

Lina

21. SAVJETOVANJE
PROIZVODNOG
STROJARSTVA
JUGOSLAVIJE

ZBORNİK RADOVA

I

Pokrovitelji

JAZU – JUGOSLAVENSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI - ZAGREB
CIRP – MEĐUNARODNA INSTITUCIJA ZA ISTRAŽIVANJA U PROIZVODNOM
STROJARSTVU - PARIS

Opatija, listopad 1987.

ZAJEDNICA JUGOSLOVENSКИH ZNANSTVENO-
ISTRAŽIVAČKIH INSTITUCIJA PROIZVODNOG
STROJARSTVA

Elektromašinski fakultet, Skoplje - Fakultet za strojni-
štvo, Ljubljana - Fakultet strojarstva i brodogradnje,
Zagreb - LOLA-IAMA, Beograd - Mašinski fakultet, Beograd
- Prvomajska-istraživanje i razvoj, Zagreb - Institut za
proizvodno mašinstvo-FTN, Novi Sad - Institut za indus-
trijske sisteme-FTN, Novi Sad - Mašinski fakultet, Kra-
gujevac - Mašinski fakultet, Niš - Mašinski fakultet,
Sarajevo - Mašinski fakultet, Zenica - Tehnički fakultet,
Titograd - Mašinski fakultet, Mostar - Mašinski fakultet,
Banja Luka - Tehnički fakultet, Priština - Pedagoško teh-
nički fakultet, Čačak - Tehnički fakultet, Rijeka - Visoka
tehnička škola, Maribor - Fakultet za strojarstvo, Split

ORGANIZATOR SAVJETOVANJA

TEHNIČKI FAKULTET RIJEKA

N.Ustanka 58

51000 RIJEKA

MJESTO ODRŽAVANJA SAVJETOVANJA

Kongresni centar Adriatik

OPATIJA, 6-7. listopad 1987.

TISAK: Vera Hofbauer, Rijeka

III

ZNANSTVENI ODBOR 21. SAVJETOVANJA PROIZVODNOG STROJARSTVA

Dr E.Kuljanić, predsjednik - Dr V. Šolaja - Dr. V.Milačić -
Dr R. Zdenković - Dr J. Peklenik - Dr B. Ivković - Dr D.
Zelenović - Dr B. Musafija - Dr P. Popović - Dr S. Trajkovski -
Dr V. Vujović - Dr Z.Seljak - Dr S. Sekulić - Dr S. Urošević -
Dr V. Mečanin - Dr D.Milikić - Dr S.Djekić - Dr Z.Mirković -
Dr J. Rekecki - Dr P. Šmarčan - Dr Š.Šavar - Dr V. Savić -
Dr V.Domazetović - Dr S. Živanović

ORGANIZACIJSKI ODBOR

E. Kuljanić, predsjednik, I.Katavić, sekretar, J.Pirš, A.Hri-
ješik, Dj. Meden, L.Sopta, J. Dobrinić, M. Sablić, P.Managarov,
L.Pomenić, B.Smoljan, A. Brzić, A.Sok, A.Grgurina

Zbornik uredili

Dr I.Katavić

A. Brzić

I. Šajn

IV

POČASNI ODBOR

- Akademik Hrvoje Požar, glavni tajnik Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti, Zagreb
- Prof.dr. John Bollinger, predsjednik Colledge international pour l'etude scientifiques de production mecanique -CIRP, Paris
- dr. Božidar Matić, predsjednik Saveznog komiteta za nauku i tehnologiju Beograd.
- Prof.dr. Velimir Srića, predsjednik republičkog komiteta za znanost, tehnologiju i informatiku, Zagreb
- Prof.dr. Mirko Krpan, rektor Sveučilišta "Vladimir Bakarić" u Rijeci
- Dr. Darko Šeparović, predsjednik Skupštine Republičke zajednice za znanstveni rad SR Hrvatske, Zagreb
- Zvonko Rubinić, prof., predsjednik Skupštine SIZ-a usmjerenog obrazovanja brodogradnje, elektro i metala, Rijeka
- Jozo Petović, dipl.oec., predsjednik Privredne komore Hrvatske, Zagreb
- Tomislav Blažić, dipl.oec., predsjednik Privredne komore Rijeka
- Šime Vidulin, prof., predsjednik Privredne komore Istre-Pula
- Stanislav Antić, dipl.inž., direktor RO "SAS", Zadar
- Antun Crneka, dipl.inž., predsjednik SOUR-a "Prvomajska", Zagreb
- Dr.Božidar Frančić, predsjednik SOUR-a "Rade Končar", Zagreb
- Alceo Frank, dipl.inž., predsjednik SOUR-a BI "3.maj", Rijeka
- Želimir Gručić, dipl.oec.predsjudnik SOUR-a "INA", Rijeka
- Mr. Guido Kac, predsjednik SOUR-a "Željezara Ravne", Ravne
- Stanislav Licul, dipl.iuris., direktor RO "INDA", Lahin
- Mirko Lovrić, dipl.inž., direktor RO "Sintal", Zagreb
- Ivan Miler, dipl.inž., generalni direktor RO "Torpedo", Rijeka
- Prof.dr.Mihajlo Milojević, predsjednik SOUE-a "Ivo Lola Ribar", Beograd
- Ivica Perić, dipl.oec., direktor RO "Prvomajska-Raša", Raša
- Karlo Radolović, dipl.oec., predsjednik SOUR BI "Uljanik", Pula
- Maksimilian Senica, dipl.inž., predsjednik SOUR-a "TAM", Maribor
- Damir Vrhovnik, dipl.inž., generalni direktor RO Brodogradilište "Viktor Lenac", Rijeka
- Mr.Vitimir Vujović, dipl.inž., direktor SOUR-a "Industrija alata", Trebinje
- Jože Žagar, dipl.inž., predsjednik SMELT-a Ljubljana

PRETHODNA SAVJETOVANJA PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE

I	BEOGRAD	1965.
II	ZAGREB	1966.
III	LJUBLJANA	1967.
IV	SARAJEVO	1968.
V	KRAGUJEVAC	1969.
VI	OPATIJA	1970.
VII	NOVI SAD	1971.
VIII	LJUBLJANA	1973.
IX	NIŠ	1974.
X	BEOGRAD	1975.
XI	OHRID	1977.
XII	MARIBOR	1978.
XIII	BANJA LUKA	1979.
XIV	ČAČAK	1980.
XV	NOVI SAD	1981.
XVI	MOSTAR	1982.
XVII	BUDVA	1983.
XVIII	NIŠ	1984.
XIX	KRAGUJEVAC	1985.
XX	BEOGRAD	1986.

Odlukom Zajednice jugoslavenskih znanstveno istraživačkih institucija proizvodnog strojarstva XX~~0~~ Savjetovanje proizvodnog strojarstva Jugoslavije povjereno je Tehničkom fakultetu Rijeka, Sveučilišta "Vladimir Bakarić" u Rijeci.

Koristimo priliku da se najtoplije zahvalimo autorima radova, radnim organizacijama, društveno političkim organizacijama, i pojedincima koji su doprinjeli održavanju XXI Savjetovanja proizvodnog strojarstva Jugoslavije.

ODLUKOM ZAJEDNICE JUGOSLAVENSKIH ZNANSTVENO ISTRAŽIVAČKIH INSTITUCIJA
PROIZVODNOG STROJARSTVA 1983. GODINE USTANOVLJENA JE

PLAKETA "Prof. Dr PAVLE STANKOVIĆ"

KOJA SE DODJELJUJE SVAKE GODINE ISTAKNUTIM ZNANSTVENO ISTRAŽIVAČKIM
RADNICIMA IZ PODRUČJA PROIZVODNOG STROJARSTVA

DOSADAŠNJI DOBITNICI OVOG ZNAČAJNOG PRIZNANJA SU:

ZA 1983. GODINU:

Prof. Dr Rudolf Zdenković, dipl. ing.

Prof. Dr Vladimir Šolaja, dipl. ing.

Prof. Julije Kimer, dipl. ing.

ZA 1984. GODINU:

Prof. Dr Janez Peklenik, dipl. ing.

Prof. Dr Binko Musafija, dipl. ing.

ZA 1985. GODINU:

Prof. Dr Predrag Popović, dipl. ing.

Prof. Dr Vladimir Milačić, dipl. ing.

ZA 1986. GODINU:

Prof. Dr Branko Ivković, dipl. ing.

Prof. dr Strezo Trajkovski, dipl. ing.

Prof.dr Branko Iyković,dipl.ing.



Rodjen je 10. novembra 1931. godine u Kragujevcu. grednju tehničku školu završio je u Kragujevcu 1949. godine. Do upisa na Mašinski fakultet u Beogradu 1954. godine radio je u Industriji kao tehničar na poslovima konstrukcije alata i pribora. Mašinski fakultet u Beogradu završio je 1960. godine diplomiranjem na Odseku za opšte mašinstvo iz predmeta Mašine alatke i industrijska proizvodnja. Od 1960. do 1966. godine radi u Zavodima "Crvena zastava" na poslovima projektovanja novih kapaciteta za Fabriku automobila, kao rukovodioc proizvodnje i kao glavni tehnolog Fabrike namenske proizvodnje.

Honorarni predavač za predmet Mašinska obrada na Mašinskom fakultetu u Beogradu - Odeljenje u Kragujevcu postao je 1965. godine. Stalni predavač za isti predmet postao je 1966. godine kada prelazi iz Zavoda "Crvena zastava" na Mašinski fakultet. Za docenta za predmet Mašinska obrada izabran je 1968. godine na istoj ustanovi. U zvanje vanrednog profesora za predmet Obrada metala rezanjem izabran je 1972. godine na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu. Redovni profesor za isti predmet postao je 1978. godine.

Naučno-istraživačkim radom počeo je da se bavi 1961. godine i to u oblasti metala rezanjem. Rezultate prvih eksperimentalnih istraživanja objavio je već 1962. godine u vidu Priručnika čiji je recenzent bio prof.dr Pavle Stanković. 1964. godine postao je spoljni saradnik Instituta za alatne mašine i alate u Beogradu, organizuje istraživački centar u Zavodima "Crvena zastava" i na Mašinskom fakultetu koji kasnije prerasta u Laboratoriju za obradu metala i tribologiju.

Do 1970. godine radi na realizaciji Jugoslovenskog projekta "Obradljivost domaćih konstrukcijskih materijala domaćim alatima" u okviru saradnje sa Institutom za alatne mašine i alate i to za deo projekta koji se odnosi na obradu glodanjem.

Godine 1970. odbranio je doktorsku disertaciju pod nazivom:

"Definisanje uslova habanja cilindričnih glodala pri suprotnosmernom i istosmernom glodanju pomoću radioaktivnih izotopa" na Mašinskom fakultetu u Beogradu.

Naučno-istraživački rad razvijao je u oblasti metala rezanjem i tribologije kroz veliki broj projekata u čijem su finansiranju učestvovala brojne radne organizacije iz cele zemlje i odgovarajuće republičke i regionalne institucije. Rezultate ovih istraživanja objavljivao je u domaćim i stranim časopisima i na domaćim i inostranim konferencijama iz oblasti proizvodnog mašinstva i tribologije. Radovi u inostranstvu objavljivani su na engleskom i ruskom jeziku. Na ruskom jeziku objavljena je i knjiga "Tribologija rezanjem".

VIII

1972. godine uvodi predmet Tribologija na poslediplomskim studijama na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu. Statutom iz 1979. godine Tribologija je uvedena i kao predmet III godine na Proizvodnom smeru na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu.

