



## REZULTATI MJERENJA TRIBOLOŠKIH KARAKTERISTIKA GRUPE TEŠKOOBRADIVIH MATERIJALA NA TRIBOMETRU "BLOCK ON DISK"

Mr Gordana LAKIĆ GLOBOČKI

*Mašinski fakultet Banjaluka, Republika Srpska, BiH*

### SOME RESULTS OF TRIBOLOGICAL PROPERTIES MEASUREMENTS OF GROUP HEAVY MACHINING MATERIALS ON TRIBOMETER " BLOCK ON DISK"

#### *S u m m a r y*

*Constant development of new materials, tools, lubricants and coolant impose need for permanent experimental research in machining in order to estimate cutting workable of new materials and tribological properties of new tool materials, as well as properties of coolant and lubricant.*

*There is a need for development of rapid research in model conditions, and one of possible ways is development of research methods by simulations of tribological process on tribometer. Research work, in Laboratory for machine tooling and tribology at Faculty of Mechanical Engineering in Kragujevac, has been making up significant results in development of tribometrics methods and measurement equipments for tribological investigation on "Block on Disk" tribometer.*

*Some preliminar experimental research results of tribological properties of heavy machining materials group on tribometer "Block on Disk" are presented in this paper. During research work necessary estimations and measurements have been done previous because of simulation of process happening in cutting zone.*

**Key words:** *friction, wearing, tribometer, cutting workable, simulation*

#### 1. UVOD

U savremenim istraživačkim projektima u kojima se razvijaju novi konstrukcioni i alatni materijali, novi postupci povećanja otpornosti alata na habanje i nove vrste SHP, dio istraživanja obavezno ima tribološki karakter. Konačna ocjena eksploatacijskih svojstava materijala, alata i SHP donosi se na osnovu mjerenja sila trenja, kvaliteta obrađene površine i određivanja vijeka trajanja alata u konkretnim proizvodnim uslovima.

Poznato je da produktivnost obradnih procesa, troškovi obrade i potrošnja energije u proizvodnim procesima u velikoj mjeri zavise od veličine sila trenja u zonama rezanja i intenziteta habanja reznih elemenata alata u predviđenim uslovima obrade.

Savremeni razvoj materijala praćen je intenzivnim naučnim istraživanjima. Broj novih materijala posljednjih godina bilježi eksponencijalni rast. Procjene govore da je do danas u opticaju 70.000 do 100.000 različitih vrsta materijala. Iako je broj osnovnih vrsta znatno manji, raznovrsnost se postiže varijacijama sastava i strukture kao posljedice uslova dobijanja ili naknadne obrade.

Obradivost rezanjem teškoobradivih materijala prvenstveno zavisi od njihovog hemijskog sastava koji uz pomoć odgovarajuće termičke obrade, obezbjeđuje njihova eksploatacijska svojstva (vatrootpornost, korozionu otpornost pri visokim temperaturama, visoku čvrstoću i dr.). Najčešće korišteni teškoobradivi materijali i legure su: vatrootporni i

nerđajući Cr - Ni čelici, visokovatrootporne legure Ni i Co, kao i legure Ti.

Razlozi za lošu obradivost pomenutih materijala su sljedeći:

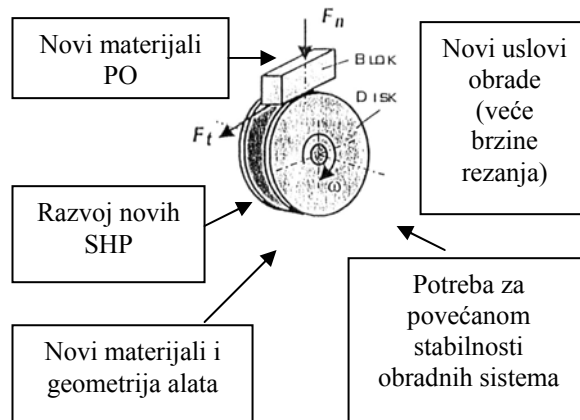
- u strukturi ovih materijala nalazi se visok procenat legirajućih elemenata (Ni, Cr, Co, Mo, W, Ti, Nb) koji dovode do stvaranja vrlo tvrdih karbida i nitrida, koji su dalje uzrok intenzivnog abrazivnog habanja alata (moguća je njihova obrada sa malim brzinama rezanja zbog male postojanosti alata)
- zadržavanje polazne tvrdoće i čvrstoće pri visokim temperaturama što dovodi do visokih vrijednosti otpora i temperature rezanja, što znači da je prisutno jako mehaničko i termičko opterećenje alata. Intenzivno zagrijavanje reznog dijela alata posljedica je niske toplotne provodljivosti teškoobradivih materijala.

