



tribologija u industriji

sadržaj contents содержание

UVODNIK INTRODUCTION ПЕРЕДОВИЦА	Umosto uvodnika - Instead Introduction - В месте передовицы	35
ISTRAŽIVANJA RESEARCH ИССЛЕДОВАНИЯ	M. KOKIĆ: Proaktivnost složenih obradnih sistema u zavisnosti od stepena pohabanosti ključnih elemenata - Productivity of The Machining Systems as a Function of The Degree of Wear of The Key Elements of The Tribomechanical System - Производительность сложных обрабатывающих систем в функции степени изношенностии важнейших элементов трибомеханических систем	37
ZA NEPOSREDNU PRAKSU FOR DIRECT PRACTICE ДЛЯ НЕПОСРЕДСТВЕННОЮ ПРАКТИКУ	B. IVKOVIĆ: Uticaj razvoja metaloprerađivačke industrije na sredstva za hlađenje i podmazivanje u obradi rezanjem - The Influence of The Development of The Metalworking Industry on The Coolants And Lubricants In The Machining By Cutting - Влияние развития металло обрабатывающей промышленности на смазочно - охлаждающие средства в обработке резанием	41
TRIBOLOŠKI REČNIK GLOSSARY OF TRIBOLOGY TERMS СЛОВАРЬ ПО ТРИБОЛОГИИ	S. SEKULIĆ: Korelacija između najveće visine neravnina i srednjeg aritmetičkog odstupanja od srednje linije obradene površine - Correlation Between The Largest Height of Roughness and The Mean Arithmetic Deviation of The Profile From The Middle Line Of The Machined Surface - Соотношение максимальных неровностей и среднего арифметического отклонения профилей от средней линии обработанной поверхности	46
KNJIGE I ČASOPISI BOOKS AND JOURNALS КНИГИ И ЖУРНАЛЫ	P. DAŠIĆ, R. JEČMENICA: Analiza efektivnosti obrade primenom reznih alata od keramike - Analysis of The Machining Efficiency By Application of The Ceramic Cutting Tools - Анализ эффективности обработки при применении керамического режущего инструмента	51
NAUČNI SKUPOV SCIENTIFIC MEETINGS НАУЧНЫЕ СОБРАНИЯ	B. IVKOVIĆ, D. KAROVIĆ: Tribološke karakteristike odvalnih glodalaca sa i bez TiN prevlaka	56
REZIMEA ABSTRACTS РЕЗЮМЕ	58
	59
	62
	63

Umesto uvodnika

Programi istraživanja u svim oblastima nauke i tehnologije pa i iz oblasti tribologije sastavljaju se za naredni petogodišnji period u većini naučnoistraživačkih organizacija i univerzitetskih laboratorijskih upravo u ovoj godini. Takodje se pripremaju i dugoročni programi istraživanja čija se realizacija očekuje u poslednjim godinama ovog veka. Čini nam se da će neka razmišljanja o pravcima istraživanja u oblasti tribologije u poslednjoj deceniji ovog veka, izložena u uvodnom referatu Predsednika Internacionalnog Tribološkog Komiteta H. Pitera Josta na poslednjem Evropskom kongresu o tribologiji "EUROTRIB'89" i objavljenom u časopisu WEAR prošle godine, biti veoma korisna i domaćim triboložima pri koncipiranju programa budućih istraživanja. Ovo je razlog zbog koga se redakcija odlučila da deo referata koji se odnosi na moguće pravce istraživanja u narednom periodu iz oblasti tribologije priredi i objavi ih na ovom mestu.

U budućim programima istraživanja prvi deo se odnosi na MATERIJALE I TEHNOLOGIJU. Prema definiciji koju su formirali Belij i Sviridyonok "Nauka o tribomaterijalima predstavlja vezu između rezultata teorijskih studija u tribologiji i ogromne količine postojećeg znanja formiranih u oblasti trib-inžinjerstva". Predviđa se da će razvoju materijala sa tribološkog aspekta biti posvećena velika pažnja u godinama koje dolaze i to kako sa gledišta fundamentalnih tako i sa gledišta primenjenih istraživanja. Istraživanja u oblasti materijala treba da dovedu do:

- Materijala koji mogu i u uslovima vakuma da zadrže njihove tribološke karakteristike dugo vremena (3 do 15 godina).
- Metalnih kompozicija, posebno termički stabilnim, sa vrlo visokom termičkom i električnom provodljivošću.
- Materijala koji će sa tribološkog aspekta biti veoma pouzdani.
- Kompozitnih materijala sa polimernim matricama.
- Materijala sposobnih za tribološke interakcije i na temperaturama od 100 °C do 900 °C.

Druga vrsta istraživanja iz oblasti materijala odnosiće se i dalje na nalaženje novih i poboljšanje postojećih postupaka za značajno povećanje triboloških karakteristika površinskih slojeva. Modifikacije površina radi poboljšanja njihovih triboloških karakteristika biće razmatrane u istraživačkim programima i sa hemijskog i sa fizičkog aspekta. Jonska implantacija koja još uvek nije našla veliku primenu u industrijskoj praksi treba da obezbedi površinsku modifikaciju u slojevima debljine od 0,1 do 5 mikrometara. Raspolažanje sa materijalima čije su tribološke karakteristike vrlo velike, zahtevaće preispitivanje konstrukcija mnogih mehaničkih sistema. Na primer, mogućnost maziva da vrše svoju funkciju i pri 600 °C može da dovede do dramatičnih promena u konstrukciji motora sa unutrašnjim sagorevanjem. Manje trenje u zonama kontakta i usporeni procesi habanja zahtevaće i preispitivanje brojnih prenosnika snage i kretanja. U oblasti podmazivanja postoje danas brojna teorijska rešenja, naročito za slučaj hidrodinamičkog podmazivanja. Razvijeno je više teorija, modela i formula za proračun. Za slučajeve suvog trenja i graničnog podmazivanja, na primer teorijskih modela i metoda proračuna koji bi

pomogli konstruktorima ima veoma malo. Poseban problem su teorije habanja. Na ovim poljima očekuje se da buduća istraživanja daju značajne doprinose.

Tribologija obradnih procesa (procesi rezanja i deformisanja) je treća važna oblast u kojoj se predviđaju značajna istraživanja u narednom periodu. Promene u materijalima alata, predmeta obrade i sredstvima za hladjenje i podmazivanje zahtevaće detaljne informacije o njihovim tribološkim karakteristikama da bi se na odgovarajući način povećala efikasnost proizvodnih procesa.

Istraživanja u oblasti tečnih maziva treba da dovedu do maziva sposobnih da vrše svoju funkciju i u uslovima visokih temperatura. Postojeća maziva izgradjena na bazi ugljovodonika neće moći da odgovore ovom zadatku jer njihova primena nije moguća iznad 150-200 °C. Novi materijali za ova maziva moraju biti istraženi. Upotreba čvrstih maziva je još uvek veoma mala. Istraživanja u oblasti ovih maziva veoma mnogo obećavaju ali je već sada jasno da su potrebni razvoj novih maziva i razrada novih sistema podmazivanja. Očekuje se da u bliskoj budućnosti dodje do značajnih rezultata istraživanja u ovoj oblasti i do znatno

veće primene čvrstih maziva u industriji.

Postupci (sistemi) magnetnog i elektromagnetnog podmazivanja su već u upotrebi u mehaničkim sistemima u kojima se zahteva izuzetno malo trenje. Njihov budući razvoj usmeren je na samo na ležišta već i na zaptivne sisteme. U oblasti materijala i maziva napravljen je već sada značajan naučni i tehnološki progres, a očekuju se i nova dostignuća. Međutim, primena novih materijala, maziva i novih saznanja u celini nije uvek i ekonomična u industrijskoj praksi. Nova saznanja u ovoj oblasti treba da omoguće ekonomičnije i pouzdanije funkcionisanje tribomehaničkih sistema u praksi.

Drugi deo u budućim istraživanjima odnosi se na tribometriju, razvoj merne instrumentacije, tribodiagnostiku i standardizaciju. Tribometrija treba da omogući merenje brojnih parametara triboloških procesa i praćenje njihovih promena sa vremenom. Smatra se da se tribometrija sada nalazi u početnoj fazi razvoja i da mnoge promene u ovoj oblasti mogu da nastanu kroz buduća istraživanja. U okviru tribometrije treba da se razviju i standardizuju metode ispitivanja što neće biti ni malo lako. Smatra se, na primer, da samo proces habanja zahteva poznavanje oko dvadeset faktora. Značajna istraživanja će biti potrebna da bi se postigao krajnji cilj u ovoj oblasti. Tribodiagnostika je jedna od najmladijih grana tribologije čiji se razvoj u narednom periodu

očekuje u velikoj meri. Ovo se posebno odnosi na mehanizam podmazivanja tečnim mazivima. Istraživanja će biti usmerena i na razvoj specijalizovane opreme za analizu inteziteta habanja i sakupljanje produkata habanja. Ako-stične i elektro tribodijagnostičke metode čije su prednosti u niskim energetskim zahtevima, brzina merenja, izvanredne mogućnosti analize signala i vrlo osetljiva oprema koristi se danas, uglavnom, za merenja pri proučavanju mehanizma podmazivanja sa tečnim i polučvrstim mazivima. Postoji, međutim, potreba za kontinualnim praćenjem ponašanja tribosistema u uslovima svog trenja i podmazivanja čvrstim mazivima. Posebno je neophodno korišćenje ovih metoda u specijalnim postrojenjima u nuklearnim elektranama, na primer i sl. U ovoj oblasti očekuju se vrlo intezivna istraživanja u godinama koje dolaze.

Treći deo triboloških istraživanja u narednom periodu odnosiće se na razvoj triboloških informacionih sistema. U poslednjih 10 - 15 godina tribi - informacije razvijene su kao posebna grana tribologije. Više od 10 000 radova iz oblasti tribologije objavljuje se svake godine. U zapadnom svetu baza podataka sa referencama iz oblasti tribologije nalazi se u Federal German Materials Testing Institute (BAM). Verovatno najveće mogućnosti razvoja u oblasti tribi - informacija u narednom periodu postoje u American Computerised Tribology Information System (ACTIS)

koji je formiran u okviru U.S. National Institute of Standards and Technology. Ovaj centralizovani tribološki informacioni sistem organizovan tako da može lako da se koristi sa personalnim računarima, treba da doprinese bržem transferu triboloških znanja u industriju, unapredi interdisciplinarnu komunikaciju i poveća obim triboloških istraživanja. ACTIS svoj rad organizuje kroz šest baza podataka koje treba da obezbede brzo i ekonomično dolaženje do triboloških karakteristika, na primer savremenih materijala, i kvalitetnu ocenu podataka koji se unose u baze sistema.

Programom rada u oblasti tribi - informacija treba da se stvaraju uslovi za razvoj fundamentalnih istraživanja u oblasti tribologije, izbegnu nepotrebna istraživanja (kroz informisanje o već obavljenim), ubrzati razvoj novih proizvoda i poveća korišćenje triboloških podataka i od strane onih stručnjaka koji se u osnovi ne bave tribologijom.

U zaključku uvodnog referata čiji je deo koji se odnosi na buduće pravce istraživanja u oblasti tribologije navodi se, između ostalog, da tribologija nije nezavisna naučna i stručna disciplina i da samo tribološkim znanjima nije moguće kreirati nove proizvode i nove tehnologije. Međutim, bez dovoljno triboloških znanja nije moguće ostvariti kvalitetan i ekonomičan razvoj ni novih tehnologija ni novih proizvoda.

Produktivnost složenih obradnih sistema u zavisnosti od stepena pohabanosti ključnih elemenata

ISTRAŽIVANJA

1. UVOD

Ako obradni sistem prikažemo crnom kutijom a njegovu produktivnost kao odnos autputa i inputa, očigledno je da će efikasnost sistema umnogome zavisiti od parcijalnih elemenata ulaza kao i okruženja u kome obradni sistem egzistira. Jedan od najvažnijih uticaja je pouzdan rad sistema bez iznenadnih otkaza.

Pouzdanost svih tehničkih sistema obezbeđuje se još u fazi konstrukcije, pravilnim dimenzionisanjem elemenata, izborom adekvatnih savremenih, pre svega opljenjenih, materijala na visokom stepenu kvaliteta, i otpornih na habanje, zatim preciznim preporukama u vezi upravljanja i održavanja u toku eksplotacije a posebno onim preporukama i rešenjima koja imaju za cilj da uspore tribološke procese i da smanje rasipanje energije i mase kontaktnim elementima tribo - mehaničkog sistema.

Proizvođač obradnog sistema je u poziciji da napravi čak i vrlo pouzdan sistem, posebno ako je renomiran u svojoj grani, ali je ograničen cenom koju može da očekuje od kupca, pa je često prinuden da čini kompromis između visine svoje dobiti i nivoa rešenja koja daje, pri čemu uvek vodeći računa šta može da ponudi konkurenca. Kupac pak sa druge strane često neopravdano teži jeftinijem sistemu, zanemarujući čijenicu da se to obično osveti kroz nižu pouzdanost obradnog sistema u eksplotaciji, pa time i znatno veće troškove po jedinici proizvoda.

Zato izboru ponuđača novog obradnog sistema treba prići obazrivo i imati u vidu moguće posledice lošeg izbora. Ovo se posebno odnosi kod izbora složenih obradnih sistema, koji imaju veliki broj tribo - mehaničkih parova koji svoje relativno kretanje ostvaruju u vrlo različitim, često nepovoljnim

uslovima, bez obzira što se na ambijent deluje uvođenjem adekvatnog SHP kao trećeg elementa tribo - mehaničkog sistema sa poznatim efektima.

Kod složenih obradnih sistema, prisutne su sve 4 grupe tribo - mehaničkih sistema posmatrano sa fizičke tačke gledišta, pa je poznavanje triboloških procesa i mera za njihovo usporavanje jedan od ključnih zadataka u konstrukciji i eksplotaciji sistema.