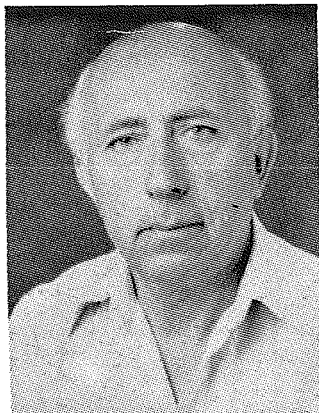
1979. godine pokrenuo je jugoslovenski časopis "Tribologija i industriji" na kome neprekidno radi u svojstvu glavnog i odgovornog urednika. Publikaciju specijalnog karaktera "Produktivnost u industriji kod nas i u svetu" koja izlazi povremeno u serijama pokrenuo je 1983. god. Objavio je više knjiga iz oblasti obrade metala rezanjem i tribologije od kojih su neke doživele i po nekoliko izdanja.

U proteklom periodu vršio je na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu dužnosti upravnika Zavoda Fakulteta, upravnika Laboratorije za obradu metala i tribologiju, predsednika Naučno-nastavne grupe za proizvodno mašinstvo, prodekana za nastavu, dekana, predsednika Zbora radnih ljudi i studenata i predsednika Saveta.

1983. godine izabran je za redovnog profesora Western Illinois University za škol. 1983/84. godinu. Na istom Univerzitetu izabran je i za počasnog člana Fakulteta za primenjenu nauku.

U okviru medjunarodne saradnje vredno je pomenuti zajednički istraživački projekat iz oblasti tribologije koji se pod njegovim rukovodstvom realizuje već više od 10 godina na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu i u Institutu za pouzdanost i vek trajanja mašina Akademija nauka Beloruske SSSR iz Minska.

1975. godine odlikovan je ordenom rada sa zlatnim vencem za zasluge u izgradnji socijalizma u SFRJ.



Dr Strez Trajkovski, rođen je 1926 god. u Debru, SRM, gde je završio osnovnu školu i 4-razreda građanske škole. Za vreme okupacije iz ekonomskih i drugih razloga prekida sa školovanjem, a 1944 god. stupa u NOB i učestvuje u završnim operacijama za oslobođenje Makedonije i na Sremskom frontu. 1946. god. demobilisan je radi produženja školovanja. Sa kakvom je voljom nastavio sa školovanjem, može se videti iz toga što je samo za godinu i pet meseci, na partizanskom kursu (peti razred), privatno (šesti i osmi) i redovno (sedmi) u Skopju završio četiri razreda gimnazije i maturski ispit sa odličnim uspehom. Posle maturiranja upisao se na Mašinski fakultet u Beogradu i diplomirao 1954. god. sa ocenom 9 (devet).

Posle diplomiranja zapošljava se u preduzeću Metalški zavod "Tito" - Skopje, gde zauzima sledeće dužnosti: inženjer u pogonu, samostalni konstruktor, glavni projektant i šef tehničkih biroa za železničke vazdušne kočnice.

1961 god. izabran je za predavača na novoformiranom Mašinskom oteku Tehničkog fakulteta u Skopju, 1964. u zvanje docenta, 1970. u zvanju vanrednog profesora, a 1975 god. u zvanje redovnog profesora.

1953 god. boravi u Francusku na dvomesečnu studentsku praksu, a 1955 god. MZ "Tito" šalje ga na višemesečnu specijalizaciju u Švajcarsku, Švedsku i Austriju, gde sa grupom radnika i tehničara proučava savremene metode proizvodnje železničkih vazdušnih kočnica.

Kao inženjer u Metalškom zavodu "Tito", Dr Trajkovski radi uglavnom na problemima vezanim za železničke vazdušne kočnice (proizvodnja, ispitivanje, konstrukcija alata, projektovanje kočnih instalacija, konstruiranje kočnih aparata i uređaja i sl.), čija je proizvodnja otpočela njegovim dolaskom. Radom na problemima železničkih vazdušnih kočnica, Dr Trajkovski izrasta u vrhunskog Jugoslovenskog stručnjaka na ovom području, poznatog i van naše zemlje. U ovom periodu izradio je niz projekata i tehnoloških i konstruktivnih rešenja, pri čemu su dve njegove inovacije patentom zaštićene.

Železničke vazdušne kočnice predstavljaju prvi proizvod iz oblasti mašinstva u SRM, koji se proizvodi na savremeni industrijski način (pre toga proizvodnja je bila čisto zanatska), tako da Dr Trajkovski ima i pionirsku ulogu u uvođenju industrijske proizvodnje u mašingradnji SRM.

Dr Trajkovski je jedan od osnivača Mašinskog oteka, a time i Mašinskog fakulteta u Skopju. Sa njime po prvi put u SRM otpočela je nastava iz proizvodnog mašinstva. Dr Trajkovski je prvi prodekan Elektrotehničkog i mašinskog fakulteta u Skopju, organizator i prvi rukovodilac katedre za mašine alatke i mašinsku obradu i organizator i rukovodilac instituta za proizvodno mašinstvo (u čijem sastavu ulaze tri katedre). On je isto tako kreator i organizator prvih laboratorija iz proizvodnog mašinstva, pri čemu učestvuje u svim fazama njihove izgradnje (projektovanje, nabavke i instaliranja opreme, do uspostavljanja laboratorijskih vežbi. On je organizator i aktivan učesnik postdiplomskih studija iz oblasti proizvodnog mašinstva na Mašinskom fakultetu u Skopju.

Proizvodno mašinstvo na Tehničkom fakultetu je pri njegovom izboru bilo zastupljeno samo sa jednim predmetom. Njegovim zalaganjem do danas prošireno je ovo područje na preko 20 predmeta, pri čemu za najveći broj disciplina sam izrađuje nastavne programe a u prvo vreme drži i nastavu. Pojedini predmeti kao što su nekonvencionalni postupci obrade i konstrukcija alatnih mašina u Jugoslaviji, po prvi put su uvedeni na Mašinskom fakultetu u Skopju, što bi se moglo reći da je stvorio svoju školu. Od samo jednog nasavnika u 1961. do danas na Institutu radi 10 nastavnika od kojih 9 sa stepenom doktora nauka.

Dr Trajkovski je vrlo plodan naučni radnik, koji redovno sa svojim radovima nastupa na Jugoslovenskim i Međunarodnim skupovima (publikovao je preko 60 radova). Njegovi naučni radovi odlukuju se visokim stepenom originalnosti, pri čemu se naročito ističu radovi iz oblasti ekonomike obrade i obradljivosti teškoobradljivih metala i legura rezanjem, gde razvija i svoju originalnu tehniku i metode istraživanja. Jedan od njegovih naučno-istra-

živačkih projekata, 1983 god. dobio je najviše republičko priznanje na polju nauke, nagradu "11 Oktomvri" - za jednogodišnje ostvaranje.

Dr Trajkovski je istaknuti pedagoški radnik koji je značajno doprineo za modernizaciju nastave i režima studija na Mašinskom fakultetu u Skopju. Njegov koncept za obrazovanje inženjera u zemljama u razvoju i kod nas, za koji je referirao na Zajednici Mašinskih fakulteta i na Svetskom kongresu u Keln-u, naišao je na vrlo dobar prijem kod zainteresovanih. Napisao je velik broj udžbenika za redovne studije i postdiplomce (preko 11 naslova). Njegovi udžbenici udlikuju se savremenosti i visokim stručno-naučnim i pedagoškim kvalitetom, čime je značajno obogatilo tehničku literaturu Makedonije i Jugoslavije. Izdao je i prvi udžbenik iz oblasti mašinstva u SRM (1963). Isto tako intenzivno radi i na stvaranju Makedonske i Jugoslovenske Tehničke terminologije. Mentor je i velikog broja diplomskih, magisterskih i doktorskih radova.

Pored rada na Mašinskom fakultetu u Skopju, Dr Trajkovski gostuje i na druge fakultete u zemlji i u stranstvo. Od 1962 do 1977 god. gostuje na Tehničkom fakultetu u Prištini. On je prvi nastavnik iz oblasti proizvodnog mašinstva u SAP Kosovo i organizator nastave i laboratorija iz proizvodnog mašinstva na ovom području. Gostovao je i na Tehničkom fakultetu u Bitolju. 1968/69 god. gostuje na Pan-State University u SAD, gde radi na istraživačkim projektima i drži nastavu redovnim studentima i postdiplomcima. 1983 god. kao ekspert UNESCO-a, drži nastavu na kursu za postdiplomce na PSG College of Technology na Univerzitetu u Coimbatore-u - Indija, iz oblasti konstruiranja i ispitivanja mašina alatki sa NC. U saradnji sa Dr Aravindanom, napisao je i udžbenik na engleskom jeziku za potrebe ovog fakulteta.

Dr Trajkovski je vrlo aktivan društveno politički radnik i biran je u velikom broju društveno političkih, samoupravnih i profesionalnih tela i organa. Predstavnik je Fakulteta u Zajednici institucija proizvodnog mašinstva od 1970 god., a 1976/77 zauzima dužnost predsednika Zajednice, kada organizira i vrlo uspešno Savetovanje proizvodnog mašinstva u Ohridu. Predsednik je granske zajednice za područje tehničkih nauka SIZ-a za naučni rad SRM (od 1977-1982), predsednik žiri komisije za proizvodna takmičenja metalaca Makedonije i Jugoslavije (1978 i 1983), član Međunarodnog komiteta za proizvodna istraživanja ICPR i dr.

Za svoja zalaganja i postignute rezultate, dobio je mnoga priznanja među kojima i Orden rada sa zlatnim vencem (1979) i najviše republičko priznanje na polju nauke, Nagradu "11 Oktomvri" za višegodišnja ostvarenja (1986).

Iz napred izloženog može se jasno zaključiti da Dr Trajkovski, danas spada u red vodećih Jugoslovenskih naučnih radnika iz oblasti proizvodnog mašinstva, koji se odlikuje vrlo širokim poljem delovanja. Dr Trajkovski odigrao je pionirsku ulogu u uzdizanju naučnih i stručnih kadrova iz oblasti proizvodnog mašinstva u SRM i SAP Kosovo i uopšte na razvoju proizvodnog mašinstva. Svojim naučno-istraživačkim radom proširio je saznanja iz oblasti konstruiranja i ispitivanja železničkih vazdušnih kočnica, efektivnosti uvođenja novih tehnologija, konstrukcija alatnih mašina, nekonvencionalnih postupaka obrade, obradljivosti teškoobradljivih metala i legura i savremeni metoda obrazovanja inženjera na širim Jugoslovenskim prostorima i doprineo za afirmaciju Jugoslovenske nauke.

Gorenavedeni razlozi motivirali su Zajednicu proizvodnog mašinstva Jugoslavije da donese odluku da se Plaketa Prof. Dr Pavla Stankovića, za 1986 god. dodeli Prof. Dr Strezi P. Trajkovskom.

