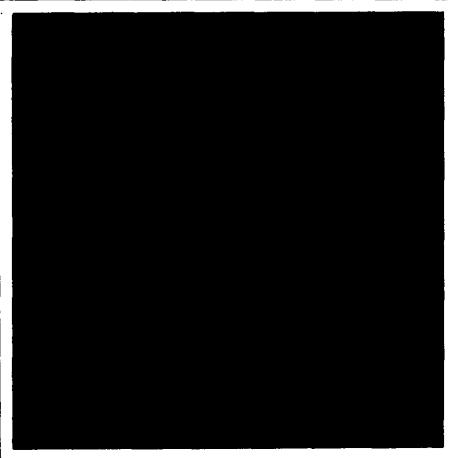
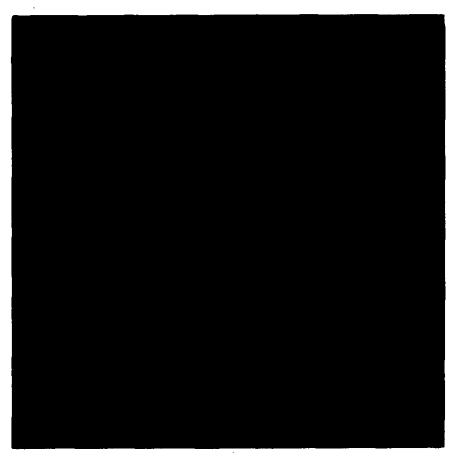
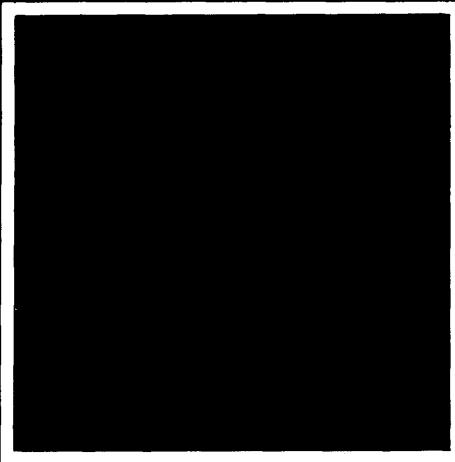
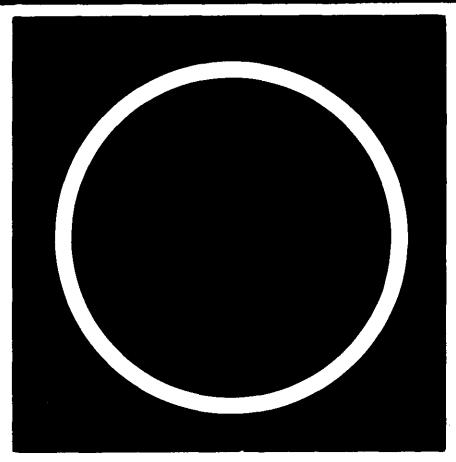
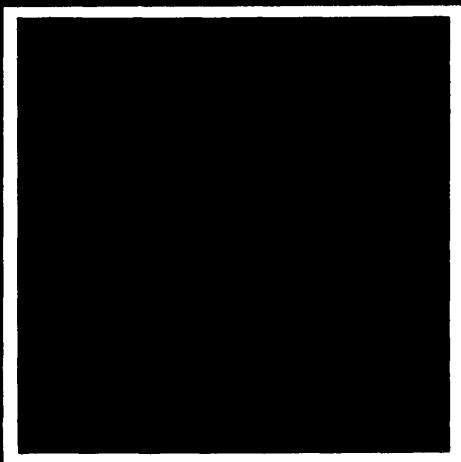


tribologija u industriji

YU ISSN 03551-1642
GODINA IX
DECEMBAR '87.

4



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



tribologija u industriji

sadržaj contents содержание

UVODNIK INTRODUCTION ПЕРЕДОВИЦА	M. NEDELJKOVIĆ: Tehnička dijagnostika u funkciji efikasnosti i produktivnosti - Technical Diagnostics in the function of the Effectively and Productivity - Техническая диагностика в функции эффективности и производительности	99
ISTRAŽIVANJA RESEARCH ИССЛЕДОВАНИЯ	A. RAC: Matematički model za prognoziranje habanja - Mathematical model for wear prediction - Математическая модель прогнозирования изнашивания	101
	B. J. GRIFFITHS: Tehnologija obradjene površine kao deo tehničkih informacija proizvodne strategije - Manufacturing surface technology - a part of manufacturing strategy technical information - Технология обработки поверхности как часть технических информаций производственной стратегии	105
	B. KRŠLJAK: Brušenje alatnog čelika sa povećanim sadržajem ugljenika - troškovi brušenja - Grinding tool steel with increased carbon content - grinding costs - Шлифовка инструментальной стали с повышенным содержанием углерода - расходы шлифовки	109
ZA NEPOSREDNU PRAKSU FOR DIRECT PRACTICE ДЛЯ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ПРАКТИКУ	M. BABIĆ: Savremeni postupci modifikovanja površina	114
NOVOSTI NEWS ИЗВЕСТИЯ	119
KNJIGE I ČASOPISI BOOKS AND JOURNALS КНИГИ И ЖУРНАЛЫ	121
NAUČNI SPUKOVI SCIENTIFIC MEETINGS НАУЧНЫЕ СОБРАНИЯ	125
REZIMEA ABSTRACTS РЕЗЮМЕ	127

M. NEDELJKOVIĆ

Tehnička dijagnostika u funkciji efikasnosti i produktivnosti

Pouzdanost i trajnost su kvalitativni pokazatelji svih tehničkih objekata koji direktno uslovjavaju njihovu proizvodnost i ekonomičnost. Pouzdanost predstavlja sposobnost tehničkog objekta da izvršava zadatu funkciju u određenim uslovima za određeni 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 takođe i principe stvaranja sredstava za dijagnosticiranje radnog stanja celog objekta dijagnosticiranja ili određenih substruktura toga objekta. Tehnička dijagnostika obuhvata tri tipa zadataka koji određuju stanje radne sposobnosti tehničkih objekata.