Obradni sistemi koji obradu vrše skidanjem strugotine su često najsloženije konstrukcije i kinematike kretanja, pa time i sa najviše tribo - mehaničkih sistema koji obrađuju funkcionalisanje čitavog sistema, počevši od davanja i prenosa informacija pa preko prenosa snage i kretanja, do vođenja elemenata sistema, a sve u cilju vršenja obradnih procesa i obezbeđenja obradene površine na predmetu obrade, što je izlaz iz obradnog sistema. Tribo - mehanički sistem kod samog obradnog procesa rezanjem, sastavljen je od reznog alata, predmeta obrade sa svojom strugotinom i SHP. Kod ovog sistema, kada tribološki procesi tokom rada dovedu do pohabanosti reznog alata, predviđena je njegova zamena oštrim, po kriterijumu koji je opredeljujući za konkretnе uslove (kvalitet obradene površine, prekomerno zatupljenje, ostvarivanje tolerancije izrade i oblika, povećanja vibracija i nestabilnost sistema i sl.). Kod ostale 3 grupe sistema otežano je uočavanje stepena i poređ razvijenih indirektnih metoda, pa je neophodno duže zaustavljanje rada obradnog sistema i njegov preventivni pregleg i zamena dotrajalih elemenata. Duža zaustavljanja su često nemoguća i neprihvatljiva pa posle odmaklih triboloških procesa dolazi do otkaza u funkcionalisanju obradnog sistema i zastoja u radu do opravke.

Smatra se da u ukupnim uzročnicima otkaza u funkcionalisanju obradnog sistema, više od polovine učestvuju otkazi izazvani prekomernim habanjem pojedinih elemenata tribo - mehaničkog sistema.

*Mr. Miljko Kokić, dipl. ing.
Zavodi Crvena Zastava
Kragujevac*

Treba istaći da odstupanje od dozvoljene granice bilo kojeg od 4 grupe triba - mehaničkog sistema, ima direktnog uticaja i na uslove rada ostalih grupa. Tako, habanje i zatupljenje reznog alata obradnog procesa, prouzrokuje povećanje otpora rezanja, što dalje deluje na veće habanje triba - mehaničkog sistema za vodenje. Habanje i povećanje zazora u sistemima za vodenje pak, povratno utiče na stabilnost obradnog sistema što se reflektuje na oštećenje reznog klini alata i dalje opterećenje sistema za vođenje kao i sistema za prenos snage i kretanja i sl.

Napred navedeno govori da su opterećenja i razvoj triboloških procesa na elementima triba - mehaničkog sistema često slučajnog karaktera pa pri proračunu merodavnih veličina treba uvrstiti i stohastički metod, pored poznatih metoda za određivanje pouzdanosti.

Sve ovo govori o veoma složenim zahvatima koje treba razrešiti kako bi obradni sistem u toku eksploatacije funkcionišao sa što manjim otkazima i uz niske troškove. Česta je dilema prisutna kod korisnika obradnih sistema kada treba da odluče u kom momentu je neophodno izvršiti zamenu dotrajalog sistema novim, ili se odlučiti na revitalizaciju postojećeg. Sledeci primer ima za cilj da pokaže kakvi se efekti mogu ostvariti revitalizacijom jednog složenog obradnog sistema kakav je transfer linija.

2. KARAKTERISTIKE IZABRANOG OBRADNOG SISTEMA

Izabrana transver linija je tipičan primer složenog obradnog sistema jer je komponovana iz 8 pojedinačnih obradnih pod-sistema svaki sa po dva vretena u vertikalnoj osi i kliznim vertikalnim jedinicama za jednostavnu obradu sa više reznih alata, što se može aproksimirati sa 16 jednovretenih mašina. Transporter sa manipulatorom za prenošenje i zaokretanje odlivka doboš kočnice putničkih vozila ima automatski ciklus uskladen sa radom podsistema gde se vrši fazna obrada. Uloga poslužioca mašine je samo da postavi odlivak na transporter za uvođenje komada, a dalju ulogu preuzima centralni transporter koji na kraju automatskog ciklusa predaje obradeni doboš kočnice na pomoći transporter za odnošenje gotovih delova van transfer linije. Transver pretežno vrši obradu struganjem uz uklanjanje preko 1 kg. strugotine sa svakog odlivka, a na transferu se vrši i bušenje 4 otvora za vezu i 2 otvora sa navojem za centriranje naplatka točka. Za struganje se koriste okretne rezne pločice od tvrdog metala sa tvrdim prevlakama, a u završnoj obradi koristi se keramička rezna pločica.

Kao SHP se koristi emulzija od 3.5 % emulgajućeg ulja koja je u autonomnom bazenu ispod mašine u količini od 56.000 l. Sistem SHP pored uloge da vrši hlađenje i podmazivanje obradnog procesa, ima ulogu odnošenja skinute strugotine iz prostora obradnog procesa u kadu rezervoara iz koje se ista automatski izbacuje pomoći specijalnog transportera direkt-

no u sretstvo za otpremu van linije. Sistem SHP vrši i separaciju emulzije. Podešavanje i zamenu reznog alata vrše dva reglera istovremeno radi skraćenja vremena zastoja u radu. Najniža postojanost konkretnе rezne pločice diktira zamenu i onih koje imaju nešto višu postojanost ali ne "n" puta višu. Zato se cela linija često ustavlja i, za normalnu postojanost od 50 do 70 obrađenih doboša jednim reznim vrhom, neophodno je vršiti zaokretanje ili zamenu reznih pločica oko 10 puta u toku jedne smene.

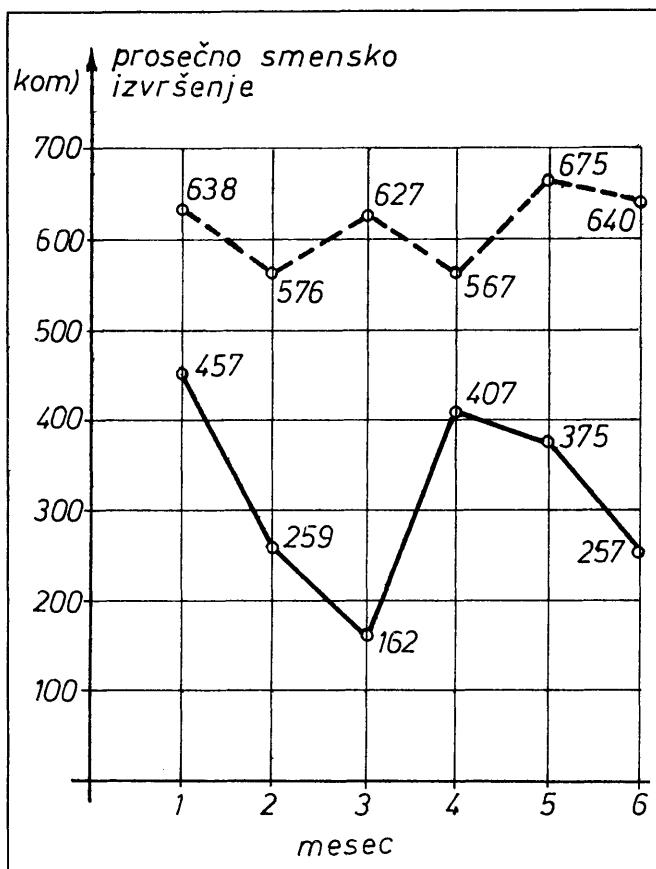
Pored zamene, dok transver linija nije imala ugradenu automatsku korekciju položaja reznog alata, bilo je neophodno vršiti čestu ručnu korekciju uz dodatna zaustavljanja. Ovo iz razloga što je u okviru transver linije integriran i jedan uređaj za kontrolu održavanja tolerancije značajnog otvora preko koga se centriraju doboš na glavčini točka pa za slučaj da je otvor van tolerancije, uređaj automatski zaustavlja transver mašinu i daje indikaciju za korekciju odnosno zamenu rezne pločice. Instalisana snaga transver linije je oko 300 KWh, a mašinski ciklus za izradu 2 doboša jednovremeno je 0.75 min. Transver linija je instalisana još pre 20 godina, a pre 3 godine je revitalizacija uz učešće matične firme iz Italije. Cena ovakve nove transver linije u sadašnjem trenutku može se proceniti na oko 7.000.000 DM a remont je koštao oko 3.000.000 DM.

Revitalizacija transver linije je bila neophodna jer je dolazilo do čestih otkaza elemenata triba-mehaničkog sistema pa nisu više mogle da pomognu preventivne intervencije koje su vršene dva puta godišnje u trajanju od oko 20 dana na pojedinim agregatima. Naime, posle dugogodišnjeg rada ovog obradnog sistema, usled razvoja procesa habanja došlo je do ozbiljnog gubitka funkcije pojedinih elemenata i parova triba - mehaničkih sistema, koji su kod ove transver linije mnogo-brojni i zastupljene su sve grupe sa fizičke tačke gledišta. Ovakvo stanje obradnog sistema u periodu pre revitalizacije, izazvalo je nisku produktivnost i nizak stepen korišćenja kapaciteta obradnog sistema a revitalizacijom je sistem враћen u korektnije stanje funkcionisanja i na početna inicijalna habanja elemenata triba-mehaničkih sistema.

3. PRODUKTIVNOST OBRADNOG SISTEMA PRE I POSLE REVITALIZACIJE

Kako se radi o jednom obradnom sistemu za masovnu proizvodnju samo jednog stalnog i jednog povremenog, ali vrlo sličnog i uporedivog proizvoda, najtačnije je i najlakše produktivnost meriti u fizičkim jedinicima preko broja proizvedenih doboša kočnice za posmatrani period.

Za praćenje je izabran period od 6 meseci pre i 6 meseci posle revitalizacije što je ilustrativno prikazano na dijagramu na sl. 1. Na ordinati je prikazana prosečna smenska proizvodnja doboša kočnice po mesecima izračunata kao odnos mesečne proizvodnje i mesečnog broja smena. Pre revitalizacije rad je organizovan u sve 3 smene, a posle revitalizacije dovoljne su

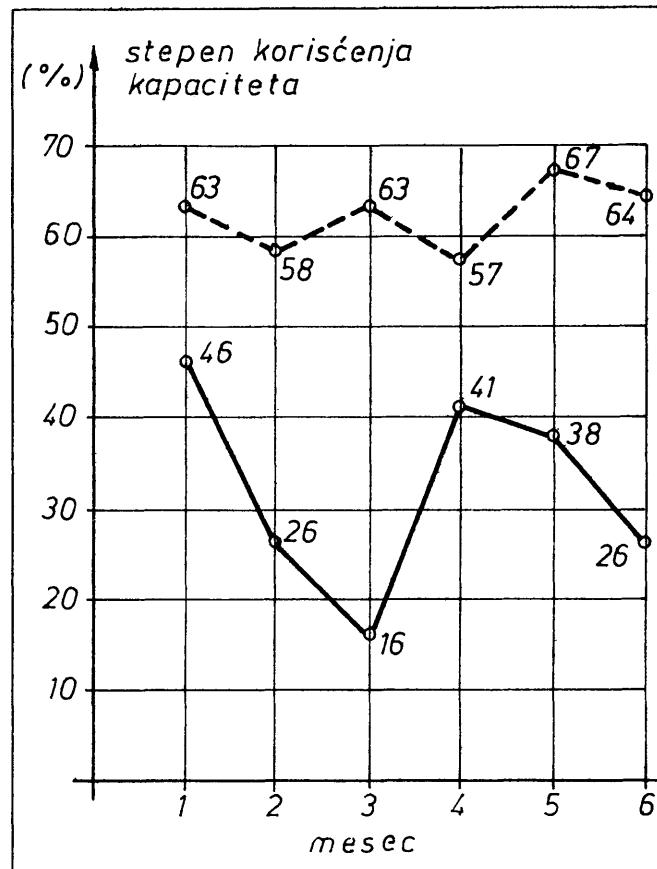


Sl. 1. - Uticaj revitalizacije na smenski učinak
— pre revitalizacije
-- posle revitalizacije

bile dve smene. Ovo iz razloga što je prosek pre revitalizacije bio samo 319 komada u smeni a posle revitalizacije 623 komada što je za 95 % više. Pored porasta produktivnosti posle revitalizacije, primetno je i mnogo manje oscilovanje rezultata iz meseca u mesec, što se ne može reći za period pre revitalizacije kada su najbolji rezultati bili gotovo 3 puta viši od najslabijeg ostvarenja u konkretnom mesecu. Zbog ovakvih relacija, proizilazi da je veća dnevna produktivnost ostvarena radom u dve smene posle revitalizacije nego radom u sve 3 smene pre toga za 30 %. Slična zapažanja se uočavaju ako se prikaže uticaj revitalizacije na stepen korišćenja kapaciteta. Za raspoloživi kapacitet uzeće se maksimalno ostvareni kapacitet u rekordnoj smeni za ceo posmatrani period od 6 meseci.

Na dijagramu na sl. 2. vidi se stepen korišćenja kapaciteta čak i posle revitalizacije nema visoku vrednost ali je uticaj revitalizacije očigledan, imajući u vidu da je prosečan stepen korišćenja kapaciteta pre revitalizacije u proseku iznosio samo 31.5 % posle toga preko 60 %.

Nedovoljno korišćenje kapaciteta posle revitalizacije vezano je i za druge faktore a logično je da ima otkaza i na revitalizovanom obradnom sistemu ali znatno manje nego kada je bio u stanju značajne pohabanosti usled dejstva triboloških procesa, pa je odluka o revitalizaciji bila sasvim opravdana.



Sl. 2. - Uticaj revitalizacije na stepen korišćenja kapaciteta
— pre revitalizacije
-- posle revitalizacije

Da nije izvršena revitalizacija, verovatno bi bilo neophodno ići na nabavku novog obradnog sistema. Revitalizacija je ipak ekonomski povoljnije rešenje jer je pored generalnog remonta izvršeno i osavremenjivanje i poduzimanje nivoa upravljanja obradnog procesa a troškovi po obradenom komadu su ovako po osnovu amortizacije niži preko dva puta nego da je kupljen novi obradni sistem.

4. ZAKLJUČAK

Izboru složenih obradnih sistema treba priti obazrivo posebno ako je za njegovo funkcionisanje neophodno ugraditi veliki broj tribo-mehaničkih sistema. Ovo iz razloga što su tribo-mehanički sistemi uglavnom na principu redne veze pa otkaz bilo kog elementa tribo-mehaničkog para, izaziva zaustoj kompletног obradnog sistema. Za slučaj ozbiljnijeg razvoja triboloških procesa, obradni sistem postaje sve nestabilniji pa mu zbog povećanih zastoja u radu i čekanja na opravke, opada produktivnost i stepen korišćenja kapaciteta. Ovaj pad može da dovede do dramatičnih posledica po normalno odvijanje proizvodnog procesa, pa je neophodno izvršiti blagovremenu revitalizaciju obradnog sistema ili nabaviti novi sistem. Kakvu odluku doneti, zavisi od tehno-ekonomske analize koju treba uraditi kao podlogu za opredeljenje uzimajući u obzir i ostale značajne faktore.