Kod pojedinih vrsta Cr - Ni čelika i Ni legura izražena je sklonost ka ojačavanju materijala u procesu rezanja što dovodi do povećanja otpora i temperature rezanja, a time i do pojačanog habanja alata. Kao posljedica ojačavanja materijala i pojave naslage u procesu rezanja dolazi do neravnomyernosti formiranja strugotine što intenzivira vibracije pri rezanju i dovodi do dinamičkog opterećenja alata (intenzivnije habanje alata). Obradivost Cr - Ni čelika pri rezanju olakšava se primjenom određenih postupaka termičke obrade (žarenje, rekristalizaciono žarenje, meko žarenje, poboljšanje, kaljenje itd.). Upravo zbog gore pomenutih razloga vrlo je važno kod obrade ovakvih materijala posvetiti dovoljnu pažnju izboru materijala i geometrije reznog alata jer su oni pri radu izloženi veoma velikim mehaničkim i toplotnim opterećenjima kao i izraženom abrazivnom dejstvu materijala radnog predmeta. Da bi odgovorili ovakvim uslovima rada, materijali alata treba da imaju visoku čvrstoću, veliku toplotnu otpornost i otpornost na habanje pri visokim temperaturama.

U obradi rezanjem još uvijek se najviše koriste brzorezni čelici i to: HSS pri obradi sa malim brzinama rezanja lako obradivih materijala i HSS.E sa povećanim sadržajem lagirajućih elemenata (W, Co, Mo) za obradu teže obradivih materijala. Pored toga sve više su u upotrebi brzorezni čelici proizvedeni metalurgijom praha, kao i alati od ovih čelika presvučeni tvrdim prevlakom na bazi TiN. Od

tvrdih metala (TM) koriste se oslojeni TM i bezvolframovi TM (cermet) koje odlikuje dobra žilavost i čvrstoća sječiva.

Analizom posebnih, izmijenjenih uslova obrade teškoobradivih materijala koji zahtijevaju nove vrste alatnih materijala kao i prilagođenu geometriju alata neminovno se nameće potreba za brzim modelskim ispitivanjima na tribometru. U ovom radu prikazani su neki od rezultata mjerenja triboloških karakteristika grupe teškoobradivih materijala modeliranjem kontakta između ledne površine alata i obrađene površine predmeta obrade na tribometru "Block on Disk".