Prvi tip zadataka se odnosi na prognoziranje stanja objekta za budući određeni trenutak vremena. Ovaj tip zadataka se može nazvati *dijagnastička 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 stan-

nja objekta koji mogu biti uzrok nekog avarijnog otkaza. Ovaj kompleks zadataka se može nazvati *tehničkom genetikom*. Rešavanjem skupa ovih zadataka dobija se jasna slika o ranjem, trenutnom i verovatnom budućem stanju objekta u njegovoj evoluciji stanja pri izvršavanju radne funkcije po određenom radnom algoritmu.

Svaki tehnički objekat, postrojenje, tehnološka linija ili mašinski sistem egzistira u dve oblasti: u oblasti njegove proizvodnje i u oblasti njegove eksploracije. U svakoj oblasti objekat mora da zadovolji određene 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 određenim uslovima.

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

U oblasti eksploracije radi profilaktike objekta vrši se *provera radne sposobnosti* objekta, koja može biti neotkrivene neispravnosti koje ne ometaju eksploraciju 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 eksploracije 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 utvrđivanja

mesta i uzroka pojave neispravnosti ili otkaza. Analognim pokazivanjem da je temperatura rashladne tečnosti u motoru sa unutrašnjim sagorevanjem visoka još ostaje utvrđeno 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 utvrđivanja 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 određenim 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) predviđenih 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 utvrđivanja ukupnog rezultata dijagnosticiranja. Poznato je da se svaki algoritam dijagnosticiranja može predstaviti orijentisanim grafom.

Algoritam dijagnosticiranja se realizuje pomoću mernih instrumenata, programa i kombinovanim programno-instrumentalnim načinom. Merni instrumenti mogu biti nezavisni od objekta dijagnoze, ili su funkcionalno ugrađeni u objekat. U prvom slučaju nazivaju se spoljašnjim (nezavisnim), a u drugom slučaju unutarnjim (ugradbenim) instrumentariumom. Spoljašnja merna sredstva mogu biti ručna, poluautomatska i automatska. Unutarnji instrumentarium 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 linije 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 nepotrebognog 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.

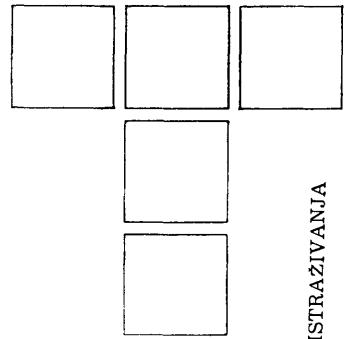
Teorija tehničke dijagnostike objekte dijagnoze deli na kontinualne, diskretne kombinovane i diskretne objekte sa memorijom.

Posebno mesto u ovoj teoriji imaju greške dijagnosticiranja: greške pri utvrđivanju 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 oceňuje 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.

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 tribomehaničkih sistema nastaje usled habanja. Takođe 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 uslovjen je potrebot za razvojem novih tehniki 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 spolješje i unutrašnje.

trašnje. U spolješje se ubrajaju oni koji se tokom eksploracije menjaju u određenim, dopuštenim granicama (pritisak, brzina, temperatura, režim podmazivanja, itd.). U unutrašnje faktore spadaju oni koji pod dejstvom spoljnijih mogu da menjaju svoja svojstva (fizičko-mehaničke karakteristike materijala, frikcionala svojstva, strukturu površinskih slojeva materijala itd.). Uspostavljanje veze između uslovno uzetih spoljnijih i unutrašnjih faktora daje analitičke metode za prognoziranje veličine habanja, a time i veka trajanja posmatranog elementa tribosistema.

U opštem slučaju intenzitet habanja se može izraziti jednakošću

$$T_{h_i} = \phi_h A,$$

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 tribosistema 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/:

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

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

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

Za adhezivno habanje najpoznatija je jednačina Erčarda koja se može iskazati jednakostu /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 potvrđuju njihovu upotrebnu vrednost. Međutim, kao osnovni problem javlja se određivanje 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 Rabinovića /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, među kojima se ističu Kraježki, Kombalov, Dobičin, Pronikov, Grib i drugi razvili su različite modele za prognoziranje habanja /12, 13, 14, 15/. Najznačajnija su svakako istraživanja Krageljskog 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 bezdimenzionalni intenzitet linearног habanja ima vid:

$$I_h = C \left(\frac{P\theta}{K_u^n} \right)^{1+\beta t} \cdot \Delta^{\frac{t}{2}} (1-\beta) \cdot \left(\frac{K_u^y}{\sigma_0 \theta} \right)^t \cdot n_k g$$

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

$$I_h = 2^{\frac{t+1}{2}} \cdot C \left(\frac{P}{K_u^n} \right)^{1-\beta} \cdot \Delta^{\frac{1+t}{2}} \cdot \left(\frac{K_u^y}{\sigma_0} \right)^t \cdot n_k g$$