Na prikazanom primeru transver linije kao složenog obradnog sistema, vidi se da je smenska produkcija pohabanog sistema opala gotovo 2 puta u odnosu na mogućnosti novog ili revitalizovanog sistema što proizvodi ozbiljne ekonomske i organizacione probleme.

Imajući u vidu visoku cenu složenih obradnih sistema a niske investicione mogućnosti kod nas, neophodno je posebnu pažnju obratiti na dosledno sprovođenje mera koje imaju za cilj da uspore razvoj triboloških procesa na kontaktnim površinama elemenata trib - mehaničkog sistema. Pored toga, ako nema drugih ograničenja opravdano je ići na revitalizaciju raspoloživih obradnih sistema ako su zadovoljavajućeg tehnološkog nivoa, umesto nabavke novog obradnog

sistema jer postojeći obradni sistemi kod nas su brojni , predimenzionisani i uglavnom nisko iskorišćeni pa je dalja nabavka u većini slučajeva neopravdana

LITERATURA

- [1] B. IVKOVIĆ, *Teorija rezanja - Tribologija rezanja*, štampa "Bakar"-Bor, 1991, Kragujevac.
- [2] M. NEDELJKOVIĆ, *Tehnička dijagnostika u funkciji efikasnosti i produktivnosti*, Časopis "Tribologija u industriji" god. IX, br. 4 iz 1987 godine, Izdanje Mašinskog fakulteta u Kragujevcu, 1987. god.

tribologija -

Vaš pouzdani vodič

ka višim nivoima

produktivnosti

i efektima rada

B. IVKOVIĆ

Uticaj razvoja metalopreradivačke industrije na sredstva za hlađenje i podmazivanje u obradi rezanjem

ISTRAŽIVANJA

Sredstva za hlađenje i podmazivanje kao treći element tribomehaničkih sistema u kojima se ostvaruju procesi rezanja u industrijskim sistemima doprinose, u osnovi, smanjenju troškova obrade, povećanju produktivnosti i pouzdanosti proizvodnih procesa i podizanju kvaliteta proizvoda. Doprinos smanjenju trenja u zonama kontakta alata i materijala predmeta obrade, koji sredstva za hlađenje i podmazivanje čine u ovoj vrsti tribomehaničkih sistema, utiče i na nivo trošenja energije u proizvodnim procesima. Ovo su osnovni razlozi zbog kojih se razviju i primeni sredstava za hlađenje i podmazivanje u industriji posvećivala i posvećuje velika pažnja.

1. UVOD

Tribomehanički sistemi u kojima se ostvaruju procesi rezanja u svim vrstama obrade sastoje se od tri elementa i to: reznog klina alata, predmeta obrade i sredstva za hlađenje i podmazivanje. U procesima rezanja sredstva za hlađenje i podmazivanje treba da smanje trenje u zonama kontakta alata i materijala predmeta obrade i da odvedu što je moguće brže toplotu koja se razvila u zoni rezanja. Preko ova dva osnovna dejstva (podmazivanje i hlađenje), sredstva za hlađenje i podmazivanje doprinose smanjenju utroška energije u procesima obrade i sporijem razvoju procesa habanja alata. Kao posledica usporavanja procesa habanja alata javlja se veća postojanost alata odnosno mogućnost izvodjenja procesa rezanja sa većim ekonomičnim brzinama rezanja i većom produktivnošću obrade u celini.

Uticaj sredstava za hlađenje i podmazivanje na kvalitet proizvoda ostvaruje se preko oba njihova osnovna svojstva i

Prof. dr Branko Ivković, dipl. ing.
Mašinski fakultet, Kragujevac

podmazujućeg i hladivog. Mehaničke i druge karakteristike sloja materijala ispod obradjene površine zavise i od veličine sila trenja koje sejavljaju u zonama kontakta alata i predmeta obrade u procesima rezanja i od efikasnosti odvodjenja toplote iz zona rezanja. Vek trajanja prizvoda kao i pouzdanost njihovog funkcionisanja zavise i od kvaliteta kontaktnih slojeva elemenata brojnih tribomehaničkih sistema kojima se u njima ostvaruju prenos snage i kretanja. Vek trajanja kliznih i kotrljajućih ležajeva, zupčastih parova, elemenata za vodenje i mehanizama različitih vrsta, zavisi u značajnoj meri i od osnovnih svojstava sredstava za hlađenje i podmazivanje korišćenih u obradi njihovih kontaktnih površina.

Osnovne karakteristike potrošnje i razvoja sredstava za hlađenje i podmazivanje u nekoliko industrijskih zemalja zapada, koje mogu da doprinesu i zauzimanju stava i o razvojno istraživačkom radu u našoj zemlji, predmet su razmatranja u ovom saopštenju. Veza između promena koje nastaju sa vremenom u metalopreradivačkoj industriji a odnose se na obradne sisteme, rezne alate i materijale predmeta obrade i promena u karakteristikama sredstava za hlađenje i podmazivanje, takodje su predmet razmatranja u ovom radu.

2. OSNOVNE KARAKTERISTIKE POTROŠNJE I RAZVOJA SHP U PROTEKLOJ DESENLIJI

U odnosu na ranije periode problematiku primene sredstava za hlađenje i podmazivanje u protekloj deceniji karakterisale su sledeće promene i to:

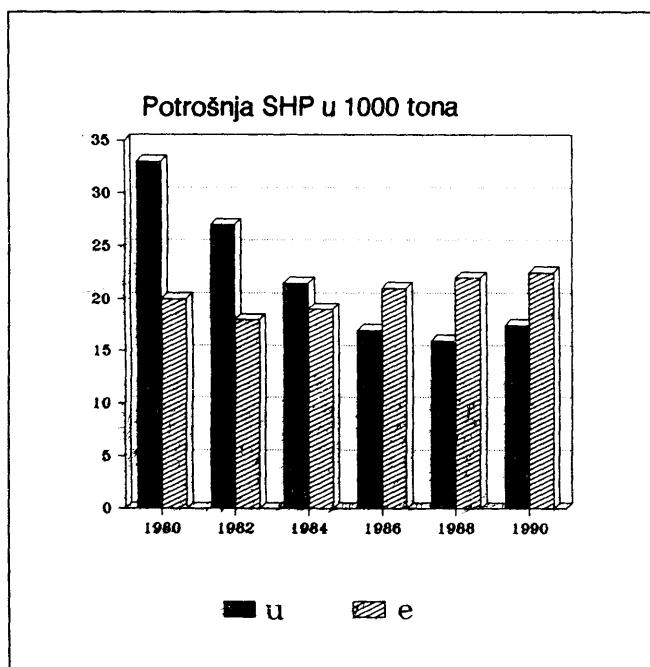
- Smanjenje ukupne potrošnje merene zapreminskim jedinicama za 25 do 30 %.
- Promena odnosa u korišćenju emulzija i rastvora i čistih ulja za rezanje na štetu poslednjih.

- Značajno povećanje zahteva za poboljšanje karakteristika sredstava za hladjenje i podmazivanje koje se odnose na zaštitu zdravlja radnika i ekologiju
- Uvodjenje u proizvodne procese kompjuterski upravljenih mašina alatki i obradnih centara sa automatizovanim i robotizovanim opsluživanjem.

Do smanjenja obima potrošnje sredstava za hladjenje i podmazivanje u industrijskim zemljama zapada došlo je ne zbog smanjenja obima proizvodnje već zbog razvoja i u oblasti alatnih mašina i proizvodne opreme u celini i zbog njihovog sopstvenog razvoja. Ovaj proces karakterističan je za prvu polovinu protekle decenije. U poslednje dve godine, međutim, dolazi ponovo do rasta potrošnje sredstava za hladjenje i podmazivanje jer je nova proizvodna oprema omogućila porast obima proizvodnje u industriji.

Promene do kojih je došlo u oblasti alatnih mašina u protekloj deceniji odnosile su se na povećanje brzina rezanja, proširenje uslova obrade, povećanje produktivnosti obrade, promene u sastavima alatnih materijala (nanošenje raznih vrsta prevlaka na rezne elemente alata), izgradnju i korišćenje integralnih uređaja za filtriranje i odvodjenje strugotine, i na zamenu klasičnih relativno malih proizvodnih mašina velikim i složenim obradnim centrima na kojima istovremeno ili po utvrđenom redosledu obradu vrši veći broj alata.

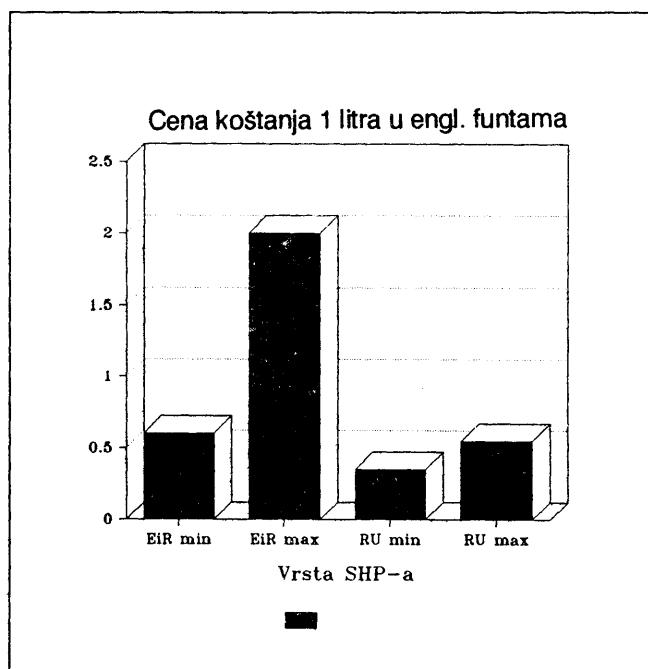
Obrada sa velikim brzinama rezanja zahteva i utrošak velike količine energije koja se pretvara u zoni rezanja u toplotu koja, ako se iz nje brzo ne odvede, može da prouzrokuje oštećenje i alata i predmeta obrade. Potreba za neprekidnim povećanjem produktivnosti procesa obrade uslovila je i potrebu za promenama u konstrukciji alatnih mašina, alatima i sredstvima za hladjenje i podmazivanje.



Sl. 1. - Potrošnja SHP-a u V. Britaniji u periodu 1980 - 1990 god.

U protekloj deceniji došlo je do značajne promene u strukturi potrošnje sredstava za hladjenje i podmazivanje. Na primer, u 1979 godini 62 % od ukupne potrošnje sredstava za hladjenje i podmazivanje pripadalo je čistim uljima za rezanje u Velikoj Britaniji. U 1990 godini ovaj procenat iznosio je samo 42 %. Na slici 1. prikazano je kretanje potrošnje čistih ulja za rezanje i emulzija i rastvora u Velikoj Britaniji u periodu od 1980 do 1990 godine.

Do pada potrošnje sredstava za hladjenje i podmazivanje došlo je, očigledno, zbog velikog pada potrošnje čistih ulja za rezanje. Osnovni razlog za ovu promenu u strukturi potrošnje sredstava za hladjenje i podmazivanje nalazi se u potrebi da se iz zone rezanja što efikasnije odvede razvijena količina toplote, koja sa povećanjem brzina rezanja naglo raste. Poznato je da voda 2.5 puta brže prenosi toplotu od ulja i da u proseku na 100 litara vode dolazi 5 litara mineralnih emulgirajućih ulja. Na primer, ako bi se sa sto litara emulzije zamenilo sto litara čistog ulja za rezanje u nekoj alatnoj mašini, onda bi takva zamena bila i ekonomski veoma atraktivna. Međutim, razlike u ekonomičnosti primene ove dve vrste sredstava za hladjenje i podmazivanje nisu tako velike, jer postoje i razlike (ponekad vrlo velike) u jediničnim cenama a veliki uticaj ima i vek trajanja emulzija i rastvora. Na slici 2. prikazane su minimalne i maksimalne cene jednog litra emulzija i rastvora i čistog ulja za rezanje na savremenom engleskom tržištu.



Sl. 2. - Jedinične cene sredstava za hladjenje i podmazivanje

Da bi emulzije i rastvori mogli da prate promene u tehnologiji obrade, odnosno da bi mogli da odgovore savremenim potrebama industrijske proizvodnje moraju da imaju, pored maksimalnih hladivih svojstava, još neke važne osobine neophodne za njihovu ekonomičnu i kvalitetnu primenu.

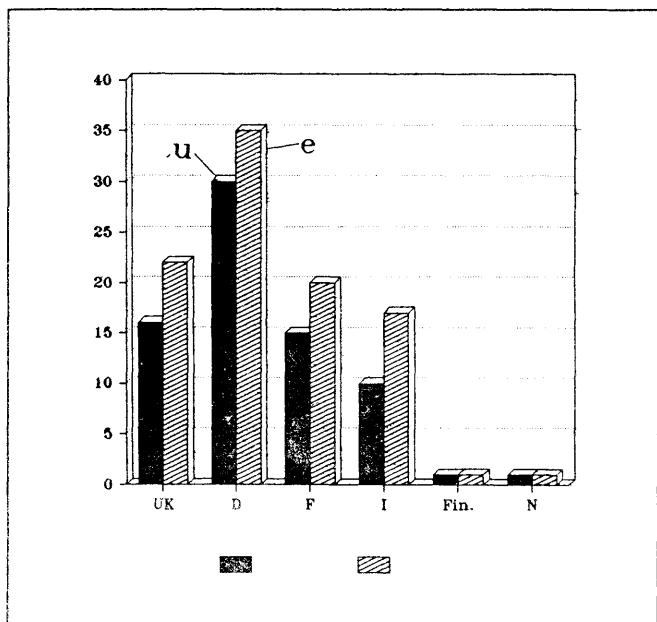
Jedna od važnih osobina emulzija i rastvora je njihova stabilnost i pri obradi sa velikim brzinama rezanja i uslovima u kojima se pojavljuju vrlo velika naprezanja na smicanje.

Druga važna osobina ove vrste sredstava za hladjenje i podmazivanje je njihova sposobnost da zadrže, što je moge duže vremena, početnu veličinu čestica emulgirajućih ulja i da spreče pojavu separacije ulja u emulziji. Pojava izdvajanja ulja u emulzijama smanjuje ne samo njene tribološke karakteristike već i one osobine koje se odnose na antikorozionu zaštitu i otpornost na razvoj mikro-organizama.

Veoma značajna osobina savremenih emulzija i rastvora je i njihova sposobnost da ostanu stabilne i pri mešanju sa uljima za podmazivanje brojnih tribomehaničkih sistema kojima se vrši prenos snage i kretanja u automatizovanim i robotizovanim obradnim centrima.