S A D R Ź A J

E. Kuljanić	: STANJE I TENDENCIJA OBRADJE ODVAJANJEM STRUGOTINE	1
F. Roethel	: RAZVOJ POSEBNIH POSTOPKOV OBDELAVE	31
J. Peklenik	: PROIZVODNA TEHNOLOGIJA IN INTEGRACIJA DELOVNIH SISTEMOV	49
Ž. Spasić, G. Putnik, V. Milačić:	BAZA PODATAKA/ZNANJA U KOMPJUTERSKI INTEGRISANIM FABRIKAMA	69
A - OBRADA ODVAJANJEM STRUGOTINE		
P. Leskovar, M. Kovač:	VPLIVI PROIZVODNEGA PROCESA NA STANJE POVRŠINE PRI VALJIH IZ INDEFINITNE LITINE	79
A. Mišković, D. Vukelja:	PRILOG STUDIJI TERMIČKIH STANJA I ZAOŠTALIH NAPREZANJA PRI OBRADI BRUŠENJEM	89
S. Trajkovski	: OBRADLJIVOST VISOKOMANGANSKOG ČELIKA REZANJEM NA POVIŠENIM TEMPERATURAMA	97
J. Grum, P. Leskovar:	ŠTUDIJE OBRABNIH PROCESOV NA ORODJIH IZ KARBIDNIH TRDIN	105
D. Randjić, R. Ječmenica, B. Kršljak:	ANALIZA UTICAJNIH PARAMETARA NA HRAPAVOST OBRADJENE POVRŠINE KOD RAVNOG BRUŠENJA	115
M. Babić, B. Vasiljević:	UTICAJ SREDSTAVA ZA HLAĐENJE I PODMAZIVANJE NA KARAKTERISTIKE BRUŠENIH POVRŠINA	123
B. Kršljak, R. Ječmenica:	POKAZATELJI OBRADLJIVOSTI BRZOREZNOG ČELIKA PRI BRUŠENJU KONVENCIONALNIM TOCILOM I TOCILOM SA KUENIM NITRIDOM BORA	131
P. Dašić	: ANALIZA IZBORA VARIJANTE MATEMATIČKOG MODELA U OBLASTI ISPITIVANJA OBRADLJIVOSTI METALA REZANJEM	137
Lj. Jurić, R. Deželić:	ODREĐIVANJE ZAKONITOSTI PROMJENE TEMPERATURNOG POLJA NA PREDNJOJ POVRŠINI ALATA	147
H. Muren	: PRIJEDLOG PROMJENA U KONCEPTU PRODUKCIONE TOKARILICE	155
M. Rovan	: SISTEM MODULA ZA GRADNJU VERTIKALNIH OBRADNIH CENTARA	163
V. Dukovski, S. Urdarević:	OPRAVDANOST NA PRIMENATA NA INDUSTRIJSKITE ROBOTI ZA POSLUŽIVANJE NC MAŠINI	171

A. Hriešik, A. Šestan: NOVA TEHNOLOGIJA ZA OBRADU REZANJEM : POKLOPACA CILINDARA GLAVNOG BRODSKOG MOTORA	181
R. Kovač, S. Jojin: UTICAJ OBRADNE REZANJEM NA KRIVLJENJE ODLIVAKA	191
M. Lambić, B. Sučić, M. Rančić: UTICAJ TOPLOTNIH DEFORMACIJA U PROCESIMA REZANJA NA TOLERATNO POLJE	201
M. Drndarević : PRIMENA RAČUNARA NA ODREĐIVANJU OPTIMALNIH USLOVA IZRADE I IZGUBLJENOG VREMENA U STVARNIM USLOVIMA KOD UNUTRAŠNJEG BRUŠENJA TVRDOG METALA	209
Z. Seljak, S. Dolinšek: VRTANJE S SVEDRI Z IZMENLJIVIMI PLOŠČICAMI	213
A. Đorđević, P. Dašić: IDENTIFIKACIJA PARAMETARA OBRADLJIVOSTI PRI BRUŠENJU DUBOKIH OTVORA U POGONSKIM USLOVIMA EKSPERIMENTALNOM METODOM	221
S. Sekulić : UZAJAMNOST IZMEĐU VREMENA ZAMENE I POUZDANOSTI ALATA	229
M. Kuzinovski : POKUŠAJ SKRAĆENJA VREMENA NEOPHODNOG ZA AUTOMATSKU PROMENU REZNOG ALATA KOD OBRADNIH CENTARA	235
F. Janoši, R. Djukanov: ISTRAŽIVANJE EFEKATA OSLOJAVANJA REZNE IVICE ALATA POSTUPKOM ELEKTROVARNIČENJA	243
D. Erić, M. Lučić: REZULTATI ISPITIVANJA I PRIMENE REZNIH ALATA PRESVUČENIH PREVLAKOM TIN	251
V. Prusina, S. Kulaglić: OPTIMIZACIJA PARAMETARA ODVALNOG GLODALA	259
V. Šimon : ODREĐIVANJE NAPONSKOG STANJA U MODULNIM ODVALNIM GLODALIMA METODOM KONAČNIH ELEMENATA	265
V. Prusina : UTICAJ PARAMETARA ALATA NA TAČNOST IZRADE ZUPČANIKA ODVALNIM GLODANJEM	273
A. Pavić, J. Brnardić, M. Macura, S. Mušnjak: PRIMJENA PREVUČENIH PROVLAKAČA PRI OBRADI DISKA PLINSKE TURBINE	283
P. Dašić, S. Milošević, Đ. Filipović, D. Brkić, Lj. Todorović: TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA PRIMENE REZNIH ALATA OD KERAMIKE PRI OBRADI REZANJEM	289
S. Radonjić, V. Šolaja: KONCENTRISANO HABANJE ALATA I OBLICI STRUGOTINE	299
J. Kopač, Z. Seljak: VPLIV SINTETIČNE HLADILNO-MAZALNE TEKOČINE NA OBDELOVALNOST AVSTENTNEGA NERJAVNEGA JEKLA IN JEKEL ZA OBDELAVO NA AVTOMATIH	307
R. Ječmenica, B. Kršljak, D. Randjić: KRIVE HABANJA ZAVOJNIH BURGIJA DOBIJENIH RAZLIČITIM TEHNOLOGIJAMA IZRADE	319

XIII

- M. Jovičić, Dj. Spasojević, D. Djurdjević: UTICAJ JONSKOG
NITRIRANJA NA POVEĆANJE POSTOJANOSTI ALATA ZA
OBRADU ODVAJANJEM 325
- B. Sovilj, B. Prapotnik, D. Ostojić, S. Vasić, M. Gostimirović,
I. Rudić, M. Pejić, N. Kerleta: POSTOJANOST
ODVALNIH GLODALA 333
- A. Milošević : NOVE VARIJANTE KEMIJSKE DEPOZICIJE -
- SREDNJETEMPERATURNI CVD - PROCESI 343
- A. Perić, H. Tafro: ISTRAŽIVANJE POSTOJANOSTI ALATA NA
VIŠEVRETNIM AUTOMATIMA 351
- B. Kršljak, D. Randjić: POSTOJANOST TOCILA RAZLIČITE BRUSNE
SIROVINE 357
- P. Kovač : FUNKCIJA POSTOJANOSTI ALATA U ZAVISNOSTI OD
ELEMENTATA REŽIMA REZANJA PRI ČEONOM GLODANJU 363

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

STANJE I TENDENCIJA OBRADJE ODVAJANJEM STRUGOTINE
UVODNI REFERAT
STATE AND TRENDS IN MACHINING-KEY-NOTE-PAPER

E.Kuljanić TEHNIČKI FAKULTET RIJEKA, Sveučilište "V.Bakarić"
51000 RIJEKA, Jugoslavia

Ključne riječi: SAŽETAK: U ovom je članku prikazano stanje i pravci razvoja obrade odvajanjem strugotine. Posebno je razmatrano pitanje što je potrebno istražiti da bi se uspješno primijenili numerički upravljani obradni sistemi, zatim stvaranje strugotine, trošenje i lom alata, obrada prekinutim rezom, sile rezanja, novi materijali alata, geometrija i koncepcija alata, odrezivanje, obrada teško obradivih materijala i obrada odvajanjem strugotine velikim brzinama. Takodjer su prikazane prednosti tople obrade odvajanjem strugotine pri obradi teško obradivih materijala tj. tehničkih keramika i visoko legiranih čelika, te obrada odvajanjem strugotine nakon termičke obrade (od 50 do 70 HRC).

Key words:
Machining
Low machinability
New technology
Cutting tools

ABSTRACT: This paper presents the state and trends in machining. Particular considerations are given to: the question -what kind of research should be done for useful application of numerical control machining systems, chip formation, tool wear and tool breakage, interrupted cutting, cutting forces, new tool material tool geometry and new tools, cut-off, machining of low machinability materials and machining at high cutting speeds. The advantages of hot machining of low machinability materials (engineering ceramics etc.) are presented. Also, a new trend - machining of hardened steel, 50 to 70 HRC is given.

Nije umijeće izraditi proizvod, već je umijeće izraditi ga jeftino i dovoljno kvalitetno

Autor [1]

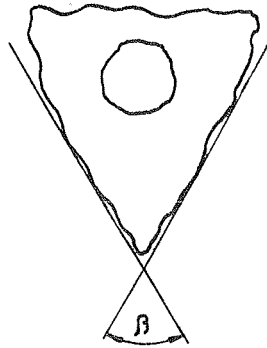
1. Uvod

Pred tridesetak godina u metaloprerađivačkoj industriji najbitnije je bilo dobro konstruirati proizvod, a njegova izrada obično je bila prepuštena majstorima. Čak su se ponekad konstruktori natjecali tko će propisati manja dozvoljena odstupanja dimenzija, bez obzira koliko će time poskupiti proizvod, jer su ti inženjeri na fakultetima uglavnom odgajani tako. Danas je takodjer bitno dobro konstruirati proizvod gdje se mogu i trebaju primijeniti metode optimizacije i elektronička računala kao i u proizvodnom strojarstvu, ali treba promijeniti prijašnji pristup i način razmišljanja o tehnologiji. Očito je da takav zastarjeli pristup u kojem je bitno samo izraditi

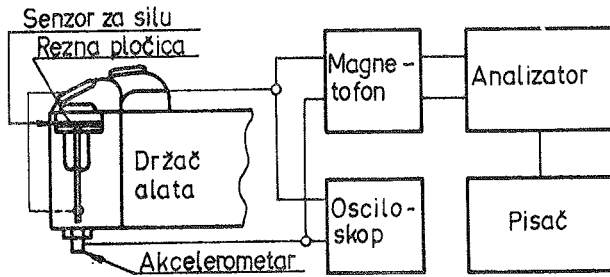
proizvod, čemu se posvećuje najviše pažnje, ne vodeći dovoljno računa o najpodesnijem načinu izrade sa stanovišta minimalnih troškova izrade i zadovoljavajuće kvalitete, utječe na današnje stanje u proizvodnji. Naime i danas u većini slučajeva radnik prema svom nahodjenju odabire alat i režime obrade (brzinu, posmak i dubinu), sam oštiri alat, odlučuje o redosljedu zahvata i drugo. Normom mu je određena novčana vrijednost određenog posla. U odabiranju režima obrade on optimizira prema svojim kriterijima, koji mogu biti znatno različiti od prihvaćenih kriterija u proizvodnji.