Slika 1. Zahtjevi za brza modelska ispitivanja na tribometru

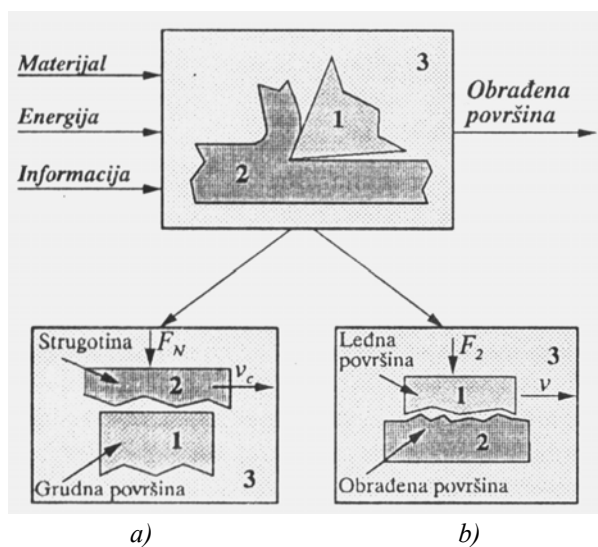
## 2. EKSPERIMENTALNI PROGRAM I USLOVI ISPITIVANJA

Osnovna veličina kojom se određuje obradivost materijala, eksploatacijske karakteristike alata i tribološka svojstva SHP je "postojanost alata", odnosno vrijeme efektivnog rezanja alata do pojave njegove kritične pohabanosti. Na postojanost alata utiču tribološki procesi koji se, za vrijeme rezanja, razvijaju u oba osnovna tribomehanička sistema, odnosno u zonama kontakta spoljašnje strane strugotine i grudne površine alata i ledne površine alata i obrađene površine na radnom predmetu, (slika 2).

Pošto se u većini slučajeva obrade rezanjem intenzivni procesu habanja odvijaju na lednoj površini alata, onda se u skladu sa tribološkim pristupom procesima rezanja može razmatranje složenog sistema svesti na analizu kontakta dva tijela pri kome jedno tijelo klizi po drugom uz prisustvo SHP i spoljašnjeg opterećenja.

Stoga se stvarni procesi mogu modelirati tribološkim parom "Block on Disk" gdje disk predstavlja predmet obrade, a blok predstavlja alat.

Da bi se potpuno odredili uslovi ispitivanja, neophodno je kroz analizu realnog sistema odrediti veličinu spoljašnjeg opterećenja i brzinu klizanja. Vrijednosti normalnog opterećenja mogu se odrediti računski u skladu sa vrstom i uslovima obrade (elementi režima obrade, poznate karakteristike materijala predmeta obrade, geometrija obrade, tip alata, karakteristike SHP) ili pak mjerenjem otpora rezanja uz pomoć dinamometara.



Slika 2. Osnovni tribomehanički sistemi

Radijalna komponenta sile rezanja djeluje normalno na leđnu površinu reznih elemenata alata i kreće se u obradi struganjem, u zavisnosti od karakteristika materijala predmeta obrade, od 200 N do 300 N. Brzina rezanja (brzina klizanja leđne površine alata po obrađenoj površini predmeta obrade) kreće se od 30 do 70 m/min u zavisnosti od materijala alata (HSS, TM, prevučeni TM, itd.).

Primjena tribometara za tribološka ispitivanja nosi sa sobom niz prednosti kao što su: male dimenzije elemenata u kontaktu (blok, disk), jednostavna geometrija, mogućnost kontrole i variranja radnih uslova i strukturnih parametara kontaktnog para, smanjenje vremena i troškova ispitivanja itd.

Polazeći od činjenice da se proces habanja alata po obe površine reznog klina vrši u uslovima klizanja sa poznatim spoljašnjim opterećenjem i brzinom klizanja uz granično podmazivanje i hlađenje sredstvom za hlađenje i podmazivanje, vršena su eksperimentalna ispitivanja na tribometru "Block on Disk" u kojima su mjereni sila i koeficijent trenja u zoni kontakta i tragovi habanja na bloku i disku nakon završenog eksperimenta. Svi eksperimenti su realizovani u Laboratoriji za obradu metala i tribologiju Mašinskog fakulteta u Kragujevcu.

Eksperimentalni program je realizovan u sljedećim uslovima:

**Predmet obrade (materijal diska)** - grupa teškoobradivih materijala: Č3840 (Merilo), Č4150 (OCR), Č5430 poboljšan, Č5742 (Utop), Č9780 (HSS.E), Č4578 (Prokron)

