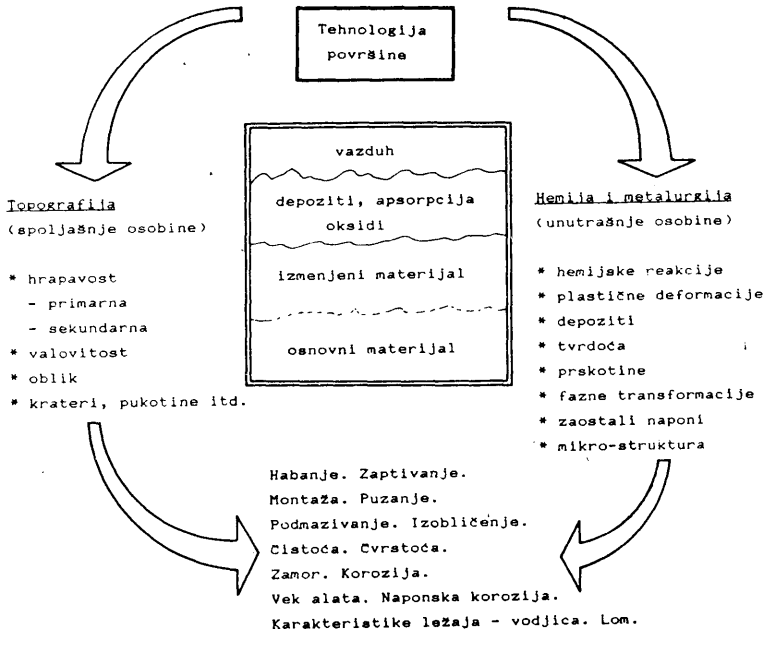
UDK 621,9,042.922

B. J. GRIFFITHS

Tehnologija obradjene površine kao deo tehničkih informacija proizvodne strategije

UVOD

Termin "tehnologija površine" ima različito značenje za različite ljude: za metalurga, on se odnosi na tvrdoću i fazne transformacije, za hemičara, tu se radi o apsorbovanim slojevima i površinskoj energiji, dok metrolog pod tim podrazumeva kvalitet površine. Medjutim, to su samo različiti aspekti jedne iste stvari, koja kao takva, predstavlja sistem za sebe. Slika 1 prikazuje unutrašnje i spoljašnje osobine obradjene površine, sa njenim različitim elementima i atributima, pri čemu je pokazano da svi oni imaju uticaja na eksploatacione karakteristike navedene ispod slike 1 /1/. Nadalje, poznato je da veliki deo havarija komponenata započinje upravo na površini. Na primer, jedna studija iz 1980. godine /2/ ukazuje da su havarije komponenata usled plastične deformacije, loma, zamora, kavitacije, habanja i korozije bile direktno povezane sa pojavama na površini. Prema tome, pošto je tehnolog poslednja osoba koja je u kontaktu sa delom pre nego što on napusti fabriku (izuzimajući pakovanje i sl.), odgovornost za integritet površine pripada odeljenju tehnologije. Dodatni razlog za ovu konstataciju predstavljaju i implikacije odgovrnosti za proizvod.



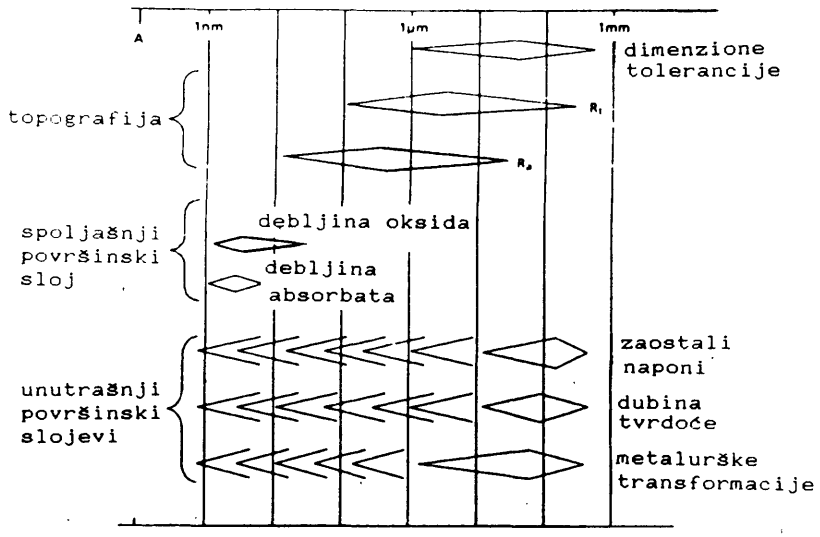
Sl. 1. - Opšte osobine tehnologije površine i eksploatacioni parametri na koje oni utiču

PRAZNINE U KOMPJUTERSKI PODRŽANOM KONSTRUISANJU (CAD)

Kao posledica najnovije sistemske tehnologije, u metalopreradjivačkim fabrikama postoji trend da se donošenje tehnoloških odluka odvoji od proizvodnog pogona i poveri konstruktoru za terminalom. Zbog toga se informacije o tehnologiji površine, kao i odluke koje su ranije donošene na bazi intuicije, iskustva i znanja sele "na sprat", ostavljajući za sobom prazninu. Efikasnost proizvodnje može se poboljšati ako se informacije o tehnologiji površine dodaju postojećim obradnim informacijama, kao što su vreme, troškovi i kvalitet. Tako se dolazi do koncepta projektovanja površine sa ciljem zadovoljenja odredjenih eksploatacionih zahteva, u kome se tehnologija površinske obrade daje postojećim tokovima informacija i CAD sistemima, sa ciljem ostvarenja efikasnije procesa konstruisanja. Takav pristup pojačava veze sa CAM-om i pomaće u odredjivanju obradne strategije.