Uvodjenjem numerički upravljanih alatnih strojeva, odnosno obradnih sistema u proizvodnju, što je značajka sadašnjeg vremenskog razdoblja, uvjeti se značajno mijenjaju. Budući da produktivnost, ekonomičnost i kvaliteta izratka zavisi o svakom pojedinom dijelu obradnog sistema, koji se sastoji i od alatnog stroja, alata, obratka, naprave i od uredjaja za upravljanje, korisno bi bilo prihvatiti pojam "obradni sistem". U novim uvjetima radnik obično ne odabire npr. režime obrade, već samo skida gotovi obradak i postavlja novi obradak na stroj, što se može riješiti manipulatorom. Međutim, bez obzira na nove uvjete, prijašnji se pristup i način razmišljanja sporo mijenja, što je velika kočnica za uspješnu eksploataciju suvremenih obradnih sistema. Smisao jedne Einsteinove izreke je da se uvjeti mogu naglo promijeniti, npr. tehničkim izumom, ali da se način razmišljanja mijenja vrlo sporo, što može biti uzrok katastrofe. Ta katastrofa može biti atomski rat, a može biti i tehnološko zaostajanje. U eksploataciji suvremenih obradnih sistema, koji su značajno skuplji od konvencionalnih, najčešće je bitno da obradni sistem radi, bez obzira kako radi. Obično je dovoljno da je nestalo usko grlo uvođenjem numerički upravljanih alatnih strojeva, pa budući da se ne pokušava saznati gdje je maksimum kojeg može dati obradni sistem, ne možemo mu se ni približiti. Međutim, neophodno je što veće iskorištenje obradnog sistema, budući da je vrlo skup.

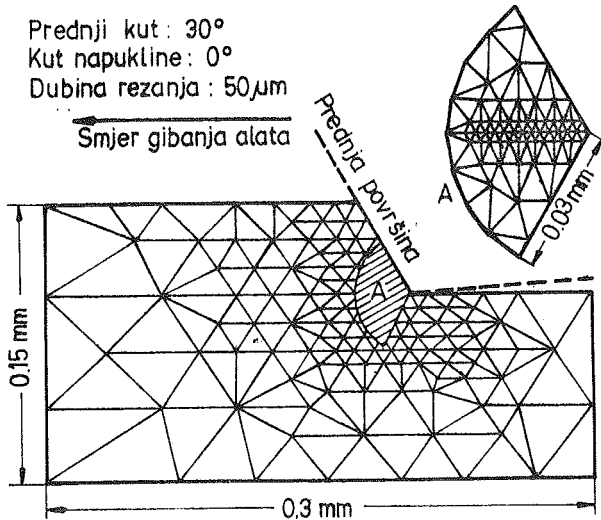
Druga značajna poteškoća za uspješnu eksploataciju suvremenih obradnih sistema je nedostatak pouzdanih tehnoloških podloga koje su neophodne za programiranje obradnih sistema. Poteškoća u primjeni ovakvih obradnih sistema ima i zato jer programer zna više o elektroničkim računalima nego o obradi odvajanjem strugotine. Postoji zabluda da u današnje doba elektroničkih računala nije potrebno dobro poznavati obradu odvajanjem strugotine, smatrajući je zastarjelom. Čovjek primjenjuje princip klina još iz kamenog doba na najnovijim obradnim sistemima s.l.l. Međutim, upravo u novim uvjetima kad konvencionalan radnik ne upravlja s obradnim sistemom potrebna su nova saznanja o zakonitostima u obradi odvajanjem strugotine, o rezljivosti novih visokoproduktivnih alata, o obradivosti materijala obratka i dr. Ovdje su izneseni samo neki najznačajniji faktori za uspješnu primjenu suvremenih sistema. Promjene starog pristupa i načina razmišljanja u proizvodnji mogu se ubrzati: nužno je informiranje o novim saznanjima na području obrade odvajanjem čestica koji se može postići stručnim seminarima, suradnjom



Slika 1 Kamena sjekira. β kut klina .
(Kutjanić)



Slika 2 Uređaj za mjerenje sile
(Lindberg i dr.)



Slika 3 Model konačnih elemenata (Ueda i dr.)

s fakultetima i institutima, savjetodovnom djelatnošću, prisustvovanjem savjetovanjima i simpozijima i praćenjem literature.

Da bi se došlo do novih potrebnih saznanja o postupcima obrade, te podataka sa tehnološke podloge, potrebno je intenzivno istraživati na ovom području. O potrebi istraživanja za uspješnu primjenu u ovu svrhu autor je dao u uvodnom referatu XIII savjetovanju proizvodnog strojarstva Jugoslavije u Banja Luci 1979. [1]. To su istraživanja zavisnosti trošenja alata ili postojanosti alata, istraživanja zavisnosti hrapavosti obradjene površine, istraživanja za utvrđivanje uvjeta stvaranja lomljene strugotine i dr. Međutim, većina ovih istraživanja potrebna je i za povećanje produktivnosti i za smanjenje troškova obrade konvencionalnih alatnih strojeva. Sadašnji pogledi autora o potrebnim podacima iz područja obrade odvajanjem čestica za obradne sisteme bez direktnog učešća čovjeka, dani su u referatu Medjunarodnog savjetovanja o novim proizvodnim sistemima AMST'87. [2].

U visoko razvijenim zemljama ulažu se vrlo velika financijska sredstva za istraživanja na području proizvodnog strojarstva. Npr. u SAD pred petnaestak godina samo su neki fakulteti gajili proizvodno strojarstvo. Međutim, danas gotovo nema fakulteta koji ne radi ili ne želi raditi na području proizvodnog strojarstva. Uzrok toj pojavi nije moda, već potreba.

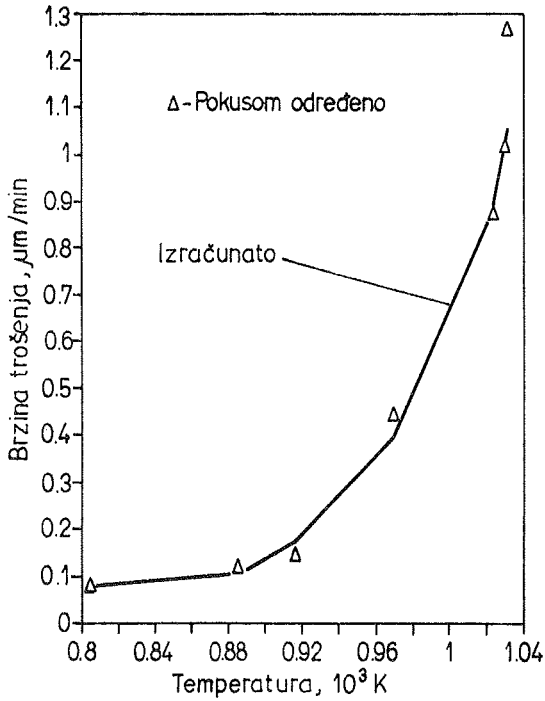
Da bi se sagledalo stanje i tendencije istraživanja u obradi odvajanjem strugotine u ovom članku se osvrćemo na: istraživanje stvaranja strugotine, trošenje i lom alata, obradu prekinutim rezom, na sile rezanja, na materijale alata i geometriju alata, odrezivanje, te na obradu teško obradivih materijala i toplu obradu odvajanjem strugotine.

2. Istraživanje obrade odvajanjem strugotine

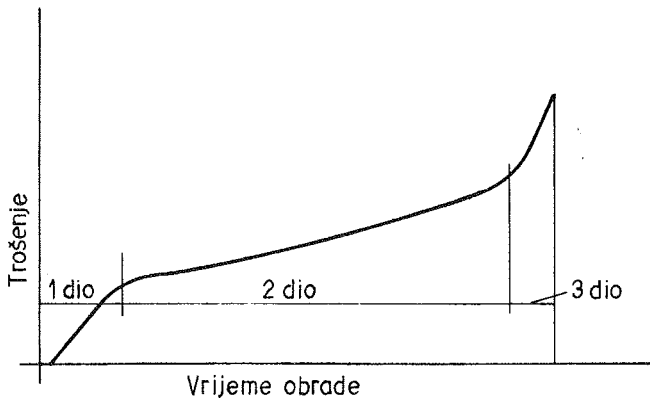
Od sve većeg broja objavljenih radova na području obrade odvajanjem strugotine, zbog ograničenog prostora, izdvajaju se samo neki značajniji radovi na području postupaka s odredjenom geometrijom alata objavljenih u posljednjih nekoliko godina.

2.1 Stvaranje strugotine

U većem broju radova istražuje se proces stvaranja strugotine, koji je bitan za razumjevanje i bolje iskorištenje procesa obrade. N. Ueda i dr. [3] utvrdili su eksperimentalnim istraživanjem da smični kut ϕ značajno zavisi od dvije varijable: prednjeg kuta γ i umnoška brzine rezanja i dubine rezanja, upotrijebivši dijamantni alat zbog malog koeficijenta trenja, te alat iz tvrdog metala. U radu [4] isti autori istražili su mehanizme loma materijala obratka blizu smične zone pri stvaranju segmentirane strugotine. B. Lindberg i B. Lindström [5] izvršili su mjerenja frekvencije stvaranja segmenata strugotine, gdje su upotrijebili senzor za silu rezanja postavljen ispod izmjenjive pločice i akcelerometar, slika 2. Utvrdili su da je uda-



Slika 4 Usporedba izračunatih i pokusima dobivenih brzina trošenja pločica tvrdi met. sa slojem TiC (Kramer)



Slika 5 Trošenje alata

jenost zona stvaranja segmenata strugotine određena brzinom rezanja i pomakom, te da su za istraživanje mehanizma stvaranja strugotine podesniji senzori za mjerenje sile rezanja od akcelerometra. E. Merchantov pristup tj. da će proces deformacije poprimiti ovu geometriju (smični kut ϕ) kojoj je potrebna najmanja energija - tzv. "princip minimalne energije", primjenili su J.H. Dautzenberg i dr. [6] na proces stvaranja strugotine pri obradi različitih materijala sa alatima s različitim prednjim kutem γ . Ovaj rad je nastavak i proširenje njihovog prijašnjeg rada u kojem su utvrdili ovisnost sile trenja i smičnog kuta ϕ . Testirali su različite metode za određivanje smičnog kuta ϕ i dokazali su da se primjenom teorije plastičnosti dolazi do istog rezultata kao i primjenom "principa minimalne energije". Također postoji pokušaj da se identificira mehanizam stvaranja strugotine pomoću akustičnih mjerenja [7].

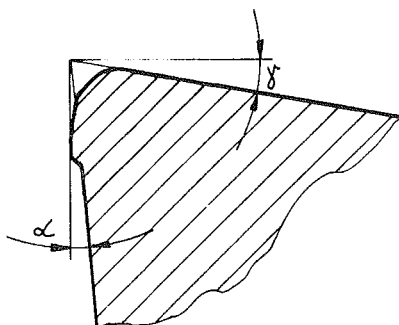
Zbog sve veće potrebe mikro obrade odvajanjem strugotine nekonvencionalnih materijala nužno je istražiti stvaranje strugotine u takvim uvjetima. K. Ueda i H. Tsuwa [8] istražili su u Japanu mehanizam stvaranja strugotine pri mikro obradi tehničkih keramika koristeći metodu konačnih elemenata, slika 3. Uspoređeno je stvaranje strugotine plastičnom deformacijom i stvaranje strugotine širenjem pukotine, odakle proizlazi praktičan zaključak da za mikro obradu treba upotrijebiti brzine rezanja kao i za obradu metala. Pri takvim uvjetima stvara se strugotina plastičnom deformacijom pa je bolji integritet obradjene površine.

Iz iznesenog se vidi da se stvaranje strugotine pokušava razjasniti s različitim pristupima i na različite načine. Međutim zbog kompleksnosti ovog fenomena i zbog premalih brzina rezanja pri izvodjenju pokusa, da bi se moglo snimiti kino kamerom stvaranje strugotine, pouzdanost dobivenih zaključaka obično nije velika. Naime, današnje najbrže kino kamere nisu dovoljno brze da bi se pokusi izvodili s brzinama rezanja koje se upotrebljavaju u industrijskim uvjetima.