**Materijal alata (materijal bloka)** - HSS.E (Č9780, tvrdoće 66 HRC), TM i TM sa prevlakom.

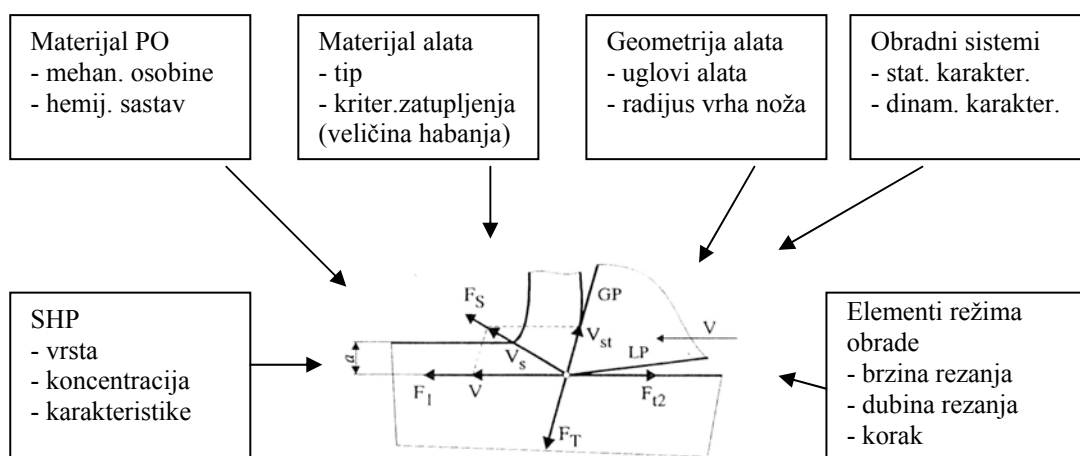
**Normalno opterećenje (radijalna komponenta sile rezanja)** - 300 N.

**Brzina klizanja (brzina rezanja)** - 0,74 do 1,143 m/s.

**SHP-** režno ulje.

**Vrijeme kontakta** - 120 min.

**Geometrija kontakta** - linijski kontakt.



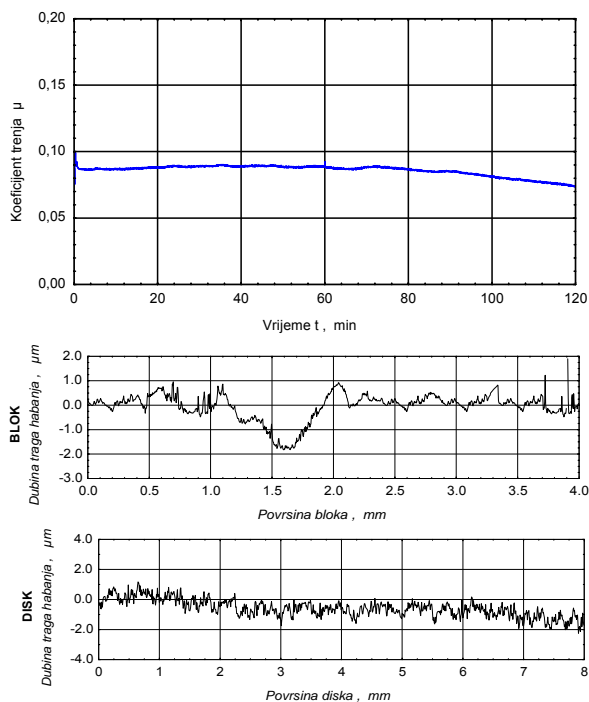
Slika 3. Faktori koji utiču na sile rezanja i brzine klizanja na grudnoj i leđnoj površini reznog klina

Kontakt između bloka i diska ostvaruje se po liniji čija se širina (trag habanja) povećava sa vremenom ostvarivanja kontakta, isto kako se povećava širina pojasa habanja na leđnoj površini reznog klina alata za vrijeme rezanja. Sila trenja koja se izmjeri na tribometru "Block on Disk" odgovara sili trenja koja se javlja u procesu rezanja između leđne površine reznog klina i obrađene površine predmeta obrade.

Parametri topografije elemenata u kontaktu, kao i širine traga habanja na bloku i disku mjereni su na uređaju Talysurf 6.