POVRŠINA KAO SISTEM

Svaka površina raspolaže različitim unutrašnjim i spoljašnjim osobinama koje, zajedno, čine celinu. Pojednostavljeno, one se mogu podeliti u topografiju i teksturu, hemiju, metalurgiju i osobine koje su očigledno povezane i ne mogu se odvojiti (sl. 2). Hrapavost, odnosno tekstura, preklapa dimenzijske tolerancije, ali su pri tome ove dve osobine nerazdvojno povezane. Dubina hemijskih slojeva na površini nekoliko redova veličine je manja od visine neravnina, ali njihov uticaj može biti katastrofalan. Dubina unutrašnjih slojeva metalurških transformacija, promene tvrdoće, ili zaostalih napona može biti znatno veća od profila neravnina, što ilustruje činjenicu da u nekim slučajevima ono što je ispod površine tj. skriveno, može imati veći uticaj nego ono što metalurg vidi.



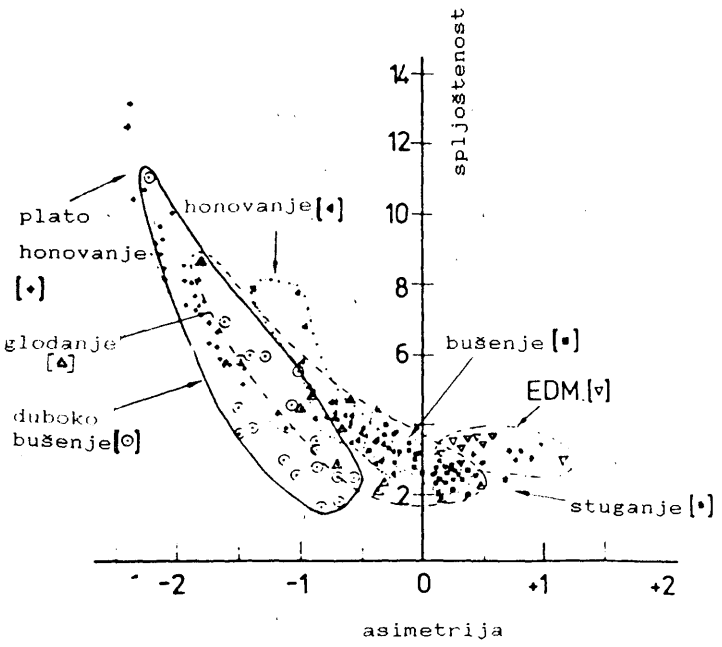
Sl. 2. - Poredjenje veličina različitih osobina i karakteristika površina

Na primer, ako se merenja neravnina Zemljine površine od Velsa do Eseksa, u V. Britaniji, uporedi sa brušenjem, faktor razmere je oko 10^8. Visina neravnina je nešto manja od 1 km, a sferični vrh igle ekvivalentan je lopti približno istog prečnika. Srednja talasna dužina je 15 km, a dužina zapisa je dovoljna samo za jednu mernu dužinu od 0,8 mm. Merna igla bi morala da putuje skoro do Lajpciga da bi se dobila dovoljna merna dužina. Pri istoj razmeri, oksidni sloj bi se mogao uporediti sa debljim snežnim pokrivačem, a apsorbovani mono-sloj je ekvivalentan sloju teniskih lopti. U nekim slučajevima pri brušenju pod normalnim uslovima, dubine transformacija, tvrdoće ili zaostalih napona, mogu na nivou Zemljine površine da budu uporedive sa debljinom kore, tj. reda desetina kilometara, što je za jedan red veličine veće od visine neravnina.