U navedenim izrazima veličine C , θ , β , K_u^y , Δ i n su konstante vezane za svojstva materijala, dok konstante K_u^y i K_u^n obuhvataju uticaj veličine trenja na habanje, σ_0 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 tvrdoča i relativno izduženje pri kidaču, su direktno povezane sa intenzitetom habanja. Zbog toga su materijali veće tvrdoče i veće sposobnosti da se deformatišu bez kidanja mnogo povoljniji sa gledišta habanja. Međutim, prikazane jednačine su složene za praktičnu primenu jer zahtevaju poznavanje velikog broja parametara neophodnih za određivanje odgovarajućih koeficijenata. Takođe, 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 uspešivna režima habanja. Prvi je nazvan "nulto" habanje, a drugi "merljivo" habanje. Nulto habanje označava onu veličinu habanja koja ne prelazi početne hrapavosti površine. Analitički izraz razvijen za ovaj režim habanja glasi:

$$z_o = \frac{2 \cdot 10^3}{n} \left(\frac{\phi_o \tau_y}{\tau_{max}} \right)^9$$

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

U dатој једначињи z_0 је век трајања за нулто хабање, n је број пролаза или међудејствта за усвојену јединицу предјеног пута, ϕ_0 је фактор нултог хабања, τ_y је напон смicanja на граници tečenja материјала и τ_{max} је највећи напон на smicanje izračunat za početnu geometriju.

Vek трајања z_0 искажује се обично као време, број обртaja, ходова или oscilација за које се постиже нулто хабање.

Број пролаза n за усвојену јединицу пута (један обртaj, ход, oscilaciju itd.) одређује се у зависности од услова додира посматраних елемената. При томе се елементи условно деле на оптерећене и неоптерећене. Ако је посматрана тачка елемента изложена оптерећењу и растерећењу током кретања, такав елемент се назива неоптерећен. Оптерећен је онaj део код кога је посматрана тачка у области додира оптерећена све време кретања. За оптерећен елемент величина n је одређена изразом:

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

где је: l - дужина изabrane единице пута, s - ширина површине додира у правцу кретања.

За неоптерећен део $n = 1$.

Фактор нултог хабања ϕ_0 се одређује експериментално, али се са довољном тачношћу могу користити већ utvrđene вредности:

- за услове тренja сувих површин $\phi_0 = 0,2$,
- за услове граничног подмазivanja са мазивима која садрže адитиве $\phi_0 = 0,54$ и
- за квазидинамичко подмазivanje $\phi_0 = 0,54-1,0$.

Мрљиво хабање је дефинисано као реžim хабања при коме је геометрија површине знатно изменjena у односу на почетну. Автори су усвојили да mrљivo хабање почиње у тачки за коју је средња дубина трага хабања једнака вредности половине почетне вредности максималне храпавости површине ($1/2 R_{max}$).

За овај реžim хабања су уstanovljene sledeće зависности:

- за малу тендenciju transfera материјала

$$d | \frac{A}{(\tau_{max}, s)^{9/2}} | = C_{(z_0)} \frac{l}{s} dz$$

- за високу тендenciju transfera материјала

$$dA = C_{(z_0)} \frac{l}{s} dz,$$

где је: A - површина попреčног пресека трага хабања у ravni upravnoj na правцу кретања, $C_{(z_0)}$ - константа зависности од z_0 ,

за случај да је геометрија елемената таква да се димензије додирне површине нормално на правцу кретања не менјају током хабања, производ (τ_{max}, s) је стапан што označava да су једначиње у основи исте. То ваži за većinu praktičnih slučajeva код којих је додир по линији или површини.

Konstanta $C_{(z_0)}$ одређује се експериментално или аналитички користећи једначињу за нулто хабање и усвајајући као гранични услов да је за век трајања z_0 средња дубина трага хабања једнака једној половини од R_{max} .

За практичну примenu, дати прораčун се своди на одређивање и избор таквих konstruktivnih параметара да је задовољена sledeća jednakost:

$$h = h_0 \left(\frac{z}{z_0} \right)^m$$

где је: h - дубина трага хабања за век трајања, z , h_0 - је дубина трага хабања која одговара веку трајања нултог хабања z_0 , m - eksponent који зависи од геометрије, кретања и начина хабања.

Eksponent m се одређује експериментално или се користе већ одредјене вредности које су npr. date grafički u radu navedеном u literaturi pod brojem 20.

Na kraju ovog pregleda треба споменути већ дugo коришћени израз за одређивање величине хабања путем tzv. $p.v$ производа који је применљив код једноставних nepodmazivanih sistema чији су делови u relativnom klizanju. Intenzitet хабања се може изказати једначињом:

$$I_h = \phi_h \cdot p \cdot v$$

где је: ϕ_h - фактор хабања, p - specifično оптерећење, v - brzina klizanja.

Медјутим i ovde постоје проблеми са одређивањем величине фактора хабања, као и оцене границе dozvoljenih вредности засебно за p и засебно за brzinu v /22/. Ипак, u nedostatku drugih mogućnosti i ovaj način daje korisne информације. Dozvoljene p i v вредности, као и фактори хабања moraju se за dati sistem da određe eksperimentalno.

ZAKLJUČAK

Poznavanje numeričkih podataka за величину хабања или отпорност на хабање за изabrani материјал neke konstrukcije u datim условима rada postaje od posebnog значаја за konstruktoare, naročito u situacijama kod којих male promene u dimenzijama ili kvalitetu površine znače neispravnost sistema.