Za razliku od mnogih drugih maziva koja rade u zatvorenim sistemima, sredstva za hladjenje i podmazivanje su za svo vreme svog delovanja u kontaktu sa radnikom koji upravlja procesom rezanja i sa atmosferom koja okružuje ceo obradni sistem. Ovo je osnovni razlog zbog koga se savremenim sredstvima za hladjenje i podmazivanje posvećuje sa ekološkog i zdravstvenog aspekta sve veća pažnja a njihova osobina sa ova dva aspekta se smatra izuzetno važnom.

Bez obzira na dostignuti stepen razvoja sredstava za hladjenje i podmazivanje koja se grade kao emulzije i rastvori, ona se još uvek nisu oslobođila nekih osnovnih problema u oblasti primene kojih nema pri korišćenju čistih ulja za rezanje. To su, na primer, nevolje koje se javljaju u vezi sa stabilnošću, filtriranjem, održavanjem koncentracije, agresivnošću prema mašinama i alatima i. t. d. Zbog toga je i danas prisutna dilema kojoj vrsti sredstava za hladjenje i podmazivanje dati prednost u industriji prerade metala: čistim uljima za rezanje ili emulzijama i rastvorima. Na slici 3. prikazana je struktura

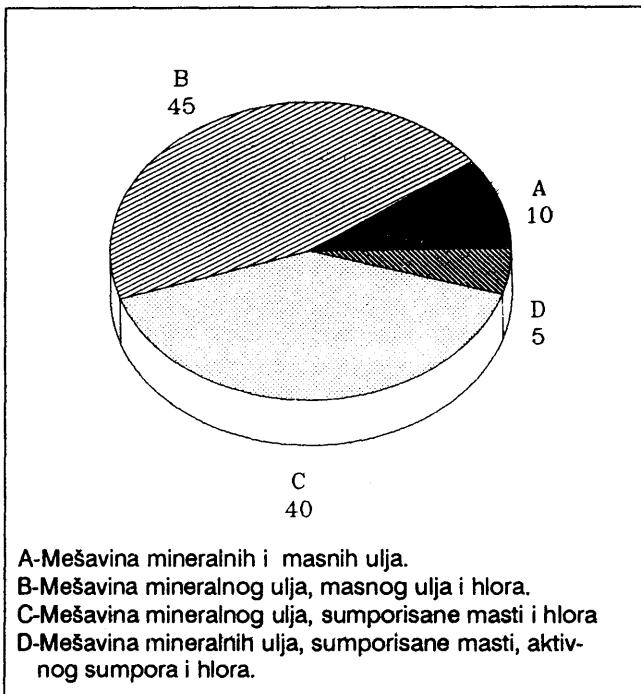


Sl. 3. - Obim i struktura potrošnje SHP-a

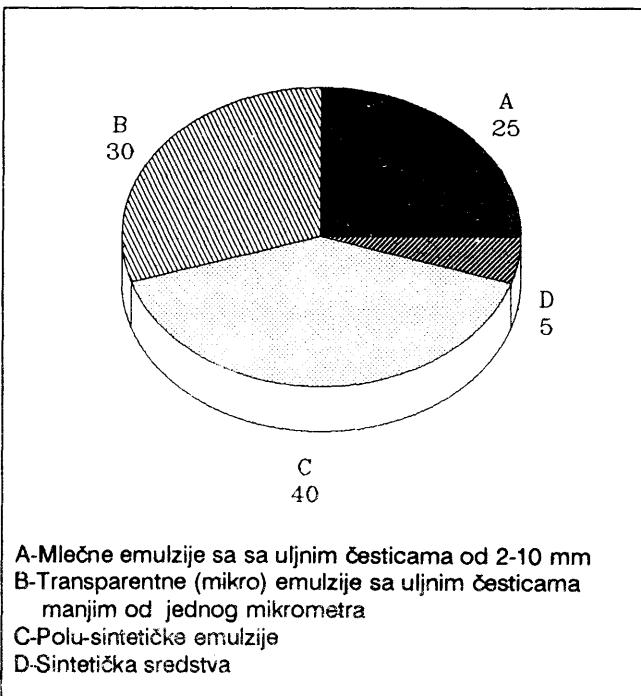
potrošnje sredstava za hladjenje i podmazivanje sa ovog aspekta, u nekoliko industrijski razvijenih zemalja, u 1990. godini.

Struktura potrošnje obe vrste sredstava za hladjenje i podmazivanje u svim navedenim zemljama je manje više ista i prikazana je na slikama 4. i 5.

U godinama koje dolaze ne očekuju se značajnije promene u strukturi potrošnje sredstava za hladjenje i podmazivanje i ako su danas prisutna dva mišljenja o budućim promenama



Slika 4. Struktura potrošnje čistih ulja za rezanje u %.



Slika 5. Struktura potrošnje čistih ulja za rezanje u %.

u ovoj oblasti. Prema mišljenju jednog broja većih proizvođača sredstava za hladjenje i podmazivanje, čista ulja za rezanje imaju šansu da, kao ekološki pogodnija i zbog manjih problema u primeni, povećaju svoj udio u ukupnoj potrošnji, bar na nivou sedamdesetih godina. U isto vreme prisutni su i napor u pravcu zamene čistih ulja za rezanje sintetičkim sredstvima.

Kako se u bliskoj budućnosti ne očekuju drastične promene u oblasti alata i alatnih mašina to, po mišljenju autora ovog saopštenja, ne treba očekivati ni velike promene u strukturi potrošnje sredstava za hladjenje i podmazivanje.

3. TRIBOLOŠKE KARAKTERISTIKE SAVREMENIH SREDSTAVA ZA HLAĐENJE I PODMAZIVANJE

Osnovna uloga sredstava za hladjenje i podmazivanje kao trećeg elementa tribomehaničkih sistema u kojima se ostvaruju procesi rezanja u industriji je da, preko svojih podmazujućih i hladivih svojstava, uspore proces habanja reznih elemenata alata i tako povećaju njegovu postojanost. Veća postojanost alata omogućava obradu sa većim ekonomičnim brzinama rezanja, manjim troškovima obrade i većom produktivnošću obradnih sistema.

Tribološke karakteristike se, najčešće, definišu upravo na ovim osnovama mada su i u literaturi i u praksi prisutne i metode određivanja triboloških karakteristika ovih sredstava zasnovane na merenju otpora rezanja, utrošene energije pri rezanju, hrapavosti obradjene površine i temperature rezanja.

Bazna funkcija, na osnovu koje se upoređuju tribološke karakteristike više vrsta sredstava za hladjenje i podmazivanje i ocenjuju rezultati istraživanja usmereni na njihovom

poboljšanju sa ovog aspekta, je poznata funkcija $h=F(T)$ koja reprezentuje promenu odgovarajućeg parametra habanja u toku rezanja sa vremenom pri njihovom korišćenju.

Vrsta i kvalitet sredstava za hladjenje i podmazivanje utiču i na oblik i na položaj funkcije $h=F(T)$ u koordinatnom sistemu $h-T$ što čini određivanje triboloških karakteristika na ovim osnovama vrlo složenim, a same karakteristike relativnim. Na primeru uporedjenja triboloških karakteristika tri vrste sredstava za hladjenje i podmazivanje, namenjenih tribomehaničkim sistemima u kojima se izvodi proces obimnog glodanja, pokazana je sva složenost i relativnost ovog posla. Na slici 6. prikazane su tri eksperimentalne krive habanja dobijene praćenjem promene veličine širine pojasa habanja na lednoj površini reznih elemenata glodalna za obimno glodanje u uslovima obrade koji su se menjali samo promenom vrste sredstava za hladjenje i podmazivanje.

Ako zahtevi u pogledu kvaliteta obradjene površine dozvoljavaju rezanje do pojave kritične pohabanosti alata određene veličinom $h=0.5 \text{ mm}$ ostvarene postojanosti alata pri krišćenju sredstava za hladjenje i podmazivanje A, B i C biće različite.

$$TA = 62 \text{ min.}, TB = 74 \text{ min.}, TC = 44 \text{ min. } TB > TA > TC$$

Sa gledišta ostvarane postojanosti alata tribološka karakteristika sredstva B je bolja u poređenju sa tribološkim karakteristikama sredstava A i C za 19.3% odnosno za 68%.

Medutim, ako zahtevi u pogledu kvaliteta obradjene površine ne dozvoljavaju pojavu veće kritične pohabanosti alata od $h=0.3 \text{ mm}$ razlike u ostvarenim postojanostima alata biće drugačije.

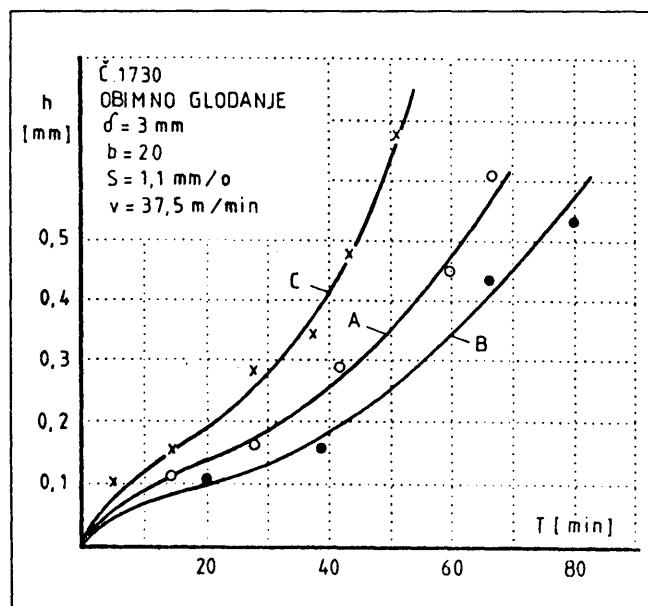
$$TA = 45 \text{ min.}, TB = 55 \text{ min.}, TC = 32 \text{ min. } TB > TA > TC$$

U ovom slučaju tribološka karakteristika sredstva B bolja je od triboloških karakteristika sredstava A i C za 22% odnosno 71%. Primenom drugih kriterijuma pohabanosti alata dobijaju se i druge veličine postojanosti alata odnosno drugačiji odnosi u tribološkim karakteristikama korišćenih sredstava za hladjenje i podmazivanje.

U određenim uslovima obrade koje karakterišu veličina bruto ličnih dohodaka radnika, cene i tribološke karakteristike alata, vrednost obradnog sistema i politika njegove amortizacije, obradivost materijala predmeta obrade i sl., nivo ekonomične brzine rezanja zavisi od vrste korišćenog sredstva za hladjenje i podmazivanje.

Ekonomičnoj postojanosti alata od, na primer, $Te=56 \text{ min.}$ odgovaraće u istim uslovima obrade različite ekonomične brzine rezanja pri korišćenju različitih vrsta sredstava za hladjenje i podmazivanje. Na slici 7. prikazane su tri Tajlorove krive koje se odnose na slučajeve obrade u kojima se koriste sredstva za hladjenje i podmazivanje A i C.

Uporedjenjem triboloških karakteristika sva tri sredstva za hladjenje i podmazivanje preko veličine brzine rezanja dolazi



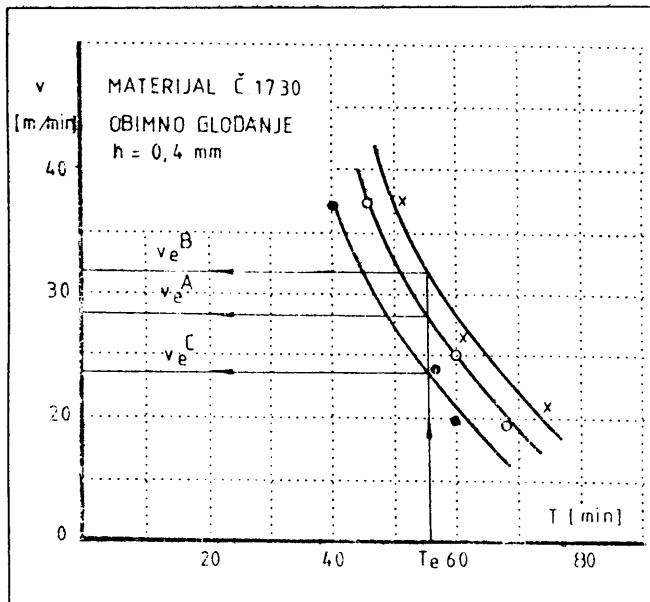
Sl. 6. - Eksperimentalne krive habanja dobijene pri obimnom glodanju.

se do zaključka da je i sa ovog aspekta sredstvo za hladjenje i podmazivanje *B* najbolje.

$$v_{eC} = 24 \text{ m/min} \quad v_{eB} = 32 \text{ m/min} \quad v_{eA} = 28 \text{ m/min}$$

$$v_{eB} > v_{eA} > v_{eC}$$

Sa gledišta veličine ekonomične brzine rezanja sredstvo *B* je u pogledu triboloških karakteristika bolje od sredstva *A* za 14.3% a od sredstva *C* za 33.3%



Sl. 7. - Eksperimentalne funkcije $V_e = f(T)$

Očigledno je da razlike u tribološkim karakteristikama sredstava *A*, *B* i *C* zavise i od vrste veličine koja se koristi pri uporedjenju. Ovim je još jedan put potvrđen stav o relativnosti triboloških karakteristika sredstava za hladjenje i podmazivanje.

4. TROŠKOVI OBRADE

Troškove obrade u industrijskim sistemima čine:

- ▶ Troškovi radne snage.
- ▶ Troškovi reznih alata.
- ▶ Troškovi proizvodne opreme (mašine, pribori i sl.)
- ▶ Troškovi sredstava za hladjenje i podmazivanje.

Projektovanje procesa rezanja odnosno tehnologije obrade nekog predmeta ili proizvoda u celini, vrši se uvek sa ciljem da se pored zahtevanog kvaliteta ostvare i najmanji mogući troškovi obrade.

Pored uticaja na veličinu troškova obrade preko svoje cene koštanja, sredstva za hladjenje i podmazivanje utiču i na

veličinu ostala tri elementa strukture troškova obrade preko svojih triboloških karakteristika.

Prava ocena kvaliteta sredstava za hladjenje i podmazivanje odnosno njihovih eksplotacijskih svojstava vrši se preko veličine troškova obrade. Sredstva za hladjenje i podmazivanje koja omogućavaju obradu sa najmanjim troškovima obrade imaju i najbolje eksplotacijske karakteristike. Analizom uticaja pojedinih karakteristika sredstava za hladjenje i podmazivanje na veličinu troškova obrade lako se dolazi do zaključka da su njihove tribološke karakteristike i njihov vek trajanja najbitniji sa ovog aspekta.