### 3. NEKI REZULTATI PRELIMINARNIH ISPITIVANJA

Ispitivanja triboloških karakteristika grupe teškoobradivih materijala realizovana su kroz više serija eksperimenata. Prikazani rezultati pripadaju grupi eksperimenata u kojima je normalno opterećenje bilo 300 N, brzina klizanja 0,74 m/s (45 m/min), a kao SHP je korišteno režno ulje (gradacija ISO 22), podmazivanje je bilo granično za vrijeme neprekidnog kontakta od 120 min. U dijagrame su unešene prosječne vrijednosti koeficijenta trenja. U okviru rada dati su zapisi koeficijenta trenja za neke od ispitivanih materijala snimljeni za vrijeme trajanja eksperimenta (slike 4 i 5).

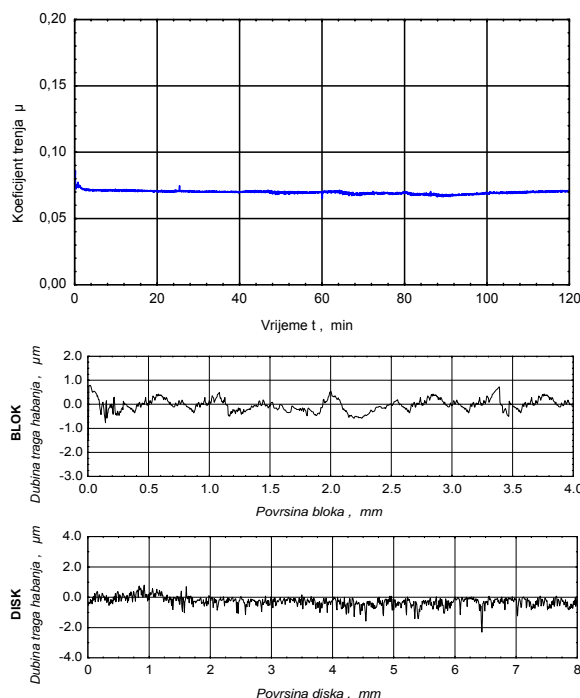


Slika 4. Koeficijent trenja i tragovi habanja na bloku i disku za kontaktni par Blok HSS.E - Disk Č 3840

Vrijednosti širine traga habanja predstavljene na dijagramu su izmjerene na univerzalnom alatnom mikroskopu. U radu su dati i neki od zapisa širine i dubine traga habanja na bloku i disku za neke od ispitivanih materijala.

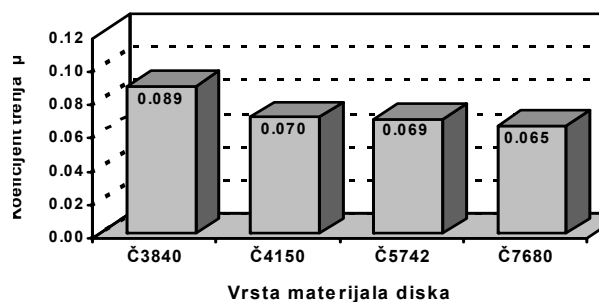
Vrijednost koeficijenta trenja za kontaktni par blok (HSS.E - Č9780, 66 HRC) i disk (Merilo - Č3840, 191 HB), pri brzini klizanja  $v_k = 0,74$  m/s, izgled tragova habanja na bloku i disku nakon završenog eksperimenta za ovaj kontaktni par i navedene uslove rada prikazani su na slici 4.

Koeficijent trenja, širine i dubine traga habanja za kontaktni par blok (HSS.E - Č9780, 66 HRC) i disk (OCR - Č4150, 241HB), brzina klizanja  $v_k = 0,74$  m/s, predstavljen je na slici 5.