Za rešavanje problema хабања u stadijumu проектиvanja машина i pri prognoziranju хабања u процесу експлоатације, што se do skora vršilo na osnovu empirije ili

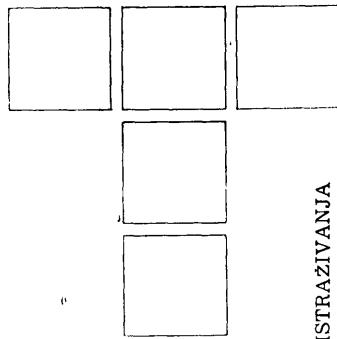
ili dugotrajnih ispitivanja, zahvaljujući razvitu analitičkih metoda postaje sve realnije. To daje osnovu da se tvrdi da će proračun elemenata mašina u budućnosti obavezno da obuhvati i proračun na habanje.

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 Tribology, 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 coefficient 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 trenje i iznos, Mašinostrojenie, Moskva, 1977.
- /14/ V. S. KOMBALOV, Ocena tribotehničkih svojstv kontaktirajuščih poverhnosti, Nauka, Moskva, 1983.
- /15/ V.S. KOMBALOV, Theretical Fundamentals of Prediction of Life of Materials by Wear Factor, Eurotrib'81, Proc. vol. 1, 230-239, Warszawa, 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 Analytical Design for Wear, Plenum Press, New York, 1964.
- /22/ D. VITAS, Mašinski elementi, Naučna knjiga, Beog 1960.

B. J. GRIFFITHS



ISTRASIVANJA

Tehnologija obradjene površine kao deo tehničkih informacija proizvodne strategije

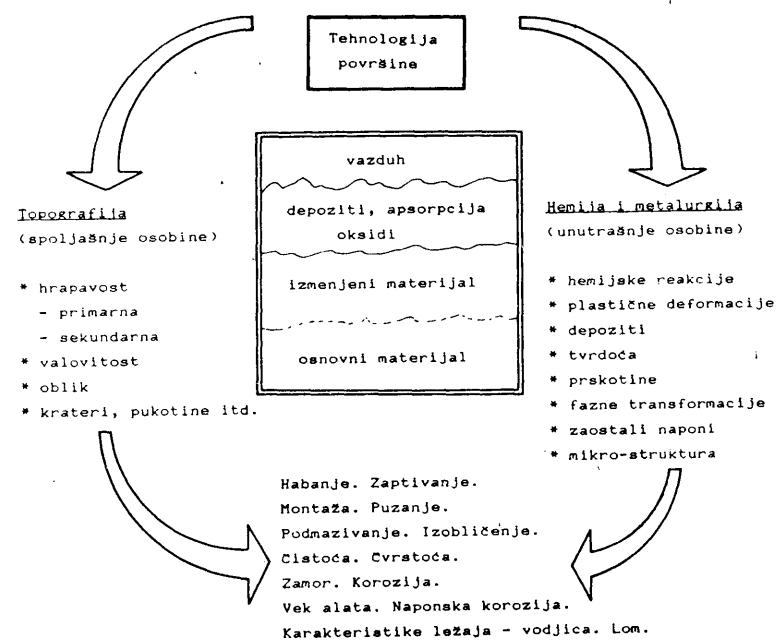
UVOD

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 metrološ pod tim podrazumeva kvalitet površine. Međutim, 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 pokaz-

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 predstavlja i implikacije odgovornosti za proizvod.

PRAZNINE U KOMPЈUTERSKI PODRŽANOM KONSTRUIRANJU (CAD)

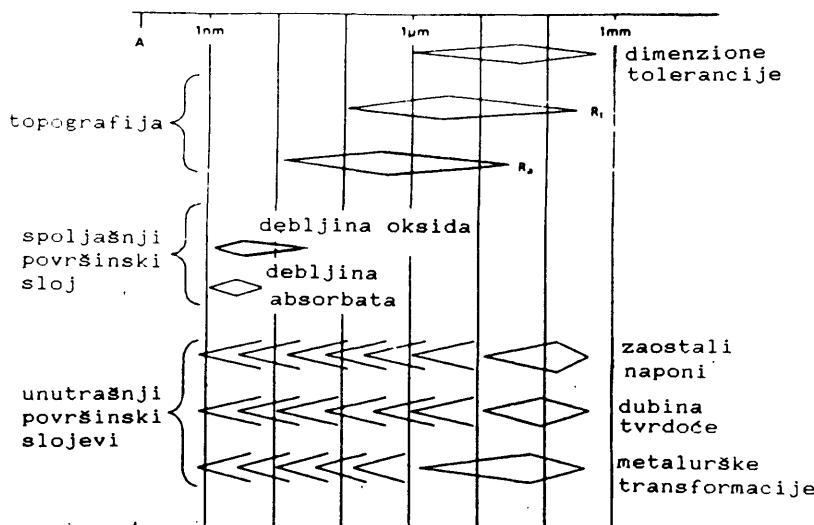
Kao posledica najnovije sistemske tehnologije, u metaloprerađivačkim fabrikama postoji trend da se donošenje tehnoloških odluka odvoji od proizvodnog pogona i poveri konstruktoru za terminalom. Zbog toga se informacije o tehnologiji površine, kao i odluke koje su ranije donošene na bazi intuicije, iskustva 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 zadovoljavanja određenih eksploatacionalih 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 pomaže u određivanju obradne strategije.



Sl. 1. - Opštе osobine tehnologije površine i eksplatacionali parametri na koje oni utiču

ano da svi oni imaju uticaja na eksplatacione karakteristike navedene ispod slike 1 /1/. Nadalje, poznato je da

Svaka površina raspolaže različitim unutrašnjim i spoljašnjim osobinama koje, zajedno, čine celinu. Pojednostavljeni, 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 katastrofalni. 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 metarurg vidi.