5. ZAKLJUČAK

Promene koje su neprekidno u toku u industriji prerade metala a imaju uticaja na razvoj i primenu sredstava za hladjenje i podmazivanje odnose se u osnovi na:

1. Povećanje automatizacije obradnih sistema što značajno povećava njihovu vrednost i potrebu za efektivnim i pouzdanim radom na njima. Sredstva za hladjenje i podmazivanje moraju da u uslovima obrade sa velikim brzinama rezanja obezbede efikasno hladjenje i podmazivanje zona rezanja i ostvarenje ekonomične postojanosti alata kao i dovoljno dug vek njihovog trajanja.
2. Vrstu materijala predmeta obrade. Očekuje se sve veća primena aluminijuma i njegovih legura kao i nemetalnih materijala u konstrukciji mnogih proizvoda naročito iz oblasti transporta. Ove promene utiče zнатно na strukturu potrošnje sredstava za hladjenje i podmazivanje po vrstama.
3. Rezne alate. Već sada potrošnja alata od brzoreznih čelika prevučenih prevlakom od TiN-a nije zanemarljiva. Očekuje se značajan porast primene alata sa ovom i novim vrstama prevlaka na koje podmazujuća svojstva sredstava za hladjenje i podmazivanje neće biti od većeg značaja.

Već danas ekološkom aspektu primene sredstava za hladjenje i podmazivanje posvećuje se začajna pažnja u industrijski zemljama. U godinama koje dolaze razvoju sredstava za hladjenje i podmazivanje sa ovog aspekta verovatno će biti posvećena još veća pažnja.

LITERATURA

- [1.] A.R. SAUNDERS, *The Metalworking Lubricants Market: Recent And Future Trends*, Industrial Lubrication and Tribology, July/August 1990, England.
- [2.] B. IVKOVIĆ, *Teorija rezanja*, Kragujevac, 1991.

S. SEKULIĆ

Korelacija između najveće visine neravnina i srednjeg aritmetičkog odstupanja od srednje linije obradene površine

1. UVOD

Veza između pojedinih parametara hrapavosti najčešće se daje u vidu prostih zavisnosti nezavisno od vrste obrade i materijala obradka, kao i ostalih uslova koji prate proces obrade. Tako se npr. veza između najveće visine neravnina i srednjeg aritmetičkog odstupanja profila od srednje linije, odn. njihove numeričke vrednosti, daju tabelarno (nemačka norma DIN 4767/70), a između srednje visine neravnina u deset tačaka i srednjeg aritmetičkog odstupanja profila od srednje linije, jugoslovenskim standardom JUS M. A1. 020, uz napomenu da su ove približne.

Zavisnost između najveće visine neravnina i srednjeg aritmetičkog odstupanja profila od srednje linije $R_{max} = f(R_a)$, predstavljena je u eksponencijalnom obliku [1]

$$R_{max} = 6.1595 \cdot R_a^{0.98}$$

bez naznake vrste materijala obradka i uslova pod kojima je obrada izvođena.

S obzirom da je eksponent u navedenoj zavisnosti blizak jedinici, može se zaključiti da između najveće visine neravnina i srednjeg aritmetičkog odstupanja profila postoji direktna proporcionalnost, tj.:

$$R_{max} = 6.16 \cdot R_a$$

Pri završnoj obradi na strugu, tačnija veza između najveće visine neravnina i srednjeg aritmetičkog odstupanja profila od srednje linije i procenata nošenja i srednjeg aritmetičkog odstupanja profila od srednje linije, potražena je u eksponencijalnom:

$$R_{max} = B \cdot R_a^a$$

i linearном obliku

$$R_{max} = a \cdot R_a + b$$

*Prof. dr Sava Sekulić, dipl. ing.
Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

odnosno:

$$p_n = B \cdot R_a \quad i \quad p_n = a \cdot R_a + b$$

Regresiona analiza eksperimentalnih vrednosti ukazuje na jaku korelacionu vezu između nezavisne i zavisne promenjive, obzirom da su u svim zavisnostima pripadajući koeficijenti korelacije vrlo visoki [2, 3, 4]. Pored obrade na strugu, primenom istih matematičkih modela, učinjen je pokušaj određivanja veze između parametara hrapavosti pri obradi brušenjem, pri čemu su analizirane obrade pri klasičnom brušenju i na punu dubinu brušenja [5, 7, 8, 9, 11], pri čeonom [6] i valjčastom glodanju [11].

U ovom radu potražena je veza između najveće visine neravnina i srednjeg odstupanja profila od srednje linije pri spoljašnjem cilindričnom brušenju, u eksponencialnom

$$R_{max} = B \cdot R_a^a$$

i linearnom obliku

$$R_{max} = a \cdot R_a + b$$

nezavisno od vrste obrade i materijala obratka koristeći podatke dobivene pri obradi struganjem, glodanjem (valjčasto i čeono) i brušenjem (cilindrično i ravno).

2. EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA

2.1 Parametri koji utiču na hrapavost obradene površine

Kvalitet obradene površine nakon završne obrade ima primarni značaj na eksploracijske karakteristike obradka (tačnost i kvalitet obradene površine). Kvalitet obradene površine karakteriše veliki broj parametara kao što su geometrijski i kinematski parametri, deformacije strugotine, stanje dina-

mičkog sistema - mašina alatka, pribor, obradak i alat, stanje pohabanosti reznog klina alata, itd.

Prilazi pri ispitivanju hrapavosti obradene površine mogli bi se podeliti u tri grupe: 1. geometrijski modeli, 2. modeli na bazi habanja alata i drugih pratećih uticaja i 3. modeli koji baziraju na teoriji višefaktorskog plana eksperimenta.

Geometrijske i eksperimentalne modele pri rezanju "oštrom" alatom razradivali su: Schmaltz (1936), Opitz i Moll (1940), Galoway (1945), Beleckij (1946), Skragan (1947), Takenaka (1951), Krivouhov (1958), Bramertz (1961), Olsen (1968), Šolaja (1952 do 1972), Sekulić (1958 do 1979), Fischer (1971).

Uticaj konvencionalnog habanja i drugih parametara na hrapavost obradene površine proučavali su: Galoway (1945), Akinaci (1949), Pekelharing i Schuerman (1952), Thompson, Scott i Stabler (1953/4), Šolaja (1957 do 1972), Bramertz (1961), Sekulić (1968), Pekelharing i Giesen (1967 do 1971), Selvom i Radharkrishnan (1973 i 1976), Snunungan (1974), Lonardo (1976), Railey (1977), Wallbank (1979), Monheim (1980).

Statističke prilaze određivanju zavisnosti hrapavosti obradene površine na osnovu vešefaktorskog plana eksperimenta razvili su Rasch (1971), Kuljanić (1971), Taraman (1974 do 1977), Nassirpour i Wu (1977), Mišković (1978), Sekulić i Kovač (1979), Kovač (1980) [6], Kovač i Sekulić (1981) [7,8].

2.2 Matematički model korelace veze

U cilju određivanja korelace veze između najvećeg aritmetičkog odstupanja prifila od srednje linije sistematizovan je obimni eksperimentalni materijal vezan za ispitivanje dve vrste čelika alatom sa različitim poluprečnicima zaobljenja vrha r , pri različitim vrednostima režima rezanja (pomak s , brzina rezanja v i dubina rezanja δ) i vremena rezanja t (parametar t uzima u obzir stanje reznog klina vezano za njegovu pohabanost).

Korelace veze zatražene su u eksponencijalnom:

$$Y = B \cdot X^a$$

i linearnom obliku:

$$Y = a \cdot x + b$$

Ako prvu jednačinu logaritmujemo dobicećemo

$$\log Y = \log B + a \cdot \log X$$

Označimo li sa

$$y = \log Y; \quad x = \log X; \quad b = \log B$$

u logaritamskoj mreži, takođe, dobijamo linearnu zavisnost $y = ax + b$, pa se u oba slučaja primenjuje identična procedura pri obradi eksperimentalnih podataka (u prvom slučaju se unose logaritmi, a u drugom neposredno parametri hrapavosti).

Primenjujući metodu najmanjih kvadrata na linearu zavisnost oblika

$$y = a \cdot x + b$$

tj. da je zbir kvadrata pojedinih grešaka Δ_i minimalan [11]

$$(\sum A_i^2)_{\min}$$

dolazi se do sistema linearnih jednačina

$$\sum (x_i \cdot y_i) = a \cdot \sum (x_i)^2 - b \cdot \sum x_i = 0$$

$$\sum y_i - a \cdot \sum x_i - N \cdot b = 0$$

odnosno

$$A_1 \cdot a + B_1 \cdot b = C_1$$

$$A_2 \cdot a + B_2 \cdot b = C_2$$

gde je:

$$A_1 = \sum (x_i)^2; \quad A_2 = \sum x_i = B_1$$

$$B_2 = N; \quad C_1 = \sum (x_i \cdot y_i); \quad C_2 = \sum y_i$$

Gornji sistem ima rešenja:

$$a = \frac{D_a}{D} = \frac{\begin{vmatrix} C_1 & B_1 \\ C_2 & B_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} A_1 & B_1 \\ A_2 & B_2 \end{vmatrix}} = \frac{C_1 \cdot B_2 - C_2 \cdot B_1}{A_1 \cdot B_2 - A_2 \cdot B_1}$$

$$b = \frac{D_b}{D} = \frac{\begin{vmatrix} A_1 & C_1 \\ A_2 & C_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} A_1 & B_1 \\ A_2 & B_2 \end{vmatrix}} = \frac{A_1 \cdot C_2 - A_2 \cdot C_1}{A_1 \cdot B_2 - A_2 \cdot B_1}$$

Konstante A_1, \dots, C_2 određuju se tablično, čijom zamjenom se dobijaju numeričke vrednosti za a i b .

Koefficijent korelacije iznosi

$$r = a \cdot \frac{\sigma_x}{\sigma_y}$$

a varijansa x-vrednosti

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N} \cdot \sum x_i^2 - \bar{x}^2 = \frac{A_1}{B_2} - \left(\frac{A_2}{B_2} \right)^2$$

i varijansa y-vrednosti

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{N} \cdot \sum y_i^2 - \bar{y}^2 = \frac{E}{B_2} - \left(\frac{C_2}{B_2} \right)^2; \quad K = \sum y_i^2$$

gde je srednja vrednost nezavisne promenljive

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \cdot \sum x_i = \frac{A_2}{B_2} = \frac{B_1}{B_2}$$

i srednja vrednost zavisno promenljive

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \cdot \sum y_i = \frac{C_2}{B_2}$$

Posle odgovarajućih zamena za koeficijent korelacijske dobijamo

$$r = \frac{C_1 \cdot B_2 - C_2 \cdot B_1}{A_1 \cdot B_2 - A_2 \cdot B_1} \cdot \sqrt{\left[\frac{A_1}{B_2} - \left(\frac{A_2}{B_1} \right)^2 \right] \left[\frac{E}{B_2} - \left(\frac{C_2}{B_1} \right)^2 \right]}$$

Ukoliko je koeficijent korelacijske bliži jedinici, korelacija između promenljivih je jača.

2.3 Uslovi pri eksperimentalnom ispitivanju i obradi podataka

Na osnovu eksperimentalnih podataka dobivenih pri obradi na strugu [2,3] (iz uzorka od 156, za zbirnu obradu podataka, izvojeno je 150 podataka, koji su se odnosili na obradu konstrukcionog čelika Č.0645 (po DIN St 60) i čelika za poboljšanje Č.4732 (po DIN 42CrMo4)), glodanju [11,6] (iz uzorka od 172 izdvojeno je 150 podataka, koji se odnose na valjčasto i čeono glodanje čelika za poboljšanje Č.1730 (po DIN C60)) i brušenju [12,7,9] (iz uzorka od 300 izdvojeno je 150 podataka, koji se odnose na spoljašnje cilindrično brušenje čelika za poboljšanje Č.4130 (po DIN 34Cr4) i čelika za cementaciju Č.5420 (po DIN 15CrNi6) i ravno brušenje čelika za poboljšanje Č.1730 (po DIN C60) i čelika za cementaciju Č.4721 (po DIN 20CrMo%)), izvršena je obrada podataka po pojedinim vrstama obrade i zbirno za sve vrste obrade za vrlo reprezentativni uzorak od $N=450 > 50$.

jeno je 150 podataka, koji se odnose na spoljašnje cilindrično brušenje čelika za poboljšanje Č.4130 (po DIN 34Cr4) i čelika za cementaciju Č.5420 (po DIN 15CrNi6) i ravno brušenje čelika za poboljšanje Č.1730 (po DIN C60) i čelika za cementaciju Č.4721 (po DIN 20CrMo%), izvršena je obrada podataka po pojedinim vrstama obrade i zbirno za sve vrste obrade za vrlo reprezentativni uzorak od $N=450 > 50$.

Na slikama sl. 1 i sl. 2 dat je grafički prikaz regresionih pravih sa ucrtanim eksperimentalnim tačkama za ukupnu populaciju (nezavisno od vrste obrade).