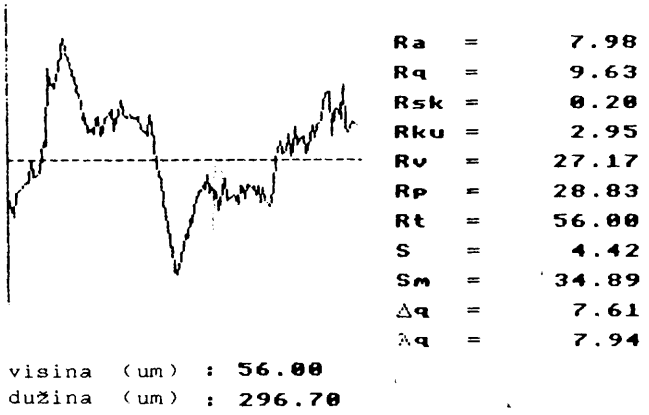
TOPOGRAFIJA POVRŠINA

U prošlosti, uobičajeni metod ocenjivanja kvaliteta površine sastojao se od korišćenja parametra *Ra*. U tom metodu postoje ozbiljna ograničenja, a jedno od njih je i nemogućnost razlikovanja identičnih pozitivnih i negativnih profila. Tokom nekoliko zadnjih godina došlo je do razvoja digitalnih metoda obrade rezultata merenja, što je stvorilo uslove za uvodjenje novih parametara, koji su povezani ne samo sa procesima obrade, već i sa funkcionalnim zahtevima. Oni se mogu podeliti u amplitudne, parametre distribucije amplituda, i prostorne parametre koji mogu da definišu profil horizontalno i vertikalno. Na sl. 3 je pokazano kako dva parametra distribucije amplituda mogu da se iskoriste za razlikovanje niza procesa obrade. Spoljašnjost predstavlja odstupanje amplitudne distribucije od Causove po R-osi, a asimetrija isto to, ali po y-osi. Dijagram prikazuje obvojnice različitih procesa obrade, koje dozvoljavaju identifikovanje tih procesa na način koji nije bio moguć za *Ra*. Ta vrsta informacija može se lako pridružiti CAD bazama podataka i direktno povezati sa eksploatacionim pokazatelji - ma, jer se na istim dijagramima mogu definisati i eksploatacione obvojnice u vezi sa, na primer, habanjem, trenjem, zaribavanjem, lomom, bojenjem, prianjanjem, sjajem, čistoćom i zamorom. Asimetrija i spoljoštenost su samo dva od oko sto sličnih parametara, tako da sa aspekta obvojnica procesa i eksploatacije, na raspolaganju se nalazi mnogo parametara.

U praksi je uobičajeno da se prvo izradi površina, a zatim odredjuju njene karakteristike. Narasle mogućnosti i pogodnosti digitalnog računanja pružaju mogućnost za obrtanje ovoga procesa, tako da se površina projektuje za odredjenu namenu, a potom dovodi u vezi sa procesima obrade. Na raspolaganju su programi 033 pomoću kojih se površina može projektovati tako da ima parametre hrapavosti i valovitosti koje zahteva namena. Na sl. 4 prikazan je deo računarski odredjenog profila sa odgovarajućim parametrima koji je opisuju. Po odredjivanju funkcionalno ispravnog profila, može se identifikovati odgovarajući način obrade, čime ceo proces projektovanja postaje efikasniji.



Sl. 3. - Obvojnice procesa obrade u funkciji parametara hrapavosti površine

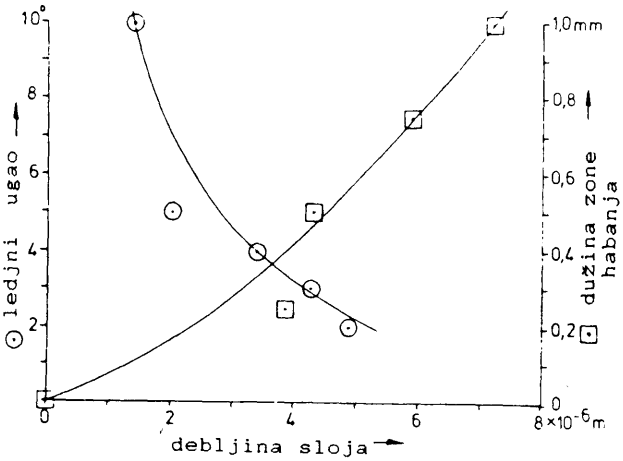


Sl. 4. - Kompjuterski generisan profil površine

METALURGIJA POVRŠINA

Značajan doprinos na polju metalurgije površina dala je firma Metcut Labs /4/ iz SAD, identifikacijom različitih osobina metalurgije površine i istraživanjem njihovog uticaja na, recimo, zamor i naponsku koroziju. Poznavanje uticaja različitih uslova obrade na integritet površine omogućilo je da se identifikuju značajni faktori i prognoziraju trendovi. Ako se ova vrsta informacija može povezati sa vekom alata, režimom obrade i troškovima mašine i alata, stvaraju se mogućnosti za analizu ukupne cene integriteta površine, što se, opet, može povezati sa hrapavošću, tačnošću i kvalitetom.

Razumevanje mehanike procesa obrade omogućava izradu površina koje zadovoljavaju odredjene zahteve. Na primer, beli slojevi na površinama (ili veoma tvrdi regioni), obično se smatraju nepoželjnim jer smanjuju otpornost na zamor i naponsku koroziju /4/. Ako se, medjutim, generišući mehanizmi obradnog procesa mogu manipulisati tako da dominira plastična deformacija, smanjuje se potreba za termalnom energijom, a beli slojevi se i dalje proizvode. Razlog za to je opažanje da se mehanizmi generisanja belih slojeva medjusobno kompenzuju. Beli slojevi su stvarani na taj način putem simuliranja trljanja u obradi struganjem, korišćenjem noževa sa veštačkim zonama habanja i malim ledjnim uglovima (sl. 5). Tako stvoreni beli sloj je veoma tvrd (do pet puta tvrdji od Vikersove tvrdoće osnovnog materijala), visoko je otporan na toplotne transformacije, odlično podnosi termalni zamor i stabilan je /5/. Ustanovljeno je da ima visoku otpornost na habanje, i, kao takav, predstavlja moguću zamenu za nitriranje. Ovim je pokazano da se