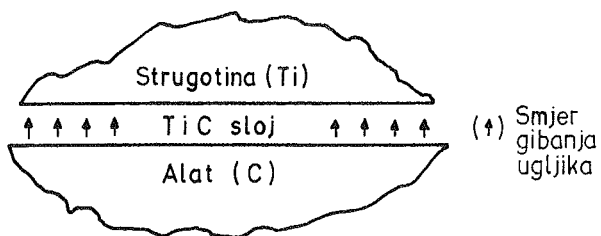
2.2 Trošenje i lom alata

Trošenje alata je fenomen kojeg je teško teoretski pouzdano odrediti, budući da postoji više mehanizama trošenja alata, kao što su npr.: atheziona trošenje, difuziono trošenje, kemijsko trošenje, oksidaciono trošenje i dr., čiji intenzitet zavisi od velikog broja utjecajnih činilaca. Trošenje koje vidimo i mjerimo na alatu je zbroj trošenja pouzrokovanih različitim mehanizmima trošenja. Međutim, teško je odrediti koliki je udio u tom trošenju imao pojedini mehanizam trošenja. Zbog toga, najčešće smo prisiljeni da trošenje alata, postojanost alata, jednadžbe postojanosti alata i sl. odredjemo pokusima. Treba istaknuti, da produktivnost značajno zavisi o trošenju alata, pa je nužno istražiti bit tog fenomena.

U ovoj točki, osim nekih novijih radova, na području trošenja alata, navest će se i neki radovi u kojima se proučava lom alata.



Slika 6 Trajna deformacija alata iz tvrd. met. nastala nakon 6 s obrade. (Kuljanić)

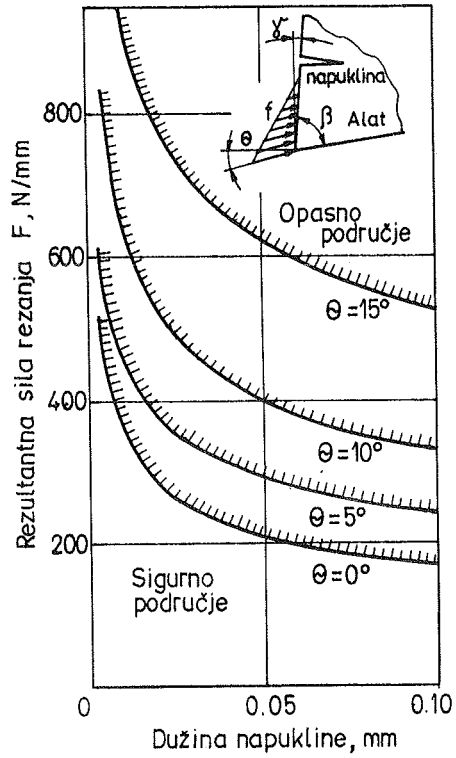


Slika 7 Model trošenja dijamanta difuzijom ugljika kroz sloj Ti C pri obradi titanovih legura. (Hartung i dr.)

B.M. Kramer [9] predložio je način za određivanje trošenja alata uzevši u obzir dva osnovna mehanizma trošenja alata, model abrazivnog trošenja i model kemijskog trošenja. Na slici 4 prikazana je usporedba izračunate brzine trošenja u $\mu\text{m}/\text{min}$ pomoću predloženog modela i brzine trošenja dobivene pokusima. Ovdje se vidi da su pri manjim temperaturama rezanja, tj. pri obradi s manjim brzinama rezanja manje razlike izračunatih i pokusima dobivenih vrijednosti brzine trošenja. Međutim, pri temperaturi rezanja od 1030 K koja se dobije brzinom rezanja $v = 700 \text{ m}/\text{min}$ trošenje određeno pokusom je za 27% veće od izračunatog trošenja, što je značajna razlika. Ta razlika upućuje na hipotezu da je bila na toj temperaturi, osim abrazivnog i kemijskog trošenja, prisutna još neka vrst trošenja. Pouzdanost zaključaka u ovom radu bila bi veća da su pokusi trošenja alata više puta ponovljeni pod istim uvjetima, budući da se radi o stohastičkom procesu. Ovaj rad predstavlja značajan prilog teoretskom objašnjenju i određivanju trošenja alata.

E. Kuljanić je istražio deformaciju oštice iz tvrdog metala i materijala oko nje, slika 6, koja nastaje već nakon 6...8s od početka tokarenja čvršćih čelika s većim presjecima strugotine i pri većim brzinama rezanja. Do ove deformacije, tj. do popuštanja tvrdog metala za kojeg se obično misli da se ne može deformirati, došlo je zbog visoke temperature i velike sile rezanja. Koristeći ovu pojavu, autor ovog rada predlaže kriterij za maksimalno iskorištenje alata. Budući da se nakon ove deformacije alat vrlo brzo istroši, mogu se parametri režima obrade, npr. brzina rezanja smanjivati sve dok nema pojave deformacije. Tako određen režim obrade (brzina rezanja, posmak i dubina rezanja) za određeni materijal obratka i alat je upravo onaj režim obrade pri kojem je alat maksimalno iskorišten. Kriterij maksimalnog iskorištenja alata sve je aktualniji na novim alatnim strojevima koji imaju sve veću snagu i mogućnost postavljanja većih brzina rezanja. Također sve više se upotrebljavaju čvršći legirani čelici.

Trošenje alata u prvim sekundama obrade odvajanjem strugotine također su istražili A.Ber i S.Kaldor [10]. Oni su utvrdili da način i veličina trošenja alata u tom kratkom vremenskom razdoblju razlikuje od mehanizma trošenja za vrijeme daljnje obrade, tj. u drugom dijelu krivulje trošenja slika 5. P.D.Hartung i B.M. Kramer [11] istražili su trošenje devetnaest različitih materijala alata pri obradi titanovih legura. Veliko trošenje na prednjoj površini alata (krater) je karakteristično za obradu titanovih legura. Utvrdili su da dijamantni alat i alat od tvrdog metala imaju najmanja trošenja zbog stvaranja stabilnog zaštitnog sloja između materijala alata i materijala obratka (strugotine). Npr. između dijamantnog alata i titanove strugotine stvara se sloj titanovog karbida, slika 7, kroz kojeg ugljik s alata difundira na strugotinu. Trošenje alata od CBN (cubic boron nitride) je slično trošenju tvrdog metala kad je obradni sistem relativno krut, G.Chryssoulouris [12]. Međutim, ako obradni sistem nema dovoljnu krutost, trošenje



Slika 8 Utjecaj smjera djelovanja rezultantne sile rezanja na sigurnu i opasnu zonu. (Shibasaka i dr.)

Ovog alata (pločica tvrdog metala debljine 4,76 mm i debljina sloja CBN 0,9 mm) je slično trošenju rezne keramike, kad se pojavljuju napukline na prednjoj i na stražnjoj površini alata. Potrebna krutost za obradu sa CBN alatima nije veća od krutosti potrebne za obradu s keramičkim alatima. Pri glodanju s PCD (polycrystalline diamond) uz malu krutost obradnog sistema dolazi do jačeg trošenja alata zaobljivanjem oštrice.

Osim trošenja alata dolazi i do lomova alata koji također utječu na eksploataciju obradnog sistema. Levi i dr. [13] predložili su stohastički model loma alata, za alat, koji zavisi o posmaku i vremenu obrade. Pouzdanost rada obradnog sistema značajno ovisi o lomu alata odnosno oštrice. Utjecaj cikličnih naprezanja u reznoj pločici na njezin lom pri obodnom glodanju istražio je H.Chandrasekaran [14]. Koristeći metodu konačnih elemenata i fotoelastičnu metodu razvio je metodu kojom se bolje objašnjavaju dinamički lomovi rezne pločice, a metoda se može koristiti i za poboljšanje novih alata. Lom pločice pri prekinutom rezu zbog umora materijala istražila je grupa autora T.Shibasaka i dr. [15] primjenom teorije mehanike loma. Iz njihovog istraživanja proizlazi da sigurnosna zona i postojanost alata zavise o smjeru djelovanja rezultantne sile rezanja θ i o kutu klina alata β slika 8. Ovo je još jedan dokaz zbog čega je kod postupaka s prekinutim rezom povoljniji negativan prednji kut γ . Tada je veći kut klina β . Iz rezultata istraživanja autora ovog članka proizlazi da se postojanost glodaće glave može povećati čak za šesnaest puta, ako se upotrijebi alat s geometrijom prikazanom na slici 9 a), u odnosu na geometriju na slici 9 b). Znatno manja postojanost u slučaju b) objašnjena je udaranjem obratka u prvom kontaktu s alatom po relativno krtoj oštrici. Medjuzavisnost loma alata i trošenja alata istražila je grupa talijanskih istraživača N.Abberti i dr. [16].

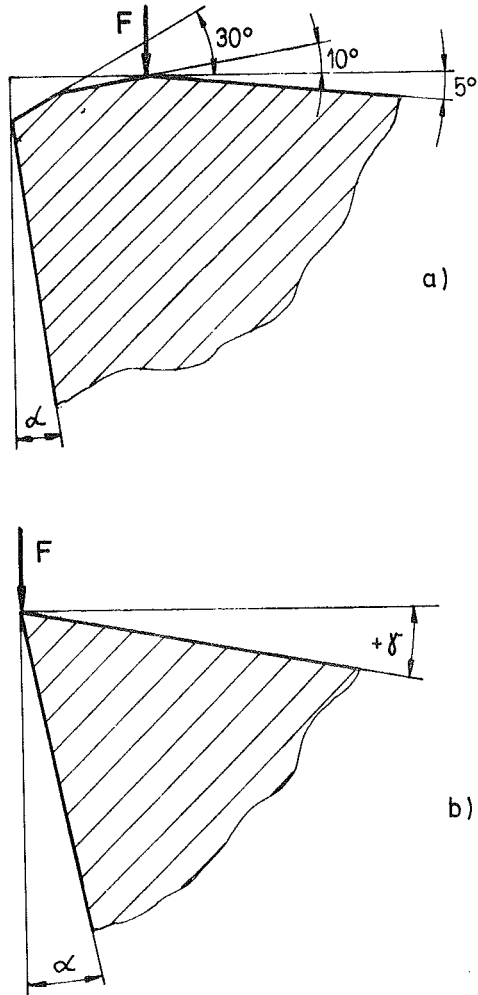
Također, treba istaknuti da je u ISO-u Radna grupa 22 razradila i prihvatila dokument za istraživanje postojanosti alata za glodanje [17] početkom ove godine, koji će znatno pomoći industriji na ovom području. Radna grupa "Glodanje" u CIRP-u (Medjunarodna institucija za istraživanje na području proizvodnog strojarstva) predložila je ISO-u da počne s radom na navedenom dokumentu i razradila je znanstvene i stručne postavke koji je ISO prihvatio kao polaznu osnovu za ovaj dokument.

Zbog važnosti trošenja alata, loma alata i postojanosti alata može se očekivati da će se proširiti teoretska i eksperimentalna istraživanja na ovom području.

2.3 Obrada prekinutim rezom i sile rezanja

Iako je zastupljenost primjene postupaka s prekinutim rezom velika, najčešće su se istraživali postupci s kontinuiranim rezom.