Za pojedine vrste obrade dobiveni su sledeći matematički modeli u linearном:

- struganje

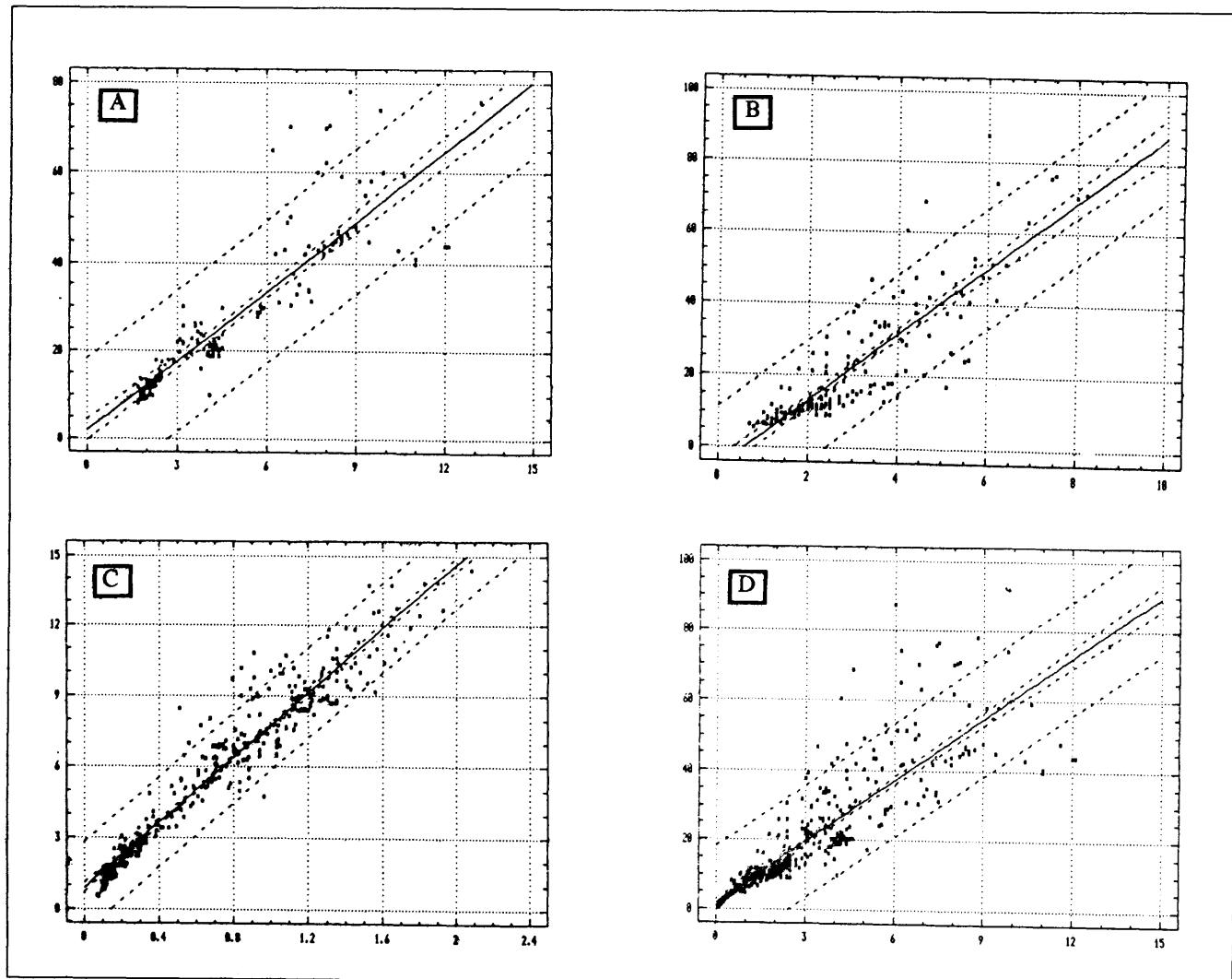
$$R_{\max} = 5,22 R_a + 2,02 \quad (r=0,88)$$

- glodanje

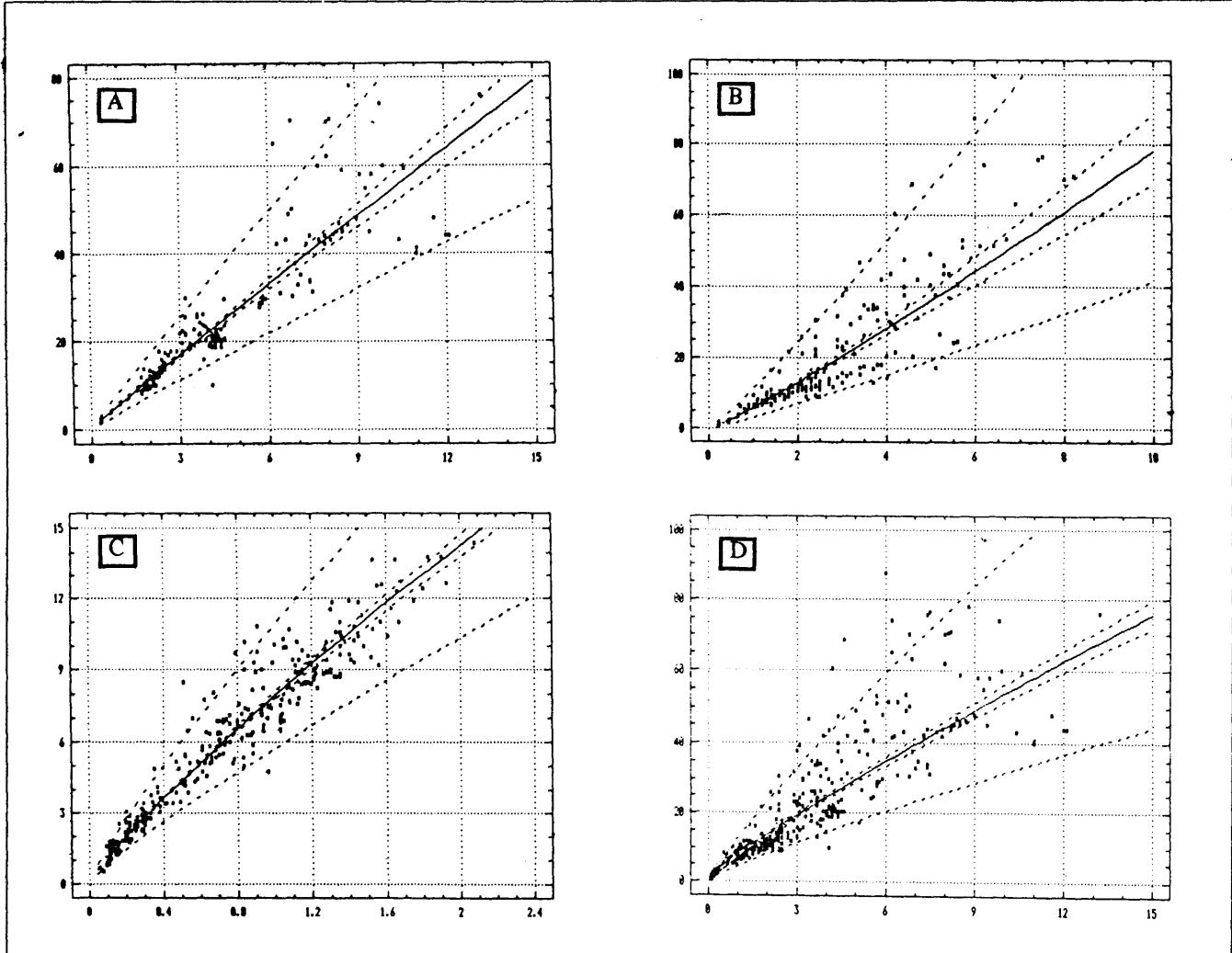
$$R_{\max} = 9,24 R_a - 5,44 \quad (r=0,87)$$

- brušenje

$$R_{\max} = 6,84 R_a + 0,92 \quad (r=0,96)$$



Sl. 1. - Dijagrami linearnih modela
 $R_{\max} = a R_a + b$



Sl. 2. - Dijagrami eksponencijalnih modela
 $R_{\max} = B R_a$

i zbirno, nezavisno od vrste obrade

$$R_{\max} = 5,58 R_a + 1,99 \quad (r=0,88)$$

i eksponencijalni modeli za obrade na:

- strugu

$$R_{\max} = 5,99 R_a^{0,95} \quad (r=0,94)$$

- glodalici

$$R_{\max} = 6,03 R_a^{1,11} \quad (r=0,83)$$

- brusilici

$$R_{\max} = 7,92 R_a^{0,85} \quad (r=0,98)$$

i zbirno, nezavisno od vrste obrade

$$R_{\max} = 7,62 R_a^{0,85} \quad (r=0,97)$$

Grafička interpretacija linijskih matematičkih modela prikazana je slikom sl. 3., a eksponencijalnih, u bilogaritamskim koordinatama slikom sl.4.

3. ANALIZA DOBIVENIH REZULTATA

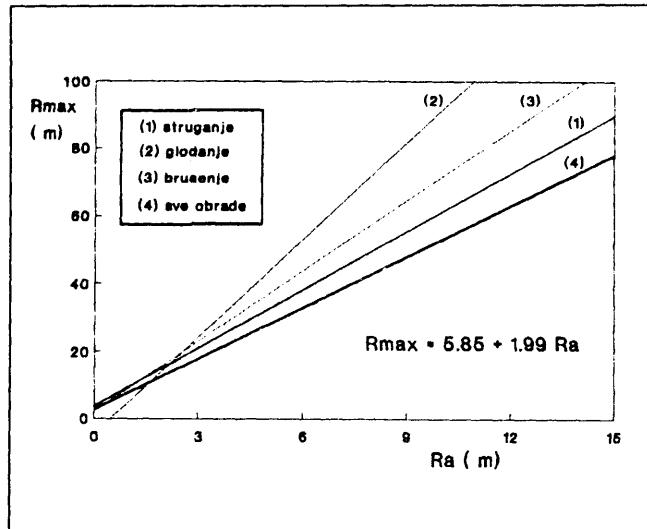
Nakon obrade eksperimentalnih podataka, prikladnost matematičkih modela vrednovana je preko vrednosti koeficijenta korelacije, ali i na osnovu veličine eksponenata u eksponencijalnoj zavisnosti.

Kao što je poznato, ukoliko je koeficijent korelacije bliži jedinici koreaciona veza je jača. Međutim, ako je eksponent u eksponencijalnoj vezi blizak jedinici, ukazuje da između nezavisne i zavisne promenljive postoji linearna zavisnost.

U eksponencijalnoj zavisnosti ukoliko vrednost eksponenta nije bliska jedinici linearnu zavisnost bi, u principu, trebalo odbaciti.

U skladu sa gore izloženim može se generalno zaključiti da su u izvedenim zavisnostima pripadajući koeficijenti korelacije vrlo visoki ($r>0.92$).

U eksponencijalnoj zavisnosti ukoliko je vrednost eksponenta bliska jedinici linearnu zavisnost bi, u principu, trebalo odbaciti.



Sl. 3. -Linearni matematički model

Veličina eksponenta u zavisnosti $R_{\max} = B \cdot R_a^a$ iznosi: za Č. 1130 $a=0.92$, a za Č. 5421 $a=0.99$, što ukazuje na malo odstupanje od linearne zavisnosti. Međutim, kako su u eksponencijalnim modelima postignuti približno isti koeficijenti korelacije kao i kod linearne veze $R_{\max} = a \cdot R_a + b$ to se uspešno mogu koristiti oba modela.

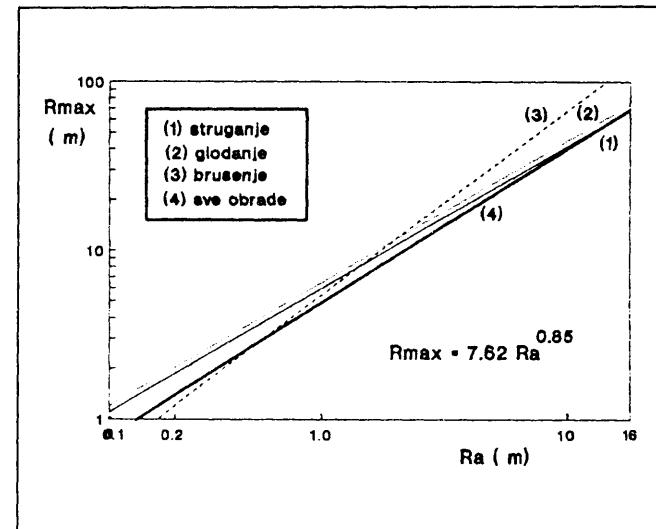
4. ZAKLJUČAK

Na osnovu napred izloženog može se zaključiti:

- da se za korelace metode, koji povezuju srednje matematičko odstupanje profila od srednje linije i maksimalnu visinu neravnina, mogu usvojiti eksponencijalne i lineарне zavisnosti jer postoji jaka korelaciona veza između posmatranih parametara.

LITERATURA

- [1] DJAČENKO P.E. i dr., O razrobotke projekta međunarodnog standarta na šerohovatost povrhnosti, Kačestvo povrhnosti detalja mašin, Trudi seminara po kačestvu povrhnosti, Sbornik 4, Izdatelstvo AN SSSR Moskva, 1959.
- [2] SEKULIĆ S., KOVAČ P., Korelacija između najveće visine neravnina i srednjeg aritmetičkog odstupanja profila od srednje linije obradene površine pri završnoj obradi na strugu, Tribologija u industriji, god VIII, br. 1, 1986.
- [3] SEKULIĆ S., KOVAČ P., Korelacija medzi jednotlivimi parametrami drsnosti obrobeneho povrchu pri jemnom sustruženi, Prednasky 3. Symposijum INTERTRIBO '87, I.diel, April, 27, 1987, Vysoke Tatry.
- [4] SEKULIĆ S., KOVAČ P., Korelacija između procenta nošenja i srednjeg aritmetičkog odstupanja profila od srednje linije obradene površine pri završnoj obradi na strugu, Zbornik radova Međunarodnog savetovanja o novim proizvodnim sistemima i tehnologiji, AMST'87, Okt. 1987., Opatija.
- [5] CEBALO R., Korelacija između hrapavosti brušene površine kod različitih postupaka brušenja, Tribologija u industriji, god.IX, br. 2., 1987.
- [6] SEKULIĆ S., KOVAČ P., Korelacija između pojedinih parametara hrapavosti pri čeonom glodanju, Tribologija u industriji, god. X, br. 2, 1988.
- [7] SEKULIĆ S., KOVAČ P., Correlation between the maximum roughness height and the arithmetic deviation of the profile from the mean line of machined surface in surface grinding, Proc. 7. Int. Conf. ITERGRIND'88, Nov. 1988. Budapest.
- [8] SEKULIĆ S., KOVAČ P., Korelacija između procenta nošenja i srednjeg aritmetičkog odstupanja profila od srednje linije obradene površine pri ravnom brušenju, Zbornik radova Prve Jugoslovenske konferencije o tribologiji, Sept., 1989. Kragujevac.
- [9] SEKULIĆ S., KOVAČ P., Correlation between some roughness parameters of machined surface in surface grinding, Publication of the school of engineering sciences, Novi Sad, Vol. 19&20, Novi Sad, 1988&1989.
- [10] SEKULIĆ S., KOVAČ P., Corelation between some roughness parameters of machined surface in external cylindrical grinding, Proc. 4th Symposium INTERTRIBO '90, May 1990, High Tatras, 1990.
- [11] SEKULIĆ S., KOVAČ P., Korelacija između najveće visine neravnina i srednjeg aritmetičkog odstupanja profila od srednje linije obradene površine pri valjčastom glodanju, Zbornik radova II, Naučno-stručnog skupa MMA '90 - Fleksibilne tehnologije, Sept. 1990., Novi Sad, 1990.
- [12] SEKULIĆ S., KOVAČ P., Korelacija između maksimalne i srednje hrapavosti pri spoljašnjem cilindričnom brušenju, Tribologija u industriji, god XII, br.4, 1990.
- [13] VUKADINOVIC S., Elementi teorije verovatnoće i matematičke statistike, Privredni pregled, Beograd, 1973.