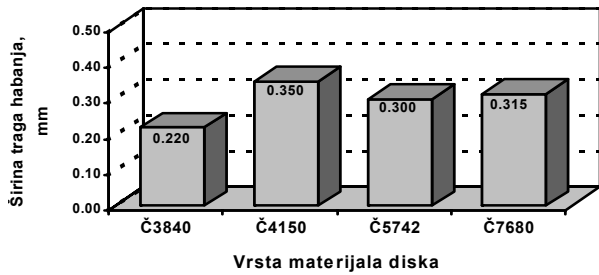


Slika 5. Koeficijent trenja i tragovi habanja na bloku i disku za kontaktni par HSS.E - Č4150

Na slikama 6 i 7 predstavljeni su rezultati mjerenja srednje vrijednosti koeficijenta trenja i pohabanosti blokova pri ispitivanju sa grupom materijala.



Slika 6. Srednja vrijednost koeficijenta trenja za grupu materijala u toku 120 min ispitivanja

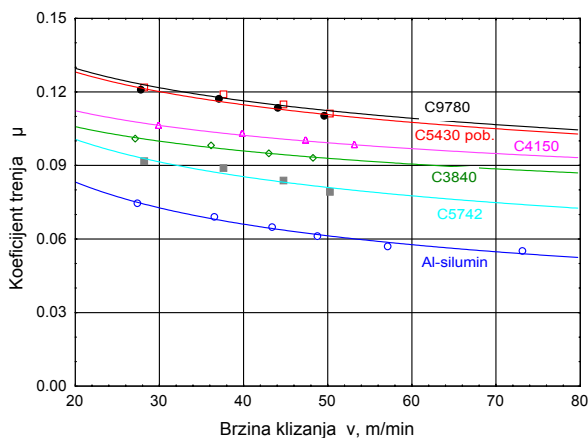


Slika 7. Širine tragova habanja na bloku od HSS.E za grupu materijala nakon 120 min ispitivanja

Realizovana ispitivanja sa blokom od HSS.E su pokazala da ne postoji direktna zavisnost koeficijenta trenja i veličine habanja bloka, odnosno veći koeficijent trenja ne mora da znači i povećano habanje bloka.

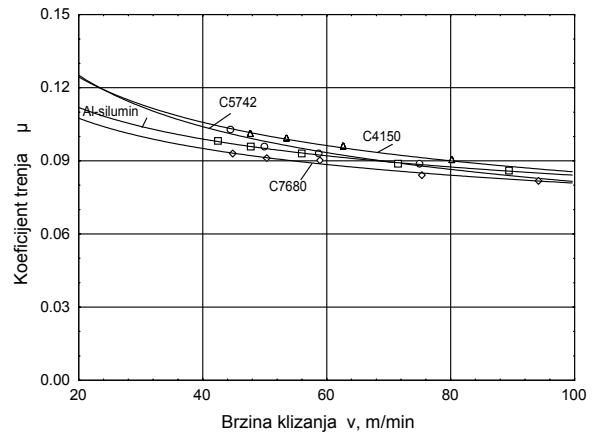
Naredna grupa eksperimenata je izvedena sa istim teškoobradivim materijalima (diskovi) sa ciljem ispitivanja promjene koeficijenta trenja u zavisnosti od brzine klizanja. Eksperimenti su izvedeni sa tri vrste materijala bloka: HSS.E (Č9780, 66HRC), TM i prevučeni TM. Za blokove od tvrdog metala su korišćene kvadratne rezne pločice.

Na slikama 8 i 9 prikazane su krive promjene koeficijenta trenja u zavisnosti od brzine klizanja za različite materijale elemenata u kontaktu.



Slika 8. Uticaj brzine klizanja na koeficijent trenja pri ispitivanju sa blokom od HSS.E pri opterećenju  $F_n = 300\text{ N}$  i SHP: Rezno ulje

Analizom prikazanih krivih može se zaključiti da pri ispitivanjima sa blokom od HSS.E promjena brzine klizanja neznatno utiče na promjenu koeficijenta trenja kod ispitivanih materijala, pri čemu se u svim slučajevima uočava blagi pad koeficijenta trenja sa porastom brzine klizanja. Vrsta materijala diska neznatno utiče na promjenu koeficijenta trenja.