Z.Ruzhong i K.K. Wang [18] predložili su način računanja sila rezanja pri čeonom glodanju s tri utjecajne veličine: utjecaj materijala obratka, debljinu neodrezane strugotine i odnos radialne komponente prema tangenci-



Slika 9 a) Udarac zbog prvog kontakta s obratkom dalje od oštice, b) Udarac po oštici (Kuljanić)

alnoj komponenti rezanja . Vrijednosti ovih parametara određene su pokusima. Odstupanja izračunatih i izmjerenih veličina su samo 2,2% pri čeonom glodanju s jednim zubom, 7,2% pri čeonom glodanju sa svim zubima u glodačkoj glavi.

Jednostavnu metodu za računanje sila rezanja predložio je C.A. Brown [19] koristeći kontaktnu površinu alata i strugotine. Ovom metodom dobiju se pouzdani rezultati pri obradi čelika i aluminijskih legura. Također, K. Nakayama i dr. [20] predložili su poluempirijske jednadžbe za računanje komponenta sile rezanja u području režima obrade koji se najčešće primjenjuju u praksi. Pokusima su određene potrebne konstante za čelike, sivi lijev, bakarne legure i aluminijske legure.

M. Kronenberg je 1941. [21] dokazao da nije svejedno da li je glodača glava postavljena simetrično ili asimetrično u odnosu na obradak, slika 10. Naime, značajan utjecaj na postojanost glodače glave ima način ulaza zuba u obradak, slika 10 c) i slika 11. Ovdje se vidi da se znatno može povećati postojanost glodače glave, ako je glodača glava postavljena ekscentrično u odnosu na obradak, i to tako da je ulazni kut ε negativan, slika 10 b). Međutim, najčešće u praksi ovo važno saznanje nije poznato, pa se glodača glava obično postavlja simetrično. Na Sveučilištu u Delftu A.J. Pekelharig [22] i C.A. Van Luttervelt [23] sa suradnicima dokazali su da osim ulaza zuba glodače glave u obradak, značajan utjecaj ima i način izlaza zuba iz obratka kad je alat tvrdog metala.

I. Yellowley [24] je predložio način za određivanje srednjih sila rezanja, momenta i specifične snage pri obodnom glodanju, koji se prema njegovom mišljenju može primijeniti u adaptivnom upravljanju. Utjecaj promjene prednjeg kuta alata na naprezanja u zoni trošenja istražili su N.N.S. Chen i W.K. Pun [25].

U posljednje vrijeme sve se više istražuje utjecaj topline u zoni deformacije na postojanost glodala ili glodače glave. H. Chandrasekaran [26] je istražio utjecaj termičke umorljivosti na ponašanje glodala u eksploataciji, dok je E. Kuljanić [27] i [28] dokazao da manja postojanost glodače glave s više zubi u odnosu na glodaču glavu s jednim zubom značajno zavisi o većoj dovedenoj toplini pri glodanju glodačom glavom s više zubi, slika 12 .

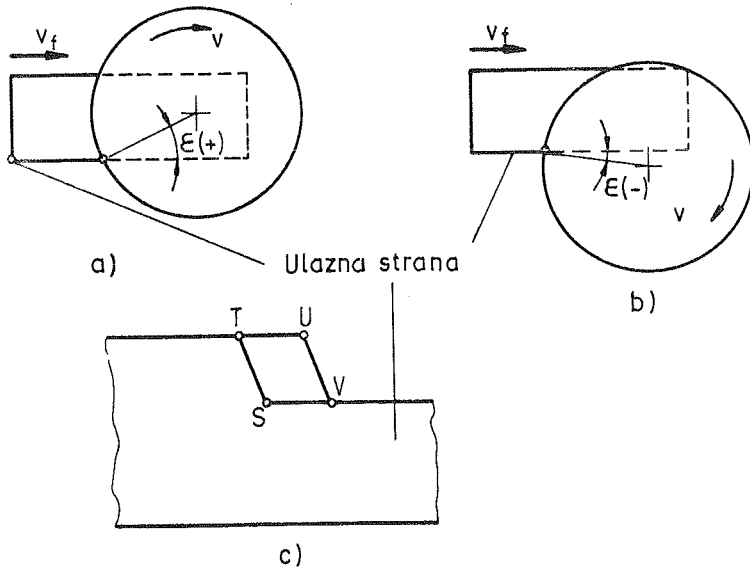
Prema nekim američkim autorima, npr. R. Keggu glodanje je "varljiv" postupak, što se može primijeniti i na ostale postupke s prekinutim rezom.

3. Alati

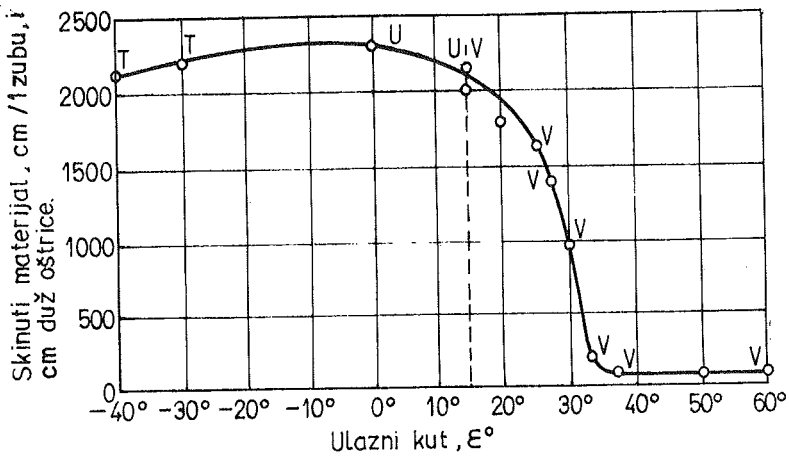
Dobit tvornice "visi" na oštrici alata.

G. Schlesinger

Čak ni oni koji rade s alatima često ne slute što alat znači za čovječanstvo. Da je alat odigrao važnu ulogu u razvoju čovječanstva dokazuje i to, da je kameno doba dobilo naziv prema alatu koji se tada upotrebljavao. Istraživa-



Slika 10 Postavljanje glodaće glave (glodala) u odnosu na obradak. (Kronenberg)



Slika 11 Utjecaj ulaznog kuta ϵ na postojanost glodaće glave. (Kronenberg)

nja na području alata mogu se podijeliti na dva osnovna dijela: materijal alata i geometriju alata.

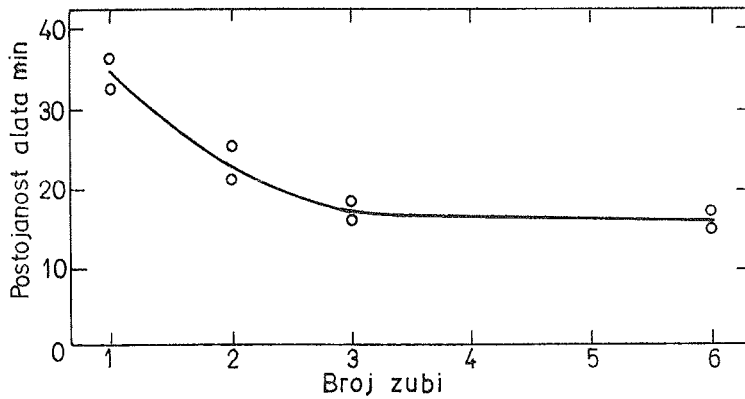
3.1 Materijal alata

Utjecaj materijala alata na brzinu rezanja, a time i na produktivnost je vrlo velik. Samo pred nekoliko godina najveća brzina rezanja bila je oko $v=1000$ m/min, slika 13, dok je sad zbog novog alata SIALON-a, odnosno KYON-a 2000 u SAD-u porasla približno za dvostruko.

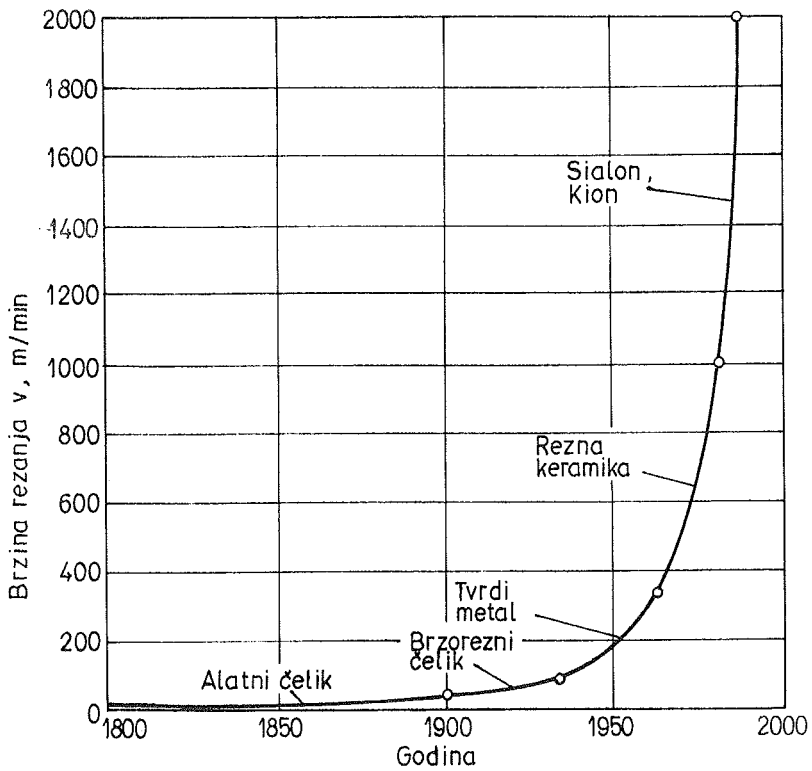
Autor ovog rada je u više navrata pisao o materijalima alata, pa se čitalac upućuje na objavljene radove [1],[29],[30] i [31]. Ovdje ćemo navesti samo manje poznate materijale alata.

SIALON je proizašao iz istraživanja materijala visokih čvrstoća i otpornih na visoke temperature na Sveučilištu u New Castlu u kooperaciji s industrijskom grupacijom Lukas u Engleskoj, gdje je i osnovana nova tvornica Lukas Sialon Ltd. Naziv SIALON dolazi od glavnih sastavnih elemenata: Si, Al, O i N, tj. sastoji se od silicijevog nitrida Si_3N_4 i aluminijevog oksida Al_2O_3 . Dakle, SIALON bi spadao u keramiku i neki ga nazivaju keramikom, međutim prema svojim svojstvima stvara novu vrst materijala alata. Tvornica alata Kennametal u SAD-u kupila je licencu za SIALON kojeg dalje usavršava, a nazvala ga je KYON 2000. Žilavost KYON 2000 je oko tri do četiri puta veća od žilavosti rezne keramike, ili 80% od žilavosti tvrdog metala preslojenog s aluminijevim oksidom. Otporan je na termička naprezanja, što je prednost prema tvrdom metalu. KYON 2000 podesan je za grubu i za završnu obradu sivog lijeva i teško obradivih legura nikla pri visokim brzinama rezanja. Zbog svojih osobina podesan je za široko područje brzina rezanja od $v=130$ m/min s velikim posmacima pa do $v=2000$ m/min s manjim posmacima pri obradi sivog lijeva i za obradu materijala tvrdoće veće od 45 Hrc. Dakle s KYON-om 2000 može se tokariti brzinama koje odgovaraju brzinama brušenja.