Sl. 4. - Eksponencialni matematički model

P. DAŠIĆ, R. JEČMENICA

Analiza efektivnosti obrade primenom reznih alata od keramike

ISTRŽIVANJA

1. UVOD

Uvođenjem savremenih visokoproizvodnih obradnih i tehnoloških sistema, prisutna je stalna težnja za smanjenje kako glavnog, tako i pomoćnog vremena, posebno onog dela pomoćnog vremena koje se troši na izmenu i oštrenje reznog alata. Pri tom je potrebno u jednoj firmi primenjivati uglavnom standardne rezne alate i, procentualno, samo mali broj specijalno izrađenih u sopstvenim proizvodnim pogonima. U oblasti obrade metala ovo je ostvareno u velikoj meri masovnom primenom reznih alata (strugarskih noževa, noževa za rendisanje, glodala i sl.) sa mehaničkim pričvršćivanjem pločica, ili tzv. višesečnih izmenjivih reznih pločica, koji su u velikoj meri potisnuli ostale vrste reznih alata (rezne alate od brzoreznih čelika i sa lemljenim pločicama).

U radu su kroz određene primere dati konkretni efekti primeњene reznih alata sa mehaničkim pričvršćivanjem pločica od keramike.

2. PODELA REZNE KERAMIKE

Višesečne izmenljive rezne pločice izrađuju se od praška različitih metoda sinterovanja. U svetu su trenutno najviše rasprostranjene sledeće metode: hladno presovanje s naizmeđičnim sinterovanjem, toplo presovanje i toplo izostatičko presovanje. Poslednjih godina u svetu se za dobijanje novih tipova materijala za rezne alate široko primenjuje metod livenja pod pritiskom smeša praška. Za povećanje fizičko-mehaničkih i eksploracionih svojstava rezne pločice se podvrgavaju mehaničkoj obradi. Iz gore izloženog izvesno je da se radi o metalnim ili polometalnim hemijskim jedinjenjima iz klase: oksida, karbida i nitrita (sl.1) [2,3]. Struktura sve tri grupe materijala za rezne alate dozvoljava formiranje

Mr Predrag Dašić, dipl. ing.

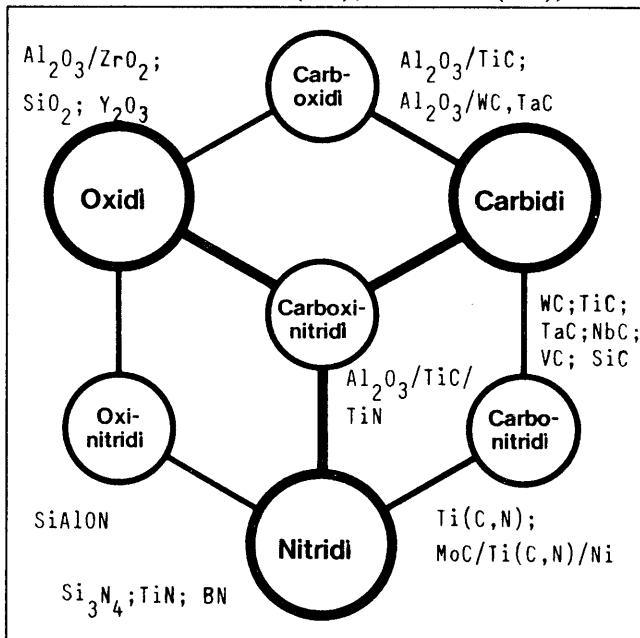
Viša tehnička mašinska škola, Trstenik

Prof. dr Ratomir Ječmenica, dipl. ing.

Tehnički fakultet, Čačak

mešanih kristala, tj. dozvoljava formiranje disperzije jedne faze u neku drugu fazu. Korišćenjem takvih mogućnosti legiranja moguće su kombinacije kako u okviru jedne grupe oksida, karbida ili nitrita, tako i kombinacije odgovarajućih komponenata različitih grupa. Na taj način formirane su podgrupe: oksinitrida, karbooksida, karbonitrida i karbooksinitrida. Sa sl. 1 lako se može prepoznati kako struktura pojedinih vrsta materijala za rezne alate prema klasičnim podelama tako i struktura pojedinih grupa reznih materijala od keramike. Tako se u osnovu razlikuju tri osnovne grupe reznih materijala od keramike [2,3,5]:

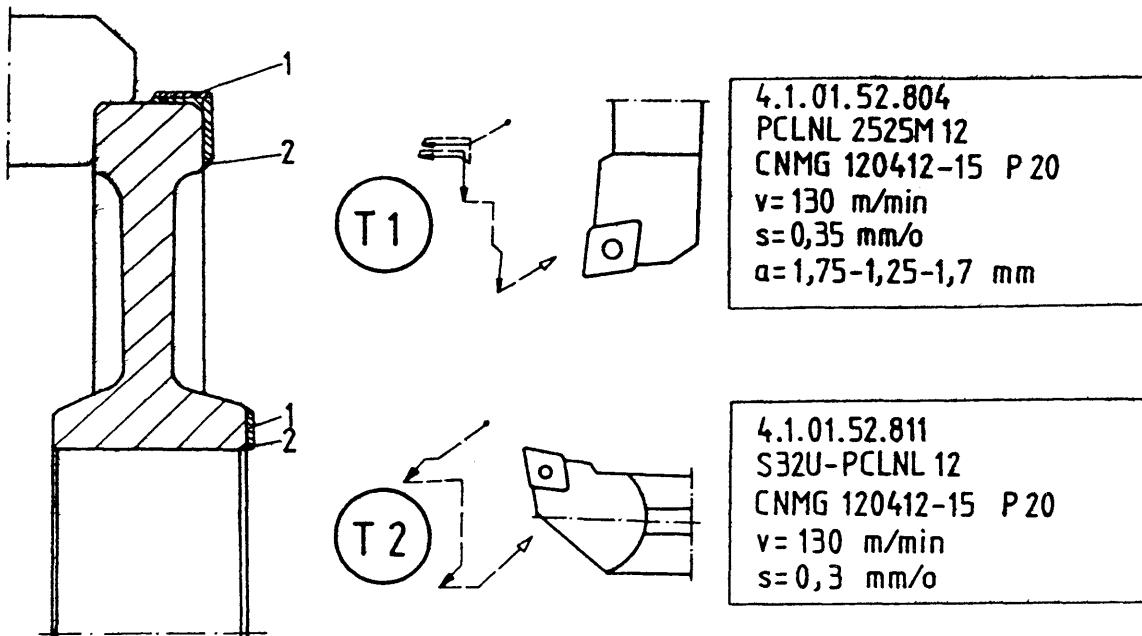
- oksidna keramika (oksidi), koja se sastoji od aluminijumoksida (Al_2O_3) sa dodatkom cirkonijumdioksida (ZrO_2).
- mešana keramika (oksidi + karbidi), koja se sastoji od oko 60% aluminijumoksida (Al_2O_3) sa dodatkom do 40% karbida titana (TiC), volframa (WC), tantala



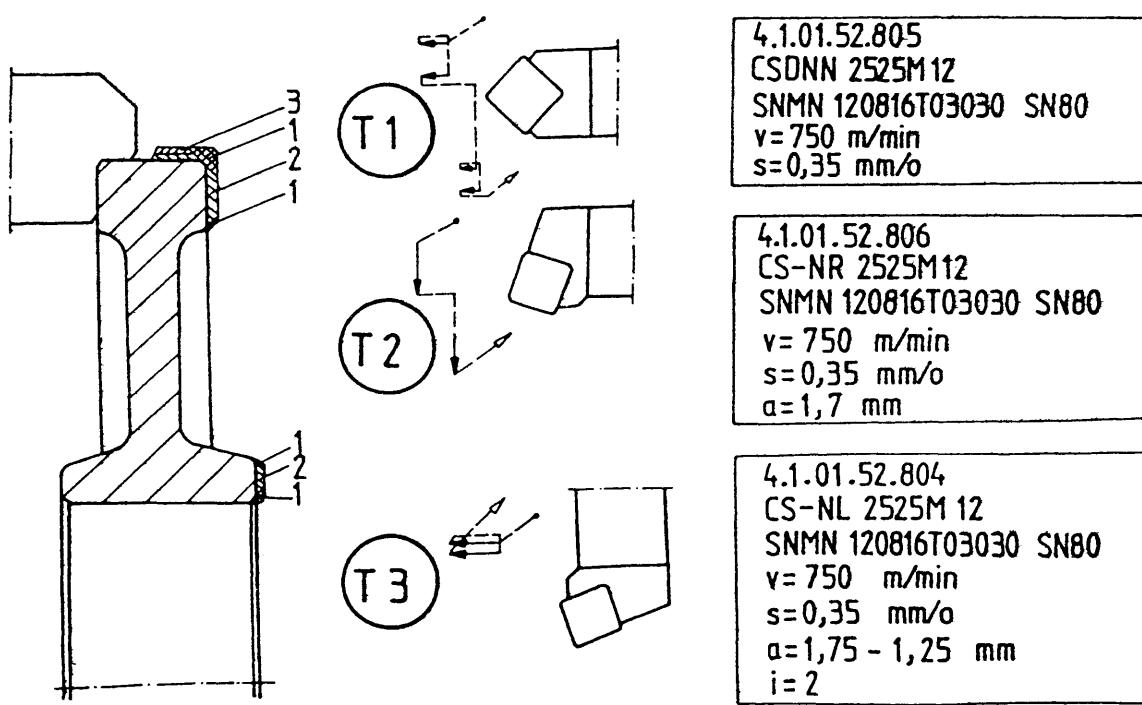
Sl. 1. - Klasifikacija materijala za rezne alate koji se izrađuju od praška različitim metodama sinterovanja

Karakteristike obratka		Karakteristike obradnog sistema	
Broj pozicije:	150 198	Tip mašine:	MD 5S
Broj operacija:	10	Proizvodač mašine:	MAX MÜLLER
Materijal:	ZF-6 (16MnCr5)	Pogonska snaga PM [kW]:	25
Stanje materijala	Žareno	Max. obrtni moment MtM [Nm]:	2500
Zatezna čvrstoća Rm [N/mm ²]:	550	Broj obrtaja n min/max [o/min]:	20 / 4000
Tvrdoča HB:	120 + 185	Korak s min/max [mm/o]:	0.1 / 4.0
Kvalitet obrađene površine Ra µm	3.2 + 6.3		

I - TEHNOLOŠKA VARIJANTA SA TVRDIM METALOM



II - TEHNOLOŠKA VARIJANTA SA REZNOM KERAMIKOM



Sl. 2. - Tehnološke varijante grubog struganja čelika sa tvrdim metalom i sa oksidnom reznom keramikom

(TaC), silicijuma (SiC) i niturida (TiN) ili karbonitrida (TiC/N) i

► nitridna keramika (nitridi + oksidi), koja se sastoji od silicijumnitrida (Si_3N_4) sa dodatkom oksida aluminija (Al_2O_3) i itrija (Y_2O_3).

3. OBLASTI I EFEKTI PRIMENE REZNIH ALATA OD KERAMIKE

Rezni alati od keramike izrađuju se u obliku izmenjivih pločica. Rezna keramika se u početnoj fazi razvoja primenjivala pretežno za obradu sivog liva i tvrdih materijala. Razvojem rezne keramike u pravcu veće čvrstoće, postignuto je da ideo čelika u području primene ima tendenciju rasta, tako da se danas rezna keramika primenjuje u oblasti grube i fine obrade struganjem, glodanjem i rendisanjem sivog liva, skoro svih vrsta čelika, kao i kaljenih čelika veće tvrdoće, od 40-65 HRC, dok se zbog prirode osnovnog hemiskog sastava, ne preporučuje u oblasti obrade aluminijuma i titana, kao i njihovih legura. Međutim, procentualno, najveći ideo reznih alata od keramike je u oblasti obrade metalova struganjem i ugalavnom zavisnosti od materijala i vrste zahvata i iznosi od 2 do 60 %. Pri tome je znatano veći ideo rezne keramike u količini skinute strugotine u jedinici vremena zbog njene primene sa velikim brzinama rezanja. Kratka vremena obrade pri velikoj postojanosti alata, a time i veliki broj obradaka koje jedna oštrica može da obradi za vreme svoje postojanosti, osnovna je karakteristika rezne keramike, koja je našla primenu u kompletnoj mašinogradnji, a posebno u automobilskoj industriji zbog velikih serija.

Oksidna keramika se primenjuje za grubu i finu obradu sivog liva i čelika pri velikim brzinama rezanja. U obradi struganjem, glodanjem i rendisanjem oksidna keramika omogućava zamenu reznih alata od brzoreznih čelika i od tvrdog metala. Na sl. 2 prikazane su tehnološke varijante grubog struganja zupčanika, sa reznim alatima od tvrdog metala i rezne keramike, na CNC strugu MD 5S [8]. Tehnološka varijanta sa tvrdim metalom (sl. 2-a) radena je sa učešćem 2 rezna alata, pri čemu je za oba alata brzina rezanja bila 130 [m/min]. Dok je tehnološka varijanta sa oksidnom reznom keramikom (sl 2-b) rađena sa učešćem 3 rezna alata, pri čemu je za sva tri rezna alata brzina rezanja bila 750 [m/min]. Za razliku od grubog struganja sa tvrdim metalom zupčanika sa sl. 2, kod grubog struganja sa oksidnom reznom keramikom, proizvodnost se povećava za 21.47 % dok se troškovi obrade smanjuju za 25.12 % [5].

Mešana keramika je pogodna za grubu i finu obradu struganjem i glodanjem tvrdog liva, čelika za cementaciju i poboljšanje, kaljenih čelika tvrdoće do 65HRC, kao i brzoreznih čelika, pri brzinama rezanja koje su 3 do 6 puta veće od onih sa tvrdim metalom. Preduslov za ekonomičnu primenu mešane keramike je prethodna obrada pomoću koje se uklanjuju kore, ostaci peska ili šupljine. Na sl.3 prikazana je analiza tehnoloških varijanti finog struganja zupčanika, od kaljenog čelika Č.4721 tvrdoće 54-57 HRC, sa reznim ala-

tom od tvrdog metala (kriva 2 na sl. 3) i mešane rezne keramike (kriva 1 na sl. 3), na univerzalnom strugu.