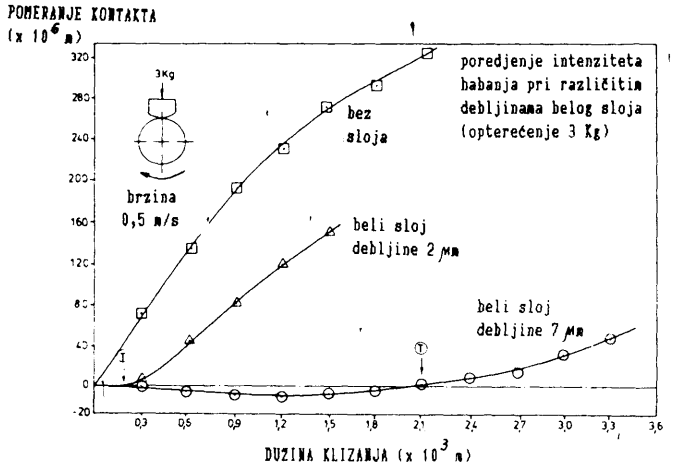


Sl. 5. - Uticaj dužine veštačke zone habanja i ledjnog ugla noža na debljinu (belog) sloja

površine mogu izraditi uzimanjem u obzir njihove metalurgije.

OSTALI ASPEKTI TEHNOLOGIJE POVRŠINA

Oblasti tehnologije površina o kojima je gore bilo reči predstavljaju samo deo cele slike, jer se slični opisi mogu dati i za, recimo, osobine površina, zaostale napone, tvrdoću, naponsku koroziju, zamor i površinsku hemiju, ili za funkcionalne aspekte, kao što su zaptiva-



Sl. 6. - Poredjenje intenziteta habanja sa i bez belog sloja

nje, prianjanje, bojenje, ili habanje. Prema tome, dve opšte oblasti, kao što su metalurgija i topografija, predstavljaju samo vrh ledenog breca tehnologije obrade površina.

ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Napred navedeni primeri ilustruju doprinose koje informacije o tehnologiji površina (predstavljene kao sistem) mogu da daju u oblastima produktivnosti i eksploatacije, u zajednici sa ostalim tehničkim informacijama. Ta vrsta informacija o površini može da ojača vezu izmedju konstrukcije i proizvodnje, i to ne samo poboljšanjem postojećih proizvoda, već i omogućavanjem tačnijeg predvi - djanja eksploatacionih karakteristika novih proizvoda.Ovo može da pomogne proizvodnim organizacijama u planiranju obradnih strategija na nivoima tehnologije i ukupnog poslovanja.

LITERATURA

/1/ B.J. GRIFFITHS, Surface Technology and Integrity Portfolio, internal report, Manufacturing & Engineering Systems Dept., Brunel University (1987).

/2/ H. K. TONSHOFF and E. BRINKSMEIER, Determination of the Mechanical and Thermal Influences on Machined Surfaces by Microhardness and Residual Stress Analysis, Annals of CIRP, Vol. 29-2-1980,pp.519-530.

/3/ J. NYARI, Surface Texture Analysis System, Project Report, Computing Department, Brunel University (1986).

/4/ Machining Data Handbook, 3rd Fdition, Machinability Center, Metcut Research Associates Inc., 3980 Rosslyn Drive, Cincinnati 45209, U.S.A.(1980).

/5/ B.J. GRIFFITHS, Mechanisms of White Layer Generation with Reference to Machining and Deformation Processes, Paper presented at the ASME/ASLE Joint Tribology Conference, Pittsburgh, PA, October 20-22, 1986. To be published in Transactions of ASME in 1987.

/6/ B.J. GRIFFITHS and D.C. Furze, Tribological Advantages of Withe Layers Produced by Machining, Paper presented at the ASME/AISE Joint Tribology Conference held in Pittsburgh, PA, October 20-22,1986 To be published in Transactions of ASME in 1987

UDK 621.92'9.015.004.6

B. KRŠLJAK

Brušenje alatnog čelika sa povećanim sadržajem ugljenika - troškovi brušenja

1. UVOD

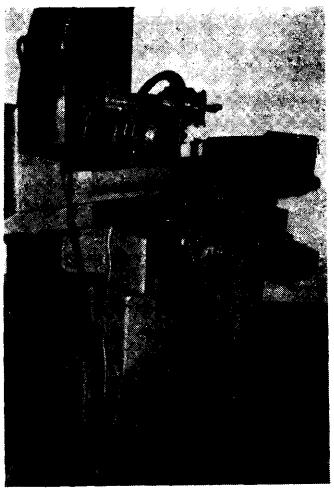
Alatni čelici sa povećanim sadržajem ugljenika odlikuju se lošom brusivosti tj. niskom vrednosti učinka tocila i visokim troškovima obrade. Na parametre za ocenu efikasnosti procesa brušenja utiče mnogo faktora vezanih za karakteristike tocila, obratka i mašine na kojoj se vrši obrada i uslova rada.

Utvrdjivanje uticaja faktora na ove parametre vrši se eksperimentalnim putem variranjem karakteristika tocila, elemenata režima brušenja i drugih uslova obrade pri čemu se teži ostvarenju optimalnih pokazatelja uz zadovoljenje kvaliteta obradjene površine, tačnosti obrade i troškova obrade.

U radu je analiziran uticaj elemenata režima brušenja na učinak tocila i troškove obrade pri ravnom brušenju alatnog čelika konvencionalnim tocilom.