UCON je alatna slitina koja se sastoji od 50% kolumbija odnosno niobija, 30% titana i 20% volframa. Lijevanjem se dobije ingot iz kojeg se valjanjem dobije lim. Iz lima izrežu se pločice koje se bruse, a nakon brušenja se nitriraju tako da je u površinskom sloju najveći postotak nitrida koji se smanjuje prema središnjem dijelu pločice. Najveća tvrdoća na površinskom sloju postepeno se smanjuje prema unutrašnjosti pa nema naglog prelaza tvrdoće kao kod preslojenih pločica, što je povoljnije. Jezgra ove pločice ima tvrdoću manju od 60 Hrc. Usporedi li se žilavost KYON-a ili SIALON-a sa žilavošću UCON-a slika 14, vidi se da su slične. UCON rezne pločice nisu podesne za obradu sivog lijeva, neredjajućeg čelika, za obradu legura s visokom čvrstoćom na bazi titana, nikla i kobalta. Otporne su na termička naprezanja kao i SIALON i KYON 2000. Zbog relativno velike žilavosti i velike tvrdoće površinskog sloja mogu se upotrebljavati pri velikim brzinama rezanja i manjim posmacima (slično kao rezna keramika), ili pri manjim brzinama i većim posmacima (slično kao tvrdi metal). U autorovim istraživanjima



Slika 12 Utjecaj broja zubi glodaće glave na postojanost alata (Kuljanić)



Slika 13 Brzina rezanja – materijal alata. (Kuljanić i dr.)

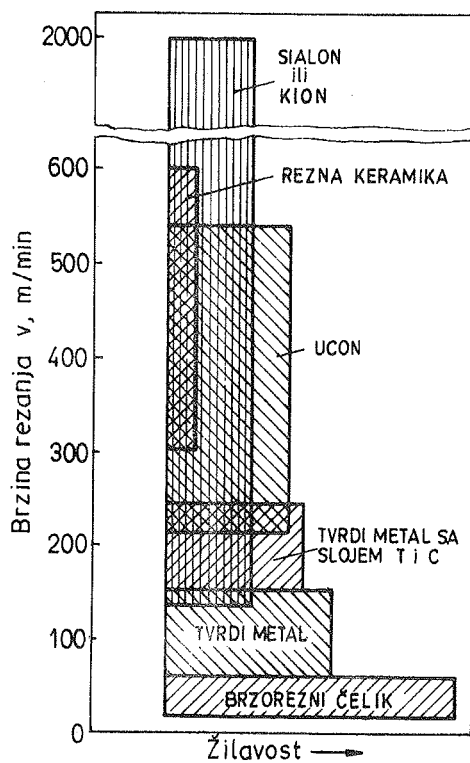
zapaženo je vrlo malo rasipavanje postojanosti UCON reznih pločica, tj. znatno manje rasipavanje postojanosti alata od rasipavanja postojanosti alata od tvrdog metala, te vrlo jednoliko trošenje na prednjoj i na stražnjoj površini alata. Drugim riječima, oštrica UCON rezne pločice je mnogo pouzdanija od oštrice tvrdog metala, što je vrlo važna karakteristika alata za obradne sisteme.

Budući da su vrlo intenzivna istraživanja na području materijala alata do sada je patentirano više SIALON-a (npr. US Patent 4127416, 4113503), te drugih materijala alata na bazi silicijevog nitrida (npr. toplo prešani silicijev nitrid HPSN). R.Wertheim i dr.[32] usporedili su trošenje alata od HPSN-a i preslojenog tvrdog metala sa više slojeva pri tokarenju i glodanju. Na slici 15 prikazana je usporedba trošenja glodače glave sivog lijeva s jednim zubom od HPSN i od tvrdog metala sa slojem aluminijevog oksida. Vidi se da je veće trošenje glodače glave s tvrdim metalom. Treba istaknuti da su bile brzine rezanja $v=912$ m/min i $v=300$ m/min. Alat od silicijevog nitrida posebno se pokazao podesnim za obradu nodularnog sivog lijeva.

Poznato je da efikasnost alata ovisi i o materijalu obratka. Npr. primjenom dijamantnih alata povećava se znatno produktivnost pri obradi neželjeznih materijala. N.Ikawa i dr.[33] istraživali su dijamant za ultra precizne rezne alate, a M.A.Mannen[34] je utvrdio da su podesnija prstasta glodala malih promjera, ako su izradjena od tvrdog metala, a ne od brzoreznog čelika, sa stanovišta pojave vibracija i deformacija. Takodjer, ta su glodala i ekonomičnija u eksploataciji, iako su znatno skuplja.

Nanošenjem sloja tvrdih materijala na alate iz brzoreznog čelika povećava se postojanost alata. Kod nas se obavlja preslojavanje alata iz brzoreznog čelika i pločica tvrdog metala. Najpodesniju debljinu sloja TiN od $4 \mu\text{m}$ na odvalnim glodalima i svrdlima iz brzoreznog čelika odredili su W.König i dr.[35]. Površina na koju se nanosi sloj TiN treba imati malu hrapavost i treba biti obradjena s blagim režimima obrade. Na temelju opširnih istraživanja reznih pločica od volfram karbida (WC), titan karbida (TiC), zatim preslojenih pločica od WC s TiC, preslojenih pločica od TiC s TiC i preslojenih pločica od WC-TiC s TiN, V.C. Venkatesh[36] je utvrdio da su sa stanovišta trošenja i postojanosti alata najlošije rezne pločice od valfram karbida. Najbolje su bile rezne pločice od TiC preslojene TiC i pločice od WC preslojene s TiN. R.Wertheim i dr.[37] istražili su kombinacije različitih slojeva nanešenih na površinu rezne pločice. Najpodesnije je kad je zadnji (gornji) sloj loš vodič topline tako da se veći dio topline rezanjem odvodi strugotinom, a manji dio prelazi na alat. Takvo svojstvo ima sloj Al_2O_3 uz otpornost na sve mehanizme trošenja.

Prašakasta metalurgija se sve više primjenjuje. Alati od brzoreznog čelika složene oblika mogu se izraditi praškastom metalurgijom. K.D.Bouzokis i dr.[38] usporedili su otpornost na trošenje odvalnih glodala i alata za odvalno



Slika 14 Područja brzine rezanja i žilavosti nekih materijala alata. (Kuljanić dr.)

dubljenje izradjenih praškastom metalurgijom i izradjenih od konvencionalnog brzoreznog čelika. Iz ove usporedbe je proizašlo saznanje da nema bitne razlike u trošenju ovih alata.

3.2 Geometrija alata

Za bolju eksploataciju obradnog sistema, osim materijala alata, važna je geometrija, koncepcija i način oštrenja alata. Poznato je da geometrija uz oštricu ima veliki utjecaj na trošenje alata, postojanost i na produktivnost. Međutim, pomoću geometrije alata mogu se riješiti ozbiljne poteškoće koje nastaju zbog stvaranja nepodesne strugotine (npr. tekuće strugotine), posebno na obradnim sistemima bez direktnog učešća čovjeka. D. Bizeul, F. Le Maître i dr. [39] uzeli su obzir osnovna mehanička svojstva materijala obratka za određivanje geometrije alata za tokarenje titanovih i cirkonijevih legura. Iz teoretskog i eksperimentalnog istraživanja proizlazi da prisloni kut α ima značajan utjecaj na vrst strugotine i na postojanost alata. Optimalni stražnji kut α , sa stanovišta postojanosti alata, primjenom naprezanja u alatu, istražili su S. Kaldor i dr. [40] za glodala od brzoreznog čelika s jednim zubom, slika 16, prstasta glodala i za svrdla. Posebno stražnji kut na prstastim glodalima istražili su S. Kaldor i dr. [41], dok su S. Lo Casto i G. Passananti [42] istražili utjecaj vrlo važne veličine - polumjera zaobljenja oštrice (između prednje i stražnje površine) na trošenje i na postojanost alata od tvrdog metala.

Istraživanjem geometrije alata može se povećati produktivnost pri obradi teže obradivih materijala. T. Hoshi [43] je istražio i predložio podesnu geometriju glodala za obradu čelika s malim postotkom ugljika i za obradu krom-molibden čelika. J. Vigneau i dr. [44] povećali su volumen skinutog materijala pri obradi legura na bazi nikla s alatom od rezne keramike za četiri puta u odnosu na volumen skinut s tvrdim metalom. Treba napomenuti, da su bile od dvadeset promatranih vrsta rezne keramike samo dvije podesne za obradu ovog materijala. Takodjer su bile, zavisno o mehanizmu trošenja, posebno pripremljene oštrice rezne keramike.

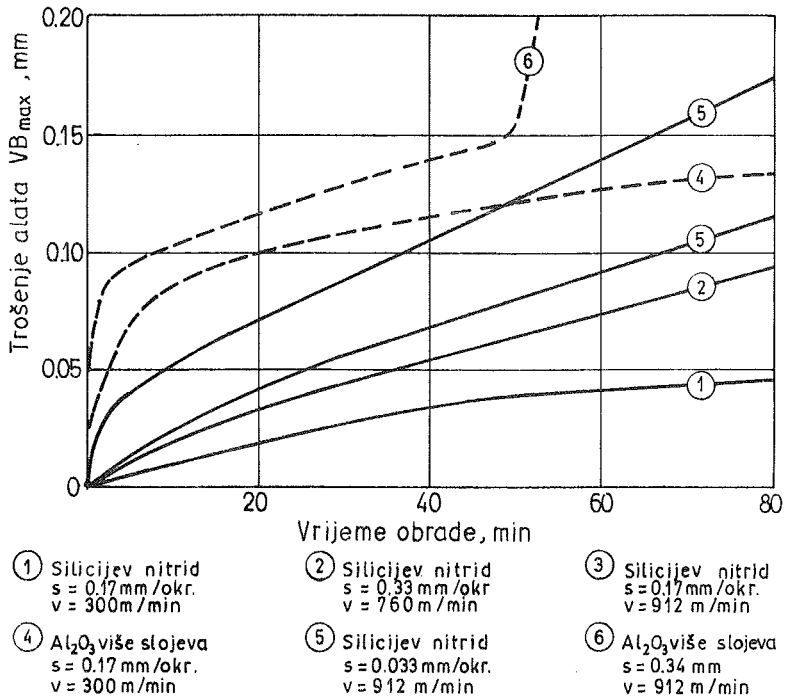
Pri konstruiranju alata kompliciranije geometrije uspješno se primjenjuje elektroničko računalo, S. Kaldor i dr. [45].

Iz ovog razmatranja proizlazi da se s novim alatima mogu postići znatno veće brzine rezanja, veći volumen skinute strugotine u jedinici vremena, tj. da se znatno može povećati produktivnost. Iz izraza za snagu

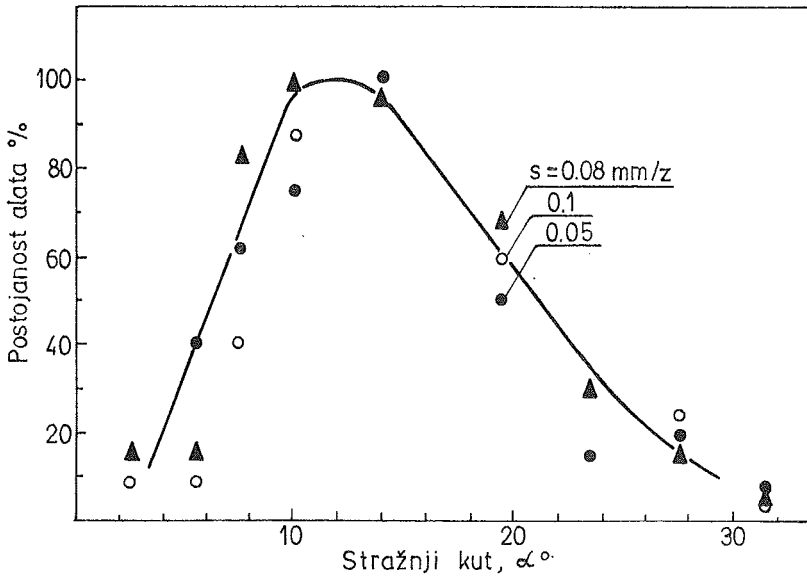
$$P = \frac{F_g \cdot v}{60} \quad (1)$$

gdje je: P snaga na oštrici alata u W, F_g glavna sila rezanja u N i v brzina rezanja u m/min, vidi se da potrebna snaga raste s povećanjem brzine rezanja.