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

Na primer, ako se merenja neravnina Zemljine površine od Velsa do Esekса, 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 transfor-

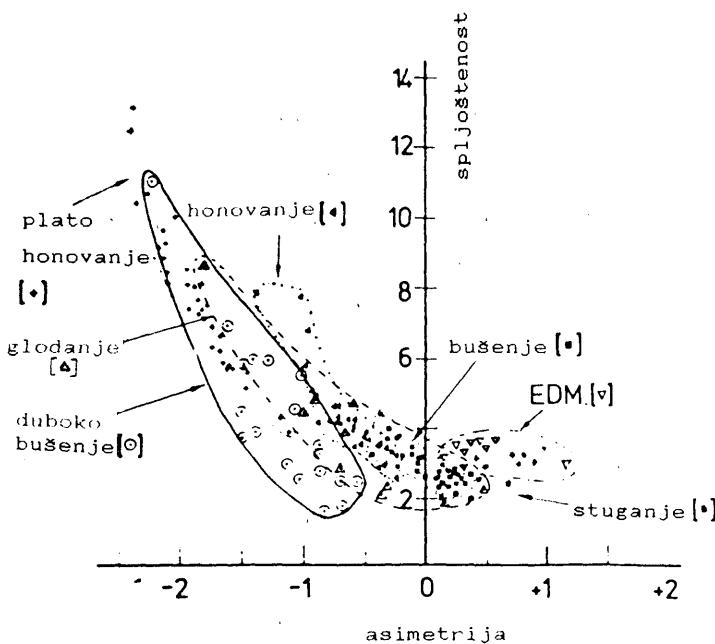
macija, tvrdoće ili zaostalih napona, mogu na nivou Zemljine površine da budu uporedive sa debljinom kore, tj. reda desetina kilometara, što je za jedan red veličine veće od visine neravnina.

TOPOGRAFIJA POVRŠINA

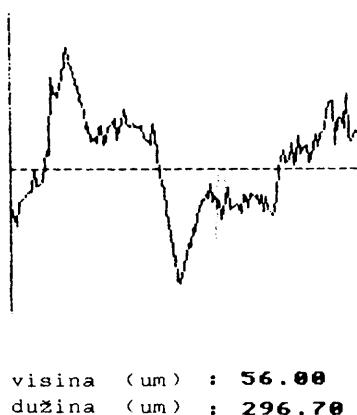
U prošlosti, uobičajeni metod ocenjivanja kvaliteta površine sastojao se od korišćenja parametra R_a . U tom metodu postoje ozbiljna ograničenja, a jedno od njih je i nemogućnost razlikovanja identičnih pozitivnih i negativnih profila. Tokom nekoliko zadnjih godina došlo je do razvoja digitalnih metoda 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 Casuse 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 R_a . Ta vrsta informacija može se lako pridružiti CAD bazama podataka i direktno povezati sa eksplotacionim pokazateljima, jer se na istim dijagramima mogu definisati i eksplotacione 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 eksplotacije, na raspolaganju se nalazi mnogo parametara.

U praksi je uobičajeno da se prvo izradi površina, a zatim određuju njene karakteristike. Narasle mogućnosti i pogodnosti digitalnog računanja pružaju mogućnost za obrtanje ovoga procesa, tako da se površina projektuje za određenu 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 određenog profila sa odgovarajućim parametrima koji je opisuju. Po određivanju 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



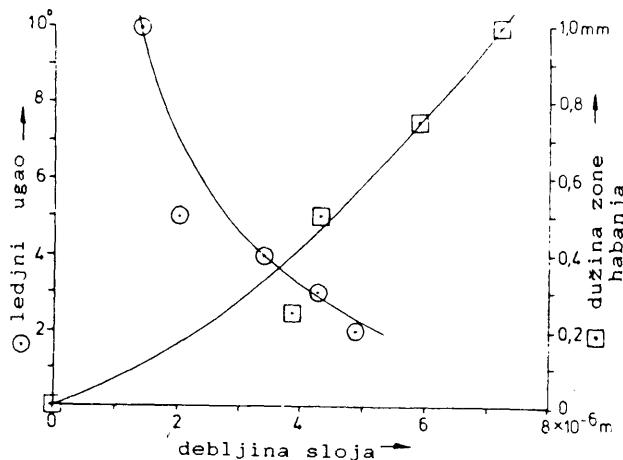
Sl. 4. - Kompjuterski generisan profil površine

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 al. itd., stvaraju se mogućnosti za analizu ukupne cene int-

egriteta 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, međutim, 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 međusobno 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 Vickersove 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

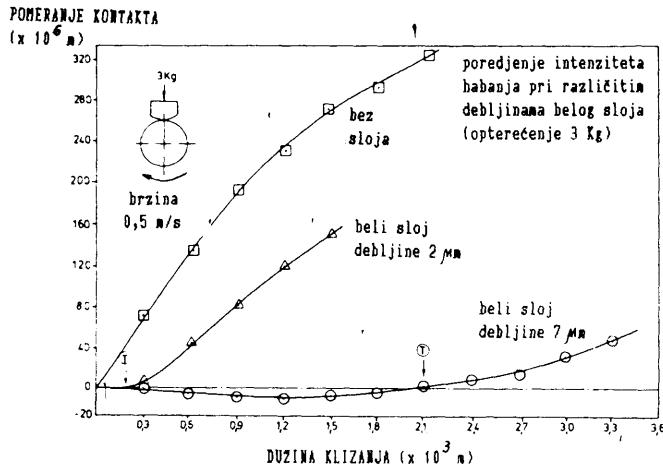


Sl. 5. - Uticaj dužine veštačke zone habanja i ledjnog ugla noža na debljinu (beglog) sloja

površine mogu izraditi uzimanjem u obzir njihove metalurgijske karakteristike.