2. USLOVI IZVODJENJA ISPITIVANJA I METODOLOGIJA

Ispitivanja su izvodjena na brusilici za ravno brušenje sa pravougaonim radnim stolom i horizontalnim radnim vretenom tip 3G71 proizvedene u Sovjetskom Savezu, sl. 1. Snaga elektromotora 2,5 kw, broj obrtaja radnog vretena (tocila 2700 o/min). Za ispitivanje je korišćeno elektrokorundno tocilo 4B54K6V proizvedeno u industriji "8 Mart" iz Ade, spoljašnjeg prečnika 200 mm i širine 10 mm.



Sl. 1. - Izgled brusilice

Ispitivanje je vršeno na uzorcima dimenzija 100 x 42 x 20 mm od alatnog čelika Č.4750 (1,65%C; 12Cr; 0,5%W; 0,6%Mo; 0,1%V). Uzorci su podvrgnuti kaljenju i otpuštanju do 60 H_{Rc}.

Elementi režima brušenja su bili: brzina stola (uzdužni pomak) v_u = (5, 10, 20) m/min, poprečni pomak s_p = (0,4; 0,8; 1,6) mm/h i dubina rezanja a = (0,005; 0,01; 0,02) mm.

Dodatak za brušenje je bio δ = 0,1 mm.

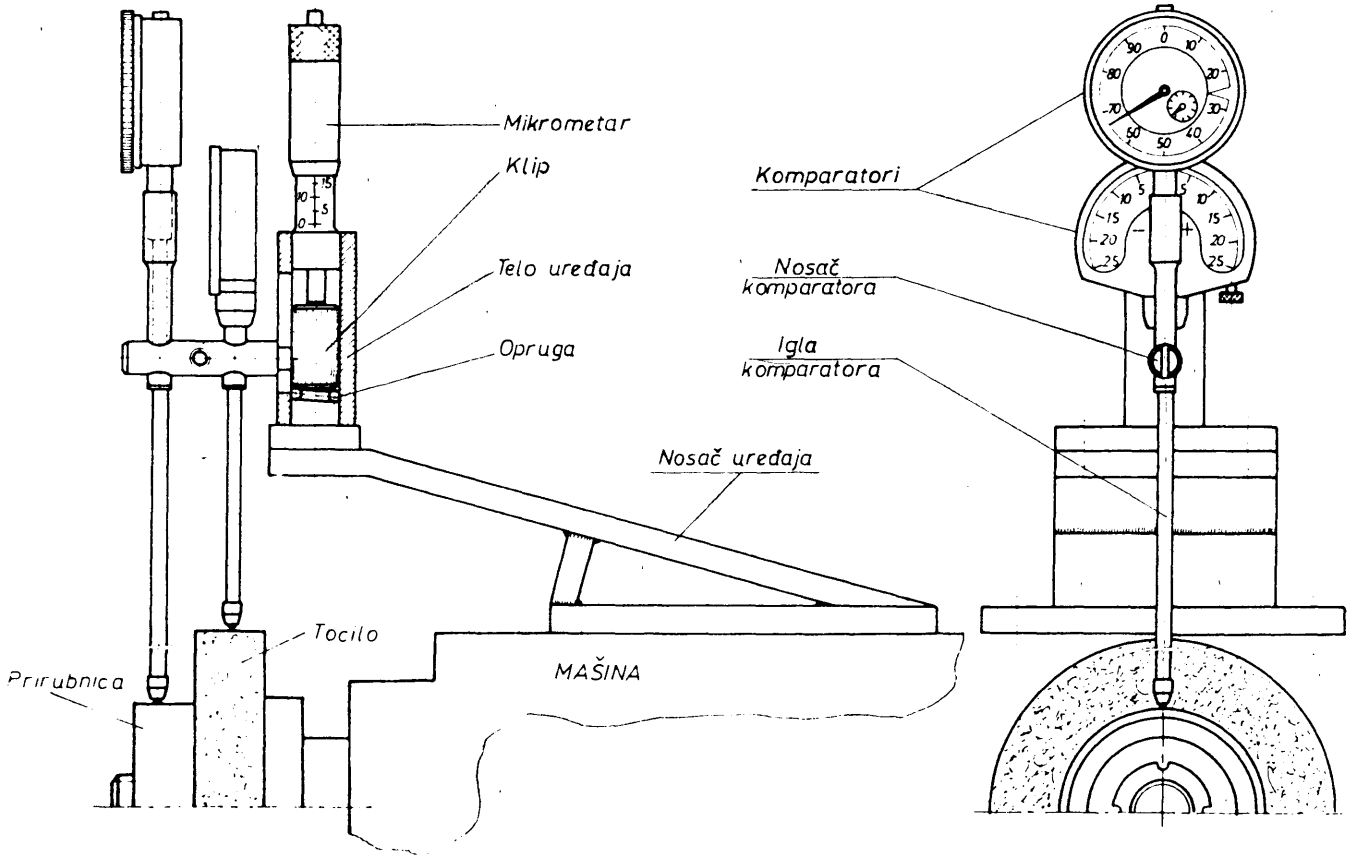
Pre svakog eksperimenta tocilo je poravnavano jednozrnim dijamantskim poravnjivačem.

Kod svih eksperimenata korišćeno je rashladno sredstvo, ulje za hladjenje "Castrol ilogrind 483", a količina je regulisana.