Funkcije raspodele $f(t)$ (sl.3-a) i funkcije pouzdanosti $R(t)$ (sl.3-b) određene su na osnovu:

- teoriskog Weibullovog zakona raspodele za obradu sa reznim alatom od tvrdog metala

$$f(t) = 0.336 \cdot \left(\frac{t}{14.854} \right)^{3.996} \cdot \exp \left\{ - \left(\frac{t}{14.854} \right)^{4.995} \right\}$$

i

$$R(t) = \exp \left\{ - \left(\frac{t}{14.8542} \right)^{4.9946} \right\}.$$

- teoriskom normalnog zakona raspodele za obradu sa reznim alatom od mešane rezne keramike

$$f(t) = 0.2876 \cdot \exp \left\{ -\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{|t - 15.0383|}{1.7337} \right)^2 \right\}$$

i

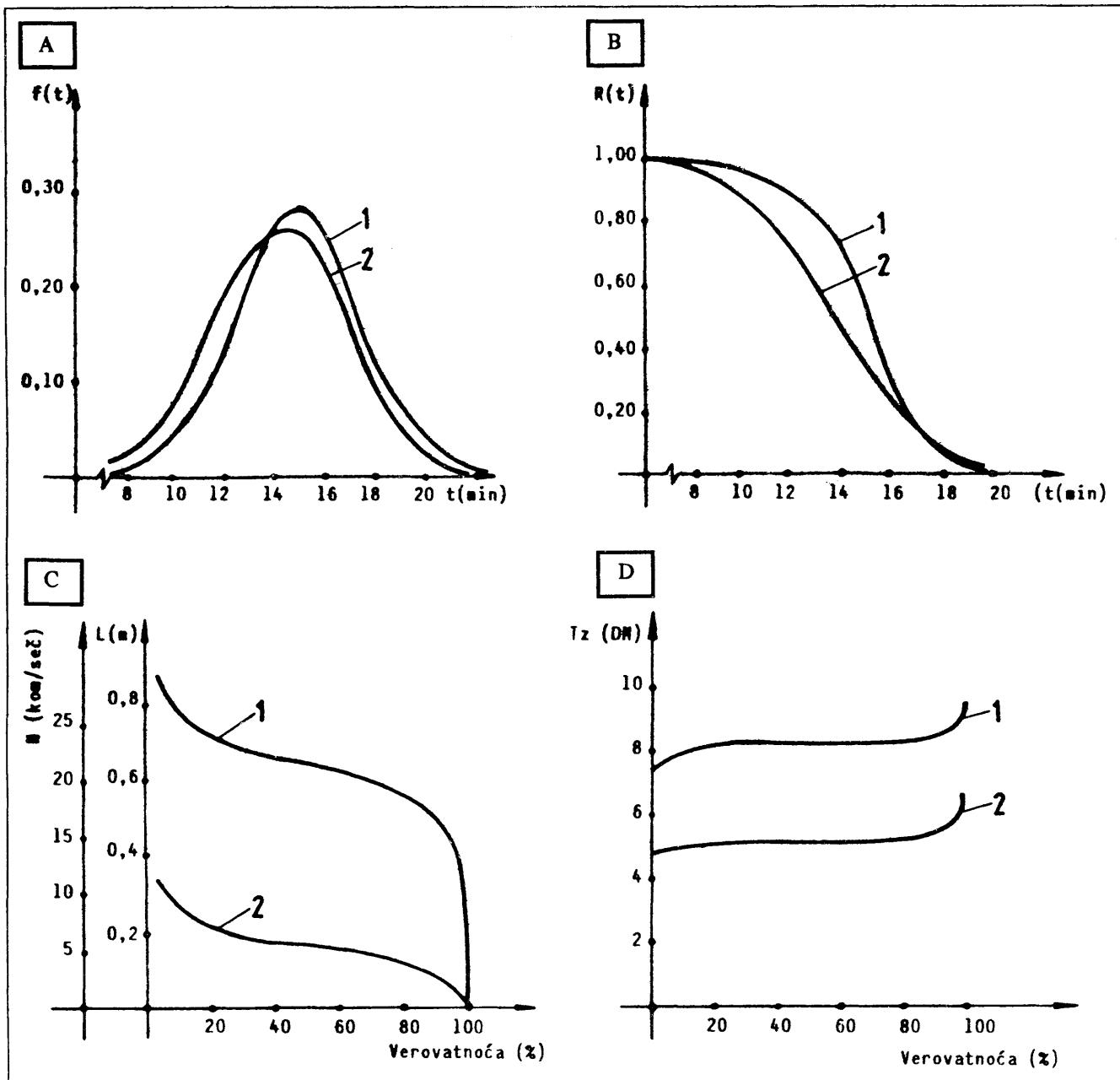
$$R(t) = 0.5 - \Phi \left(\frac{t - 15.0383}{1.7337} \right).$$

Na osnovu funkcije raspodele (sl. 3-a) i funkcije pouzdanosti (sl. 3-b) moguće je izvršiti uporednu analizu efektivnosti obrade na osnovu broja obradaka koji se mogu obraditi jednom reznom ivicom pločice ili puta rezanja (sl. 3-c) i troškova obrade (sl. 3-d) u zavisnosti od vremena verovatnoće obe tehnološke varijante obrade, tj. za obradu sa tvrdim metalom (krive 2 sa sl. 3.) i sa mešanom reznom keramikom (krive 1 sa sl. 3.) [5,7]. Za razliku od finog struganja sa tvrdim metalom, troškovi obrade se kod finog struganja sa mešanom reznom keramikom smanjuju za 37.43 % za verovatnoću 50 % ili za 38.97 % za verovatnoću 90 %.

U poslednje vreme se u metaloprerađivačkoj industriji sve češće ide ka tome da se brušenje kao operacija zameni finim struganjem pomoću mešane rezne keramike. Na sl.4. prikazana je operacija finog struganja malog zupčanika od kaljenog čelika reznom keramikom malog zupčanika od kaljenog čelika tvrdoće 62-63 HRC. Za razliku od brušenja, troškovi obrade se kod finog struganja smanjuju za 25 % [6].

Nitridna keramika se primenjuje u oblasti obrade struganjem i glodanjem sivog liva i livenih materijala sa nepovoljnim uslovima rezanja, pri prekidnom rezanju, odn. uz nagle prekide rezanja, pri primeni sredstava za hladjenje i podmazivanje ili pri velikim zahtevima za dimenzionalne tačnosti obradaka sa srednjim i velikim brzinama rezanja. Primena nitridne keramike moguća je i na mašinama sa manjim pogonskim snagama, kod kojih je nemoguća primena oksidne keramike. Zbog visoke cene, nitridna keramika se primenjuje u masovnoj proizvodnji i naročito na automobilskim linijama i fleksibilnim tehnološkim sistemima.

Efektivnost obrade umnogome zavisi od ispravno izabrane vrste rezne keramike. Negativni efekti koji se mogu javiti tom prilikom najbolje ilustruje sl. 5, na kojoj je prikazano habanje oksidne i mešane rezne keramike pri finom strugaju



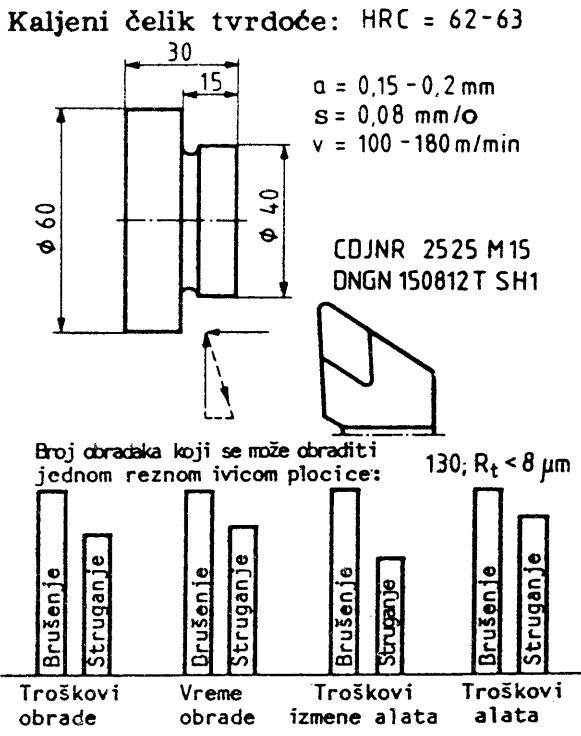
Sl. 3. - Uporedni grafički prikaz efektivnosti obrade pri obradi kaljenog čelika Č.4721 tvrdoće 54-57 HRC sa reznim alatom od tvrdog metala i mešane rezne keramike

kaljenog šelika tvrdoće 52-54 HRC. Sa sl. 5 može se uočiti da je za širinu pojasa habanja ledne površine od 0.25 mm ($VB=0.25$ mm) vreme rezanja za oksidnu keramiku 13 min, a za mešanu keramiku 55 min.

Za grubu obradu slobodno kovanih, kovanih ili presovanih delova gde su u procesu obrade nastale veće greške, rezna keramika nije našla ncku veću primenu.

I pored preimicstva u pojedinim oblastima obrade metala rezanjem rezna keramika nije našla opštu primenu u domaćoj mašinogradnji. Razlozi za ovo su višestruki. Rezni alati od keramike se mogu lako mehanički oštetiti i pre upotrebe. Pri primeni srednjih brzina rezanja pri upotrebi reznih alata od tvrdog metala glavna vremena su dosta kratka u poređenju sa

pomoćnim vremenom u ukupnoj strukturi vremena obrade, pa dalje povećanje brzine rezanja pri primeni reznih alata od keramike ne dovodi do proporcionalnog smanjenja vremena obrade. Smanjena žilavost i otpornost na savijanje uslovjava povećanu osetljivost na udarna opterećenja (prekidno rezanje, šupljine u materijalu i sl.) i promenljiva termička naprezanja, što često dovodi do krzanja i loma reznog alata. Pri obradi čelika zbog mogućnosti pojave trakaste strugotine, odvođenje strugotine predstavlja problem. Ovaj problem se ne pojavljuje pri obradi sivog liča zbog drobljene strugotine. Jedan od nedostataka je i mali broj mašina koje imaju veliku pogonsku snagu i koje mogu ostvariti tako velike brzine rezanja uz odgovarajuću stabilitet. [8].



Sl. 4 - Fino struganje malog zupčanika od kaljenog čelika sa mešanom reznom keramikom

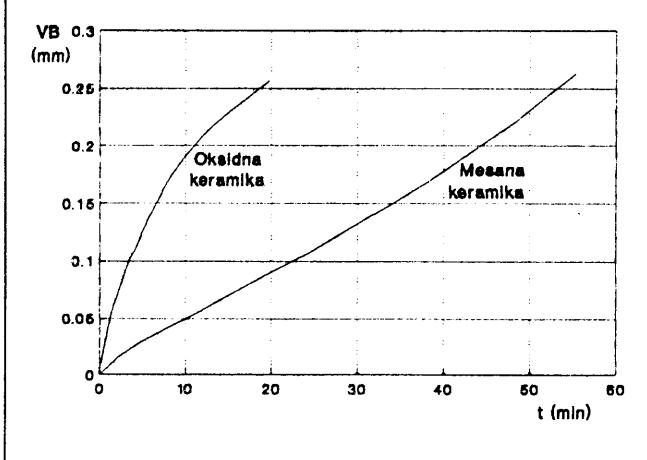
4. ZAKLJUČAK

Iz izloženog slede opšniji zaključci:

- ▶ Kroz prikaz primene pokazani su efekti primene savremenih reznih alata,
- ▶ Bez obzira na male razlike između postojanosti alata kod reznih alata od tvrdih metala i rezne keramike, primena rezne keramike omogućava povećanje produktivnosti i smanjena troškova obrade, zbog obrade sa znatno većim brzinama rezanja u odnosu na obradu sa reznim alatima od tvrdog metala,
- ▶ Znatno veliki efekti obrade postižu se i u oblasti obrade kaljenih čelika, gde se operacija brušenja može zamjeniti operacijom struganja sa reznim alatima od keramike,
- ▶ Analiza efektivnosti obrade na osnovu određivanja pouzdanosti reznih alata omogućava pouzdanu (valjanu) informaciju o efektima savremenih reznih alata i uporednu analizu različitih tehnoloških varijanti i
- ▶ Reznim alatima od keramike treba pokloniti veliku pažnju, jer omogućavaju povećanje efektivnosti obrade, što ilustruju i prikazani primeri.

LITERATURA

- [1] Coromant Zerspanungstechnik, Drehen Handbuch, Copyright Sandvik Coromant, 1958.
- [2] U. DWORAK, SPK Schneidkeramik, Die Entwicklung zum Hochleistung - Schneidstoff für die tägliche



Sl. 5 - Prikaz habanja oksidne prevlake i mešane rezne keramike pri finom struganju kaljenog čelika

Praxis, In.: Referate SPK-Schneidkeramik - Tage '84 s. 4-10., Düsseldorf, 1984.

[3] J. F. MOMPER, K. M. FRIEDRICH, M. FRIPAN, Keramische Schneidstoffe, Entwicklungsstand - Tendenzen - Anwendungen, VDI-Z Special (1987.), Nr. 4, s. 4-15

[4] R. ABEL, H. KRAFT, SPK-Werkzeuge, Neue Systeme für des Drehen und Fräsen mit Scheidkeramik, In.: Referate SPK-Schneidkeramik - Tage '84 s. 11-26., Düsseldorf, 1984.

[5] P. DAŠIĆ, R. JEČMENICA, Tehno-ekonomska analiza primene reznih alata od keramike pri obradi strugnjem, XII Jugoslovenski simpozijum NU-ROBOTI-FTS (Zbornik radova str. 149-156), Cavtat, 8. i 9. februar 1990.

[6] R. GLOCKNER, L. VERKAUF, Moderne Anwendungstechnik optimiert die Produktion und steigert die Wertschaftlichkeit, In.: Referate SPK-Schneidkeramik - Tage '84 s. 27-46., Düsseldorf, 1984.

[7] P. DAŠIĆ, R. JEČMENICA, Stochastic Analysis of Modern Cutting Tools Application, 2nd International Conference on Advanced Manufacturing System and Technology - AMST '90, Trento, 19. - 21. june 1990.

[8] P. DAŠIĆ, S. MILOŠEVIĆ, D. FILIPOVIĆ, D. BRKIĆ, LJ. TODOROVIĆ, Tehnoekonomska analiza primene reznih alata od keramike pri obradi rezanjem, XXI Jugoslovensko savetovanje o proizvodnom strojarstvu (Zbornik radova knjiga II str. 289-298), Opatija, 1987.