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, prijanjanje, bojenje, ili habarje. Prema tome, dve o-
pšte oblasti, kao što su metalurgija i topografija, pred-
stavljaju samo vrh ledenog breča tehnologije obrade povr-
šina.

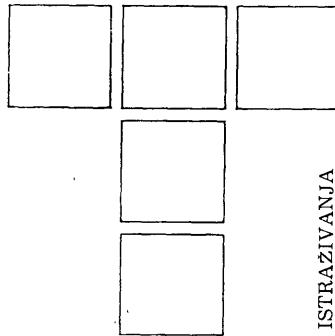
ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

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 predviđanja 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 Edition, 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.



Brušenje alatnog čelika sa povećanim sadržajem ugljenika – troškovi brušenja

1. UVOD

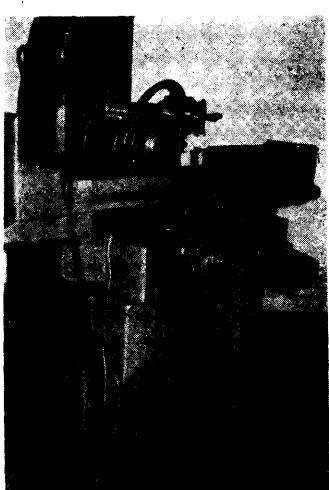
Alatni čelici sa povećanim sadržajem ugljenika odlikuju se lošom brusivosti tj. niskom vrednosti učinka tocila i visokim troškovima obrade. Na parametre za ocenu efikasnosti procesa brušenja utiče mnogo faktora vezanih za karakteristike tocila, obratka i mačine na kojoj se vrši obrada i uslova rada.

Utvrđivanje 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 režira brušenja na učinak tocila i troškove obrade pri ravnom brušenju alatnog čelika konvencionalnim tocilom.

2. USLOVI IZVODJENJA ISPITIVANJA I METODOLIČIJA

Ispitivanja su izvodjena na brusilici za ravno brušenje sa pravougaonim radnim stolom i horizontalnim radnim vretenom tip 3G71 proizvedene u Sovjetskom Saveznu, 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

$100 \times 42 \times 20$ 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 $\alpha = (0,005; 0,01; 0,02)$ mm.

Dodatak za brušenje je bio $\delta = 0,1$ mm.

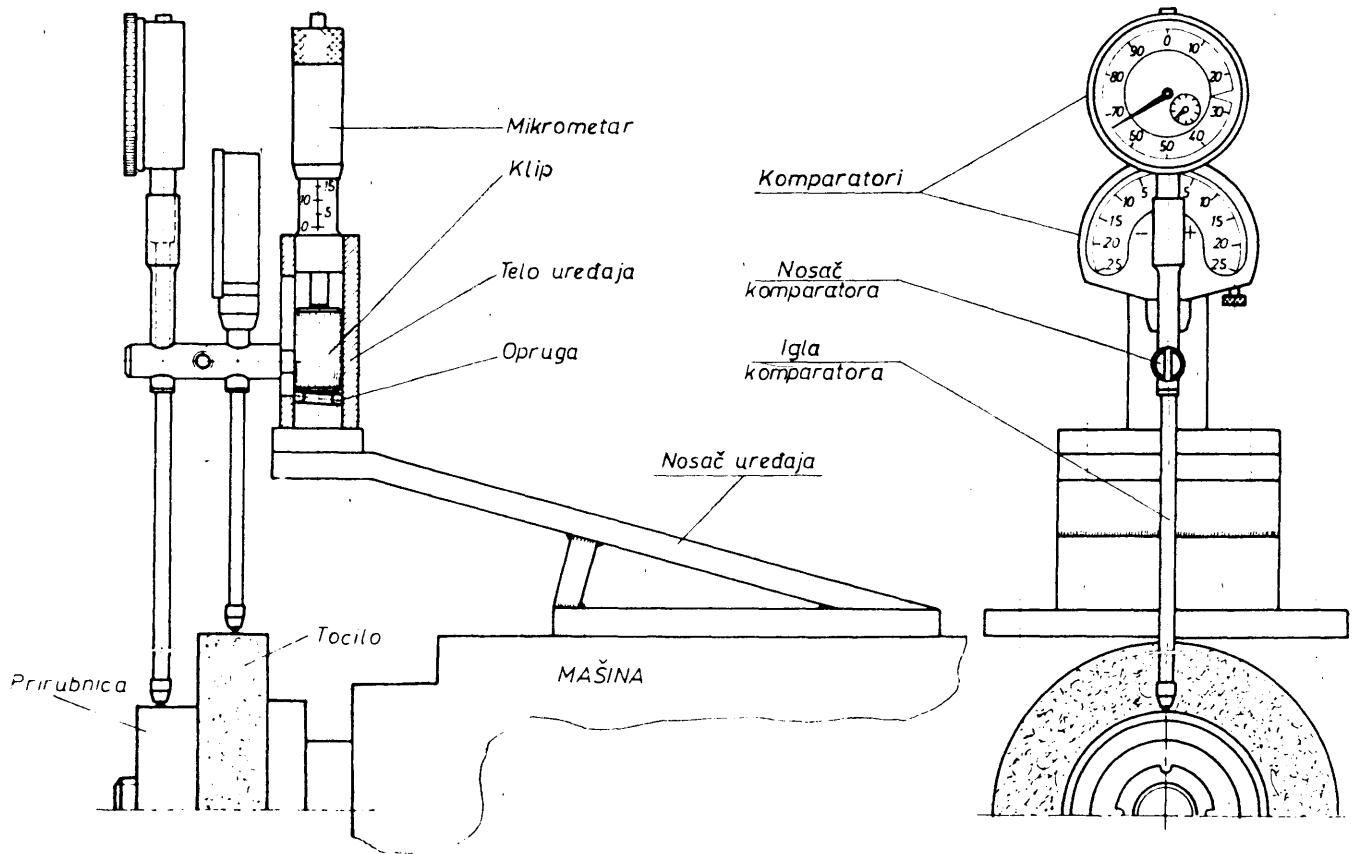
Pre svakog eksperimenta tocilo je poravnavano jednozrnnim dijamantskim poravnjivačem.