Ispitivanja su vršena variranjem elemenata režima brušenja. U prvoj seriji ispitivanja brzina stola i poprečni pomak su bili konstantni (v_u = 10 m/min; s_p = 0,8 mm/h), a dubina brušenja je varirana na tri vrednosti: 0,005, 0,01 i 0,02 mm. U drugoj seriji ispitivanja brzina stola i dubina brušenja su bili stalni (v_u = 10 m/min; a = 0,01 mm), a poprečni pomak je variran na vrednosti: 0,4, 0,8 i 1,6 mm/h. U trećoj seriji ispitivanja stalne vrednosti su imali dubina brušenja i poprečni pomak (a = 0,01 mm, s_p = 0,8 mm/h), a varirana je vrednost brzine stola v_u = 5, 10 i 20 m/min.

Učinak tocila $G = V_m/V_t$ (mm^3/mm^3), definisan je odnosom stvarne zapremine obrušenog materijala V_m (mm^3) i zapremine trošenja tocila V_t (mm^3). Stvarna zapremina obrušenog materijala je odredjivana na osnovu ukupne dubine brušenja, koja je dobijana merenjem visine uzorka pre i posle eksperimenta. Merenje visine uzorka (razlika visina) pre i posle eksperimenta vršeno je pomoću komparatora.

Zapremina trošenja tocila je računata u zavisnosti od izmerene veličine smanjenja poluprečnika tocila ΔR. Merenje veličine ΔR je vršeno u četiri tačke po obimu tocila



Sl. 2. - Merni pribor za merenje smanjenja poluprečnika tocila

u zoni sredine radne površine (širine tocila) i uzimana je srednja vrednost (sl. 2).

Na sl. 2 pokazan je merni pribor za merenje smanjenja poluprečnika tocila ΔR. Pribor je sastavljen od dva komparatora i mikrometra koji su posredstvom nosača vezani za mašinu. Bazni komparator je pri merenju u kontaktu sa prirubnicom tocila (merna baza), a merni komparator je u kontaktu sa tocilom. Pre opita komparatori se dovedu na nulte podeoke pomeranjem mikrometra i taj položaj na mikrometru zabeleži. Posle završenog eksperimenta dovede se mikrometar na zabeleženi podeok tada bazni komparator stupi u dodir sa prirubnicom, a merni pokazuje odstupanje od nultog podeoka koje predstavlja ΔR.

Proizvodnost obrade-zapremina materijala obrušenog u jedinici vremena računa se po obrascu

$$Q = a.s_t.v_u.1000/60 \ (mm^3/s).$$

3. REZULTATI ISPITIVANJA

Izmerene i sračunate vrednosti (Q, V_t, V_m, G, t_g) za različite vrednosti elemenata režima brušenja date su u tabeli 1.

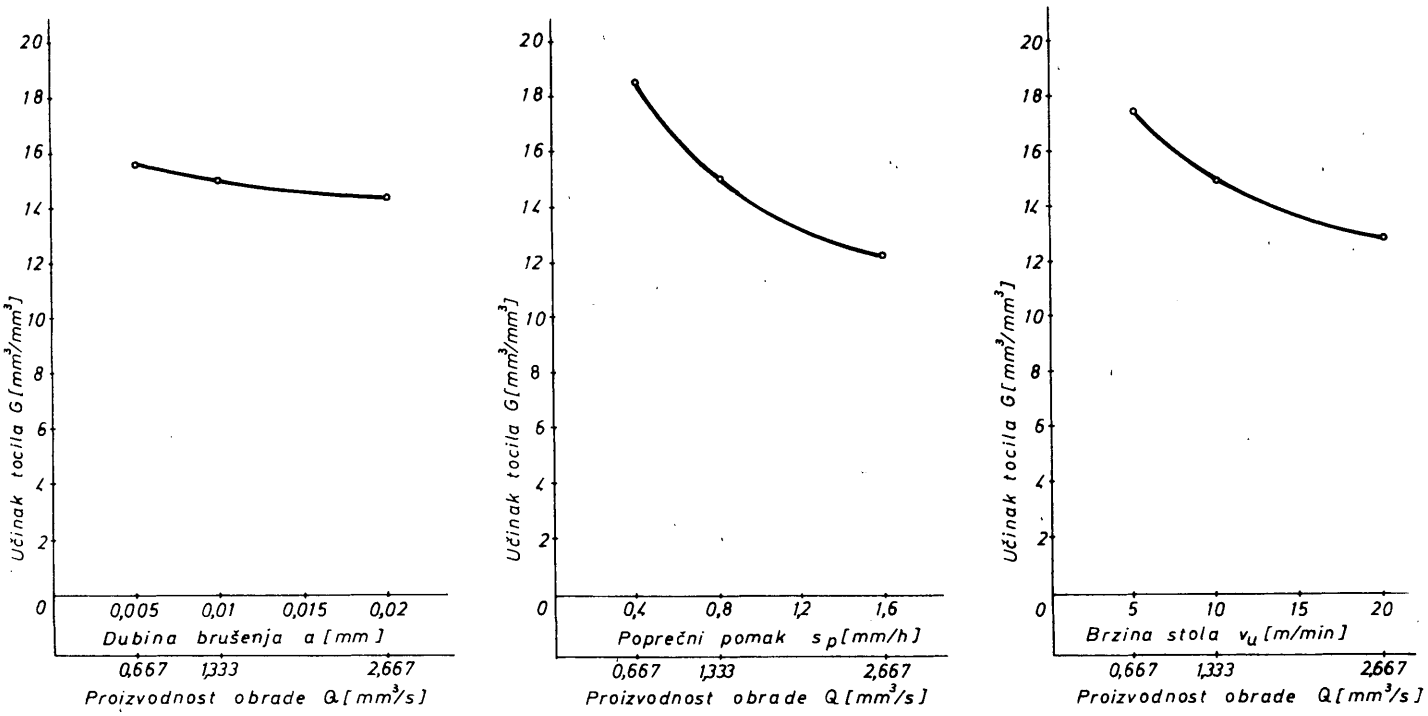
3.1. U č i n a k t o c i l a

Prema podacima iz tabele 1 konstruisani su dijagrami učinka tocila u zavisnosti od elemenata režima brušenja i proizvodnosti obrade i dati na sl. 3.