Slika 9. Uticaj brzine klizanja na koeficijent trenja pri ispitivanju sa blokovima od prevučenog i neprevučenog TM pri opterećenju  $F_n = 300\text{ N}$  i SHP: Rezno ulje

Analizom krivih prikazanih na slici 9, može se vidjeti da pri ispitivanjima sa blokovima od tvrdog metala bez prevlake i sa prevlakom promjena brzine klizanja ima neznatan uticaj na promjenu koeficijenta trenja. Takođe se uočava da vrsta materijala diska nema značajan uticaj na promjenu vrijednosti koeficijenta trenja.

#### 4. ZAKLJUČAK

Mjerenjem koeficijenta trenja i habanja pri ostvarivanju kontakta bloka i diska na tribometru "Block on Disk", pri čemu je blok od materijala za rezne alate, a disk od materijala predmeta obrade može se doći do informacija o obradivosti materijala. Pri ovim ispitivanjima uslovi kontakta na tribometru (normalno opterećenje i brzina klizanja) odgovaraju realnim uslovima kontakta alata i predmeta obrade u procesu rezanja, (sile i brzine rezanja). U ovim ispitivanjima kao sredstvo za podmazivanje na tribometru korišteno je rezno ulje koje se inače koristi pri obradi teškoobradivih materijala.

Dobijeni rezultati ispitivanja sa blokom od brzoreznog čelika (HSS.E) ukazuju na postojanje znatnih razlika u vrijednosti koeficijenta trenja i pohabanosti bloka za različite materijale diska, kao i znatan uticaj brzine na vrijednost koeficijenta trenja. Kod ispitivanja sa blokom od tvrdog metala sa i bez prevlake može se zaključiti da je uticaj brzine klizanja na promjenu vrijednosti koeficijenta trenja neznatan, kao i to da materijal diska ne utiče bitno na vrijednost koeficijenta trenja.

Ovako dobijeni rezultati i njihova prezentacija su pokazali da se mogu vršiti brza ispitivanja i simulacija procesa rezanja na tribometru "Block on Disk". Da bi se na osnovu ovih rezultata mogao donositi zaključak o obradivosti ispitivanih materijala potrebno bi bilo izvršiti ispitivanja rezanjem u konkretnim uslovima obrade sa mjerenjima otpora rezanja i pohabanosti alata. Uspostavljanjem zavisnosti između rezultata merenja na tribometru i pri obradi rezanjem, došlo bi se do modela koji se može iskoristiti za ispitivanje obradivosti materijala mjerenjima samo na tribometru. To bi u znatnoj mjeri doprinijelo smanjenju vremena i troškova ispitivanja obradivosti novih i teškoobradivih materijala.

## LITERATURA

- [1] B. Ivković, Simulation of Tribological Processes in the Cutting Zone on Tribometer "Block on Disk", J.Tribology in industry, Vol..XX, N<sup>o</sup>3, 1998
- [2] B. Ivković, Tribometry and Tribodiagnostic, Balkantrib '96
- [3] Allison - Grenier, A. F. Test Method in Tribology, The First World Tribology Congress, 1997, London
- [4] Mačužić, P. Todorović, B. Ivković, Tribological Characteristics of the Cutting Fluid Group, Some results of the Investigations on "Pin on Disk" tribometer, J. of the balkan Tribological Association, Vol. 4,N<sup>o</sup>1,1998.
- [5] B. Nedić, B. Ivković, Simulacija procesa rezanja na tribometru u funkciji razvoja novih SHP, 4. DQM konferencija, Vrnjačka Banja, 2001
- [6] B. Ivković, G. L. Globočki, P. Dugić, Some results of Friction and Wear Tests in the HSS and Al Alloy Contact, Conference Manufacturing Engineering and EUREKA Partnerig Event, 2002, Greece
- [7] G. L. Globočki, B. Nedić, B. Ivković, Ispitivanje triboloških karakteristika SHP pri obradi Al simulacijom procesa rezanja na tribometru., DEMI 2002, Banjaluka
- [8] G.L. Globočki, Modeliranje i simulacija procesa rezanja, DEMI 2003, Banjaluka