Kod svih eksperimenata korišćeno je rashladno sredstvo, ulje za hladjenje "Castrol ilogrind 483", a klinčina 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; $\alpha = 0,01$ 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 ($\alpha = 0,01$ mm, $s_p = 0,8$ mm/h), a varirana je vrednost brzine stola $v_u = 5, 10$ i 20 m/min.

Učinak tocila $G = V_m/V_t$ (mm³/mm³), definisan je odnosom stvarne zapremine obrušenog materijala V_m (mm³) i zapremine trošenja tocila V_t (mm³). Stvarna zapremina obrušenog materijala je određivana 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 uzirana 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 doveđu na nulte podeoke pomeranjem mikrometra i tačno položaj na mikrometru zabeleži. Posle završenog eksperimenta doveđe se mikrometar na zabeleženi podeok tada bazni komparator stupa u dodir sa prirubnicom, a merni pokazuje odstupanje od nultog podeoka koje predstavlja ΔR .

Pričvršćenost obrade = zapremina materijala obrušenog u jedinici vremena računa se po obrascu

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

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.

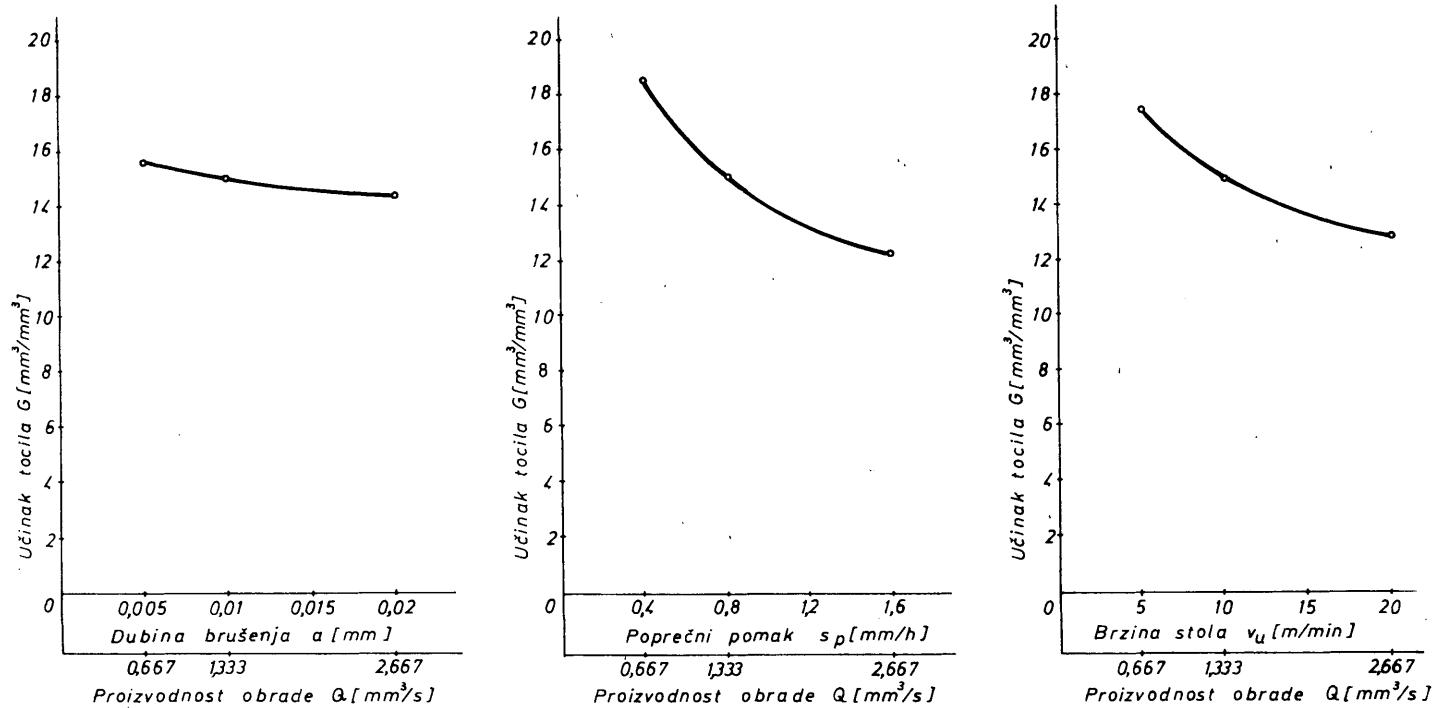
3.1. Učinak tocila

Premda 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 otjori rezanja i sa njima veće vibracije u sistemu čime se smanjuje zapremina obrušenog materijala i povećava trošenja tocila.