Uvećanjem elemenata režima brušenja opada učinak tocila, jer su pri većim vrednostima elemenata veći otpori rezanja i sa njima veće vibracije u sistemu čime se smanjuje zapremina obrušenog materijala i povećava trošenja tocila.

Sa slike se takodje uočava da najveći uticaj na učinak tocila ima poprečni pomak, potom brzina stola a najmanji dubina brušenja za posmatrane intervale varijacije.

Analiza krivih na sl. 3 ukazuje na to, da se sa manjim veličinama elemenata režima brušenja do neke oblasti, obezbedjuje veći učinak tocila odnosno ekonomičnije brušenje.



Sl. 3. - Učinak tocila u zavisnosti od elemenata režima brušenja i proizvodnosti obrade

TABELA 1

Varijacije dubine brušenja s_p = 0,8 v_u = 10	a /mm/	Q /mm³/s/	V_t /mm³/	V_m /mm³/	G /mm³/mm³/	t_g /min/
	0,005	0,6667	27,0250		15,5412	14,8624
	0,01	1,3333	28,0799	420	14,9573	7,0110
	0,02	2,6667	29,1751		14,3958	3,3049
Varijacije poprečnog pomaka a = 0,01 V_u = 10	s_p /mm/h/	Q /mm³/s/	V_t /mm³/	V_m /mm³/	G /mm³/mm³/	t_g /min/
	0,4	0,6667	22,7352		18,4735	14,0636
	0,8	1,3333	28,0790	420	14,9578	7,0110
	1,6	2,6667	34,6773		12,1117	3,4901
Varijacije brzine stola a = 0,01 S_p = 0,8	v_u /m/min/	Q /mm³/s/	V_t /mm³/	V_m /mm³/	G /mm³/mm³/	t_g /min/
	5	0,6667	24,1305		17,4053	14,1570
	10	1,3333	28,0795	420	14,9575	7,0110
	20	2,6667	32,6734		12,8545	3,4659

Troškovi tocila:

$T_R(t) = T_R(V_t) + T_R(t_p) + T_R(V_{tp})$

$T_R(V_t)$ /din/kom/ - troškovi trošenja tocila pri brušenju,

$T_R(V_{tp})$ /din/kom/ - troškovi trošenja tocila poravnjavanjem,

$T_R(t_p)$ /din/kom/ - troškovi vremena poravnavanja tocila.

$T_R(V_t) = C_t V_t$;

C_t /din/mm³/ - cena jedinice radne zapremine, tocila,

V_t /mm³/kom/ - zapremina trošenja tocila pri brušenju.

3.2. T r o š k o v i b r u š e n j a

$$T_R = T_R(r.m) + T_R(V_t) + T_R(t_p) + T_R(V_{tp}) \quad (1)$$

Troškovi radnog mesta: $T_R(r.m) = (C_M + C_p)t_g$

C_M /din/min/ - troškovi mašinskog minuta,

C_p /din/min/ - troškovi ličnih dohodaka radnika,

t_g /min/kom/ - glavno vreme brušenja jednog komada.

Usvojene vrednosti:

C_M = 5 din/min - troškovi mašine,

C_p = 15 din/min - lični dohodak radnika,

C_t = 0,05 din/mm³ - cena tocila

V_{tp} = 600 mm³ - zapremina jednog poravnavanja tocila,

t_p = 2 min vreme jednog poravnavanja tocila.

Broj poravnavanja tocila i_p u zavisnosti od elemenata režima brušenja dat je u tabeli 2.

TABELA 2.

Teorijski broj prolaza i za $\delta = 0,1$	20	10	5
a	0,005	0,01	0,02
s_p	0,4	0,8	1,6
v_u	5	10	20
Broj poravnavanja i_p	4	2	1

Na osnovu usvojenih vrednosti i broja poravnavanja tocila iz tabele 2 sračunati su troškovi brušenja za različite veličine elemenata režima brušenja i dati u tabeli 3.

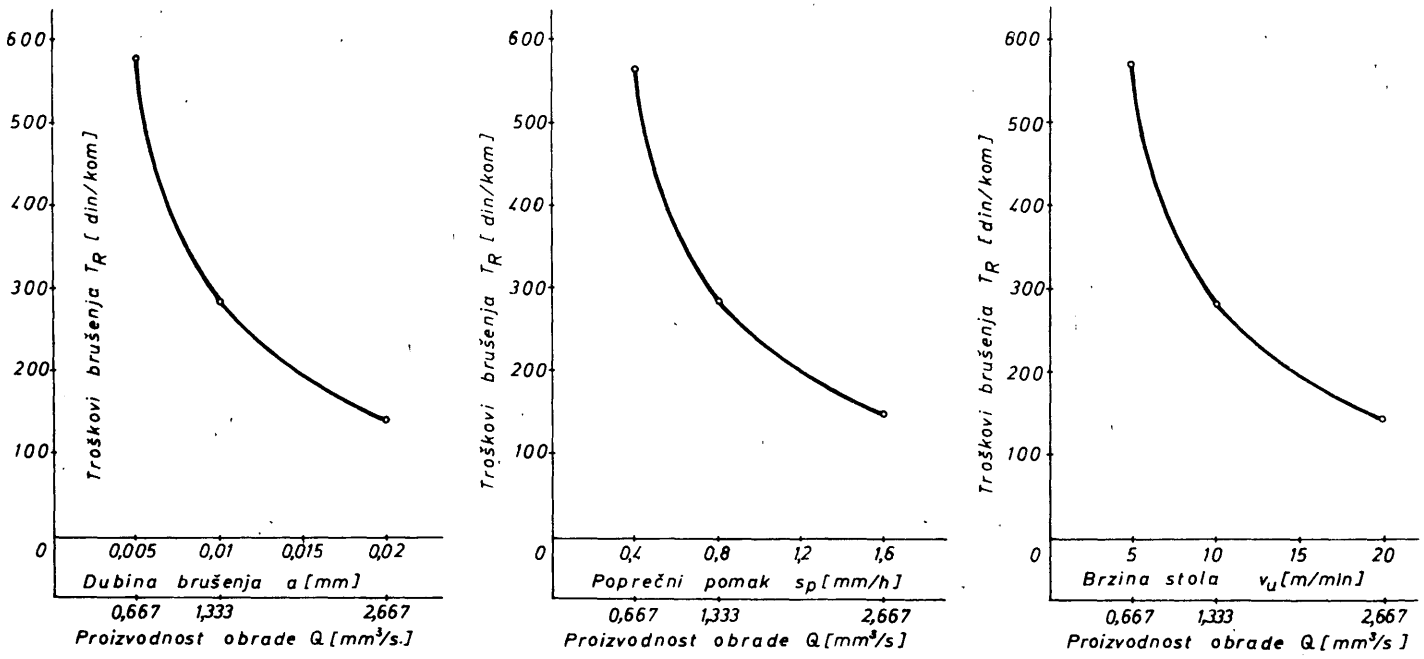
Prema podacima iz tabele 3 dati su dijagrami troškova brušenja u zavisnosti od elemenata režima brušenja na sl. 4.

Prema dobijenim podacima najveći troškovi su dobijeni pri najmanjoj dubini brušenja, jer je tada najveće vreme brušenja, najveći broj poravnavanja tocila i najveće vreme utrošeno na poravnavanje.

Analiza krivih (sl.4) ukazuje na to da je za smanjenje troškova neophodno uvećati proizvodnost obrade, do neke veličine, što drugim rečima znači uvećati veličine elemenata režima brušenja do neke oblasti.

TABELA 3.

Varijacije dubine brušenja $s_p = 0,8$ $v_u = 10$	a /mm/	Q /mm^3/s/	$T_R(r.m)$ /din/kom/	$T_R(V_t)$ /din/kom/	$T_R(V_{tp})$ /din/kom/	$T_R(t_p)$ /din/kom/	T_R /din/kom/
	0,005	0,6667	297,25	1,35	120,00	160,00	578,60
	0,01	1,3333	140,20	1,40	60,00	80,00	281,60
	0,02	2,6667	66,10	1,46	30,00	40,00	137,56
Varijacije poprečnog pomaka $a = 0,01$ $v_u = 10$	s_p /mm/h/	Q /mm^3/s/	$T_R(r.m)$ /din/kom/	$T_R(V_t)$ /din/kom/	$T_R(V_{tp})$ /din/kom/	$T_R(t_p)$ /din/kom/	T_R /din/kom/
	0,4	0,6667	281,20	1,14	120,00	160,00	526,34
	0,8	1,3333	140,20	1,40	60,00	80,00	281,60
	1,6	2,6667	69,80	1,73	30,00	40,00	141,53
Varijacije brzine stola $a = 0,01$ $s_p = 0,8$	V_u /m/min/	Q /mm^3/s/	$T_R(r.m)$ /din/kom/	$T_R(V_t)$ /din/kom/	$T_R(V_{tp})$ /din/kom/	$T_R(t_p)$ /din/kom/	T_R /din/kom/
	5	0,6667	283,20	1,21	120,00	160,00	564,41
	10	1,3333	140,20	1,40	60,00	80,00	281,60
	20	2,6667	69,20	1,63	30,00	40,00	140,83



Sl. 4.-Troškovi brušenja u zavisnosti od elemenata režima brušenja i proizvodnosti obrade

4. ZAKLJUČCI

Elementi režima brušenja imaju različit uticaj na učinak tocila i troškove obrade.

Smanjenje troškova brušenja može se postići povećanjem veličine elemenata režima brušenja.

Učinak tocila i troškovi obrade u najvećem stepenu zavise od poprečnog pomaka.

LITERATURA

/1/ KRŠLJAK B., Optimizacija procesa brušenja alatnih čelika sa stanovišta uticaja karakteristika tocila i uslova obrade. Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd, 1981.

Svim našim čitaocima
želimo
srećnu i uspešnu
1988.
godinu

Redakcija časopisa
"Tribologija u industriji"