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

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



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

TABELA 1

Varijacije dubine brušenja	α /nm/	Q /mm ³ /s/	V_t /mm ³ /	V_m /mm ³ /	G /mm ³ /mm ³ /	t_g /min/
$s_p = 0,8$	0,005	0,6667	27,0250		15,5412	14,8624
$v_u = 10$	0,01	1,3333	28,0799	420	14,9573	7,0110
	0,02	2,6667	29,1751		14,3958	3,3049
Varijacije poprečnog pomaka	s_p /mm/h/	Q /mm ³ /s/	V_t /mm ³ /	V_m /mm ³ /	G /mm ³ /mm ³ /	t_g /min/
$\alpha = 0,01$	0,4	0,6667	22,7352		18,4735	14,0636
$v_u = 10$	0,8	1,3333	28,0790	420	14,9578	7,0110
	1,6	2,6667	34,6773		12,1117	3,4901
Varijacije brzine stola	v_u /m/min/	Q /mm ³ /s/	V_t /mm ³ /	V_m /mm ³ /	G /mm ³ /mm ³ /	t_g /min/
$\alpha = 0,01$	5	0,6667	24,1305		17,4053	14,1570
$s_p = 0,8$	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 br
ušenju,

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

$T_R(t_p)$ /din/kor/ - 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 troš
enja tocila pri bruše
nju.

3.2. Troškovi brušenja

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

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

C_M /din/min/ - troškovi mašinskog minuta,

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

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

Usvojene vrednosti:

$C_M = 5$ din/min - troškovi mašine,

$C_F = 15$ 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 elem
enta režima brušenja dat je u tabeli 2.

TABELA 2.

Teorijski broj pro-laza 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 točila iz tabele 2 sračunati su troškovi brušenja za različite veličine elemenata režima brušenja i dati u tabeli 3.

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

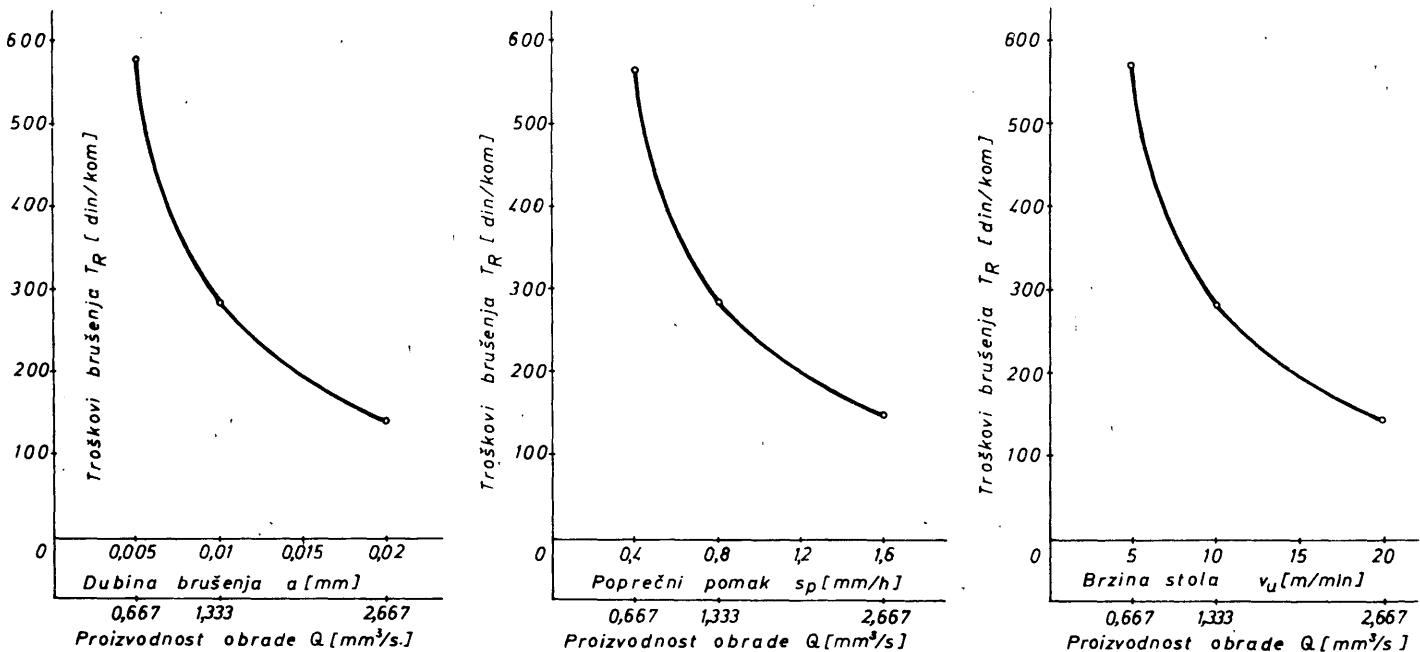
Premda dobijenim podacima najveći troškovi su dobijeni pri najmanjoj dubini brušenja, jer je tada najveće vreme brušenja, najveći broj poravnavanja točila i najveće vreme utrošeno na poravnavanje.

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.

Varijacijski parametri	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/
dubine brušenja $s_p = 0,8$ $v_u = 10$	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
Varijacijski parametri 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
Varijacijski parametri 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 čeličkih 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"