Kod glodanja je tendencija da se poveća produktivnost ne samo s povećanjem



Slika 15 Trošenje glodaće glave sa jednim zubom HPSN i preslojenog tvrdog materijala. (Wertheim)



Slika 16 Postojanost alata u ovisnosti o stražnjem kutu α .
Obodno glodanje, z = 1, v = 40 m/min (Kaldor i dr.)

brzine rezanja već i s povećanjem broja zubi glodala ili glodaće glave (tzv. "Auto glave").

Izraz za snagu glodanja je

$$P = \frac{a \cdot b_o \cdot v_f \cdot f_s}{60} \quad (2)$$

gdje je: a dubina rezanja u mm, b_o širina glodanja u mm, v_f posmična brzina u mm/min i f_s specifična sila rezanja u N/mm². Posmična brzina je

$$v_f = s_z \cdot z \cdot n \quad (3)$$

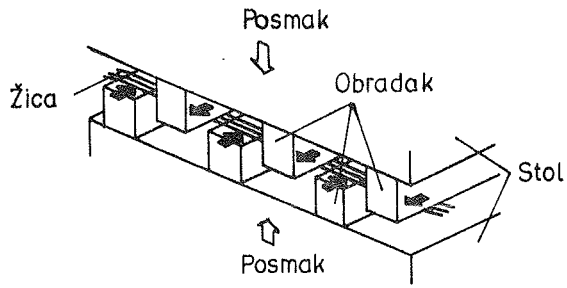
gdje je: s_z posmak po zubu u mm, z broj zubi glodala ili glodaće glave i n broj okretaja glodaće glave u okr/min. Dakle, budući da su u brojniku izraza (2) broj okretaja i broj zubi, nakon uvrštenja (3) u (2), snaga glodanja raste ne samo zbog većeg broja okretaja novih alata, već i zbog većeg broja zubi, npr. "Auto glava".

Iz iznesenog proizlazi da alatni strojevi za primjenu novih alata trebaju imati veliku snagu. Također, treba postojati mogućnost postavljanja velikog broja okretaja na stroj, te kod velikih brzina rezanja ne smije doći do vibracija. Na postojećim alatnim strojevima često se zbog navedenih razloga najnoviji alati ne mogu u potpunosti iskoristiti.

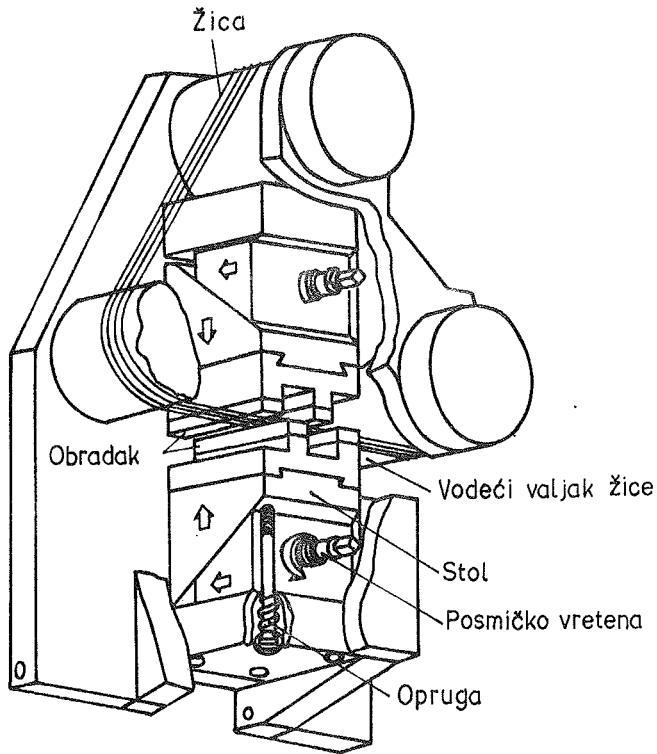
4. Odrezivanje

Odrezivanje je jedan od zapostavljenijih postupaka u praksi. Iz istraživanja provedenih u Laboratoriju za obradu materijala i alatne strojeve Tehničkog fakulteta Rijeka proizlazi da pri izradi kompliciranijeg izratka, kao što je zupčanik, na odrezivanje otpada čak 22% ukupnog vremena izrade, na kojem osim odrezivanja postoji niz operacija: tokarenje, odvalno glodanje ili neka druga operacija za izradu ozubljenja, termička obrada, brušenje itd. Ovakvo veliko učešće vremena odrezivanja u ukupnom vremenu izrade zupčanika je najviše zbog neznanja, inercije načina razmišljanja i lošoj eksploataciji obradnih sistema za odrezivanje. S druge strane, imamo domaći alat i stroj (horizontalna tračna pila - Prvomajska, Raša) na kojem možemo odrezati čelični trupac Č.1530, promjera $D=120$ mm, za manje od 35 sekundi, a da su ravnost i okomitost reza, te odstupanja debljine odreska slična kao kod kružnog piljenja. Zanimljiv je podatak da se u SAD-u i u Japanu tračno piljenje znatno više upotrebljava za odrezivanje metala nego u Evropi.

Obratci pri odrezivanju mogu biti i vrlo mali, npr. kad se odrezivanjem dobiju elektronički dijelovi iz silicija, ferita i sl.. U tvornici Hitachi M.Fujisawa i dr. [46] usavršili su postupak preciznog odrezivanja pomoću žice i paste za lepovanje. Autori nazivaju ovaj postupak piljenjem pomoću žice, međjutim, povoljnije je nazvati ga odrezivanjem. Na slici 17 prikazan je način postavljanja obradaka pri preciznom odrezivanju pomoću žice. Krajnji rezultat njihovog istraživanja bio je novi stroj za precizno odrezivanje, slika 18, kojim se postiže veća točnost odrezivanja za 3 do 4 puta od



Slika 17 Postavljanje obradaka pri preciznom oduzimanju.
(Fujisawa i dr.)



Slika 18 Glavni dijelovi stroja za precizno odrezivanje
pomoću žice. (Fujisawa i dr.)

konvencionalnog postupka odrezivanja pomoću žice i paste za lepovanje. Na ovaj način povećana je produktivnost za 14 puta.

Na Sveučilištu u Melbourne D.Santikarn i E.J.Armarego [47] ukazali su na kompleksnost okvirnog piljenja. Ovaj postupak se u praksi smatra najjednostavnijim, a list pile se ponekad zamijeni tek kad otpadnu skoro svi zubi sa lista. Kompleksnost i prednosti horizontalnog tračnog piljenja prikazao je E.Kuljanić [48]. U ovom opširnom radu (oko 22000 mjerenja) istraženo je odrezivanje cijevi i šipki u snopu na pili s gravitacionim posmičnim sistemom. Utvrđeno je da je važan oblik snopa, slika 19, tj. odnos visine snopa h prema širini w treba biti od 0,5 do 1. Povoljno je da je snop što veći.

Cijena koštanja nekog stroja zavisi o cijeni pojedinog dijela npr. o cijeni koštanja zupčanika. Odrezivanje je uzeto kao tipičan primjer zapostavljenosti, odnosno lošeg korištenja nekih postupaka zbog čega su vremena izrade strojnih dijelova znatno veća nego što mogu biti.

5. Obrada teško obradivih materijala i topia obrada odvajanjem strugotine

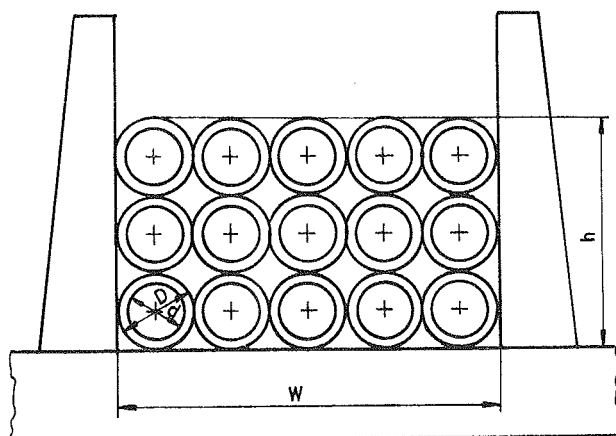
Zbog sve većih zahtjeva na strojne i sl. dijelove, sve se više upotrebljavaju materijali male obradivosti, npr. titanove legure, tehnička keramika, vatrootporni materijali i dr.

Zbog male specifične težine i dobre čvrstoće titanove legure imaju sve veću primjenu, pa su i istraživanja na području obrade ovih legura sve češća. Poznato je da je trošenje alata pri obradi titanovih legura vrlo veliko zbog velike temperature rezanja, budući da imaju malu toplinsku vodljivost i malu gustoću. N.Narutaki i dr. [49] uspjeli su povećati značajno brzinu rezanja pri obradi titanovih legura primjenom alata od prirodnog dijamanta, koji ima najveću toplinsku provodljivost od danas poznatih materijala alata. Takodjer, dobili su malu hrapavost obradjene površine u odnosu na obradu s drugim alatima.

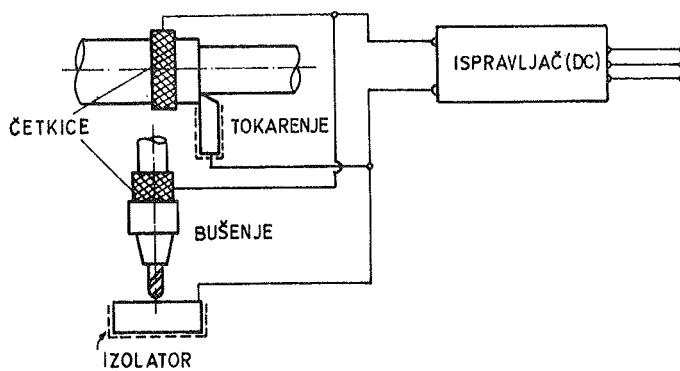
Poznato je da termičkom obradom dolazi do distorzije obratka, pa se često nakon termičke obrade mora brusiti, što znatno poskupljuje proizvod. Jedna mogućnost je da se nakon termičke obrade (tvrdoća 50 do 70 HRC) obavlja završna obrada alatima definirane geometrije. Preporuke, iskustva, mogućnosti i ekonomičnost dala je grupa autora W.König i dr. [50].

Za uspješnu obradu nakon termičke obrade legiranih čelika treba upotrijebiti:

1. Vrlo krut obradni sistem s odgovarajućom snagom i s potrebnim senzorima za upravljanje
2. Vrlo tvrd (više od 1800 HV) i žilav materijal alata
3. Negativan prednji kut γ (manji ili jednak -10°), kut klina β veći od 90° , velik radius zaobljenja vrha noža (npr. okrugla pločica) i u nekim slučajevima odgovarajuća faseta ili honovana oštrica.
4. Držać alata velike krutosti



Slika 19 Odrezivanje cijevi u snopu. (Kuljanić)



Slika 20 Shema električne tople obrade. (Uehara i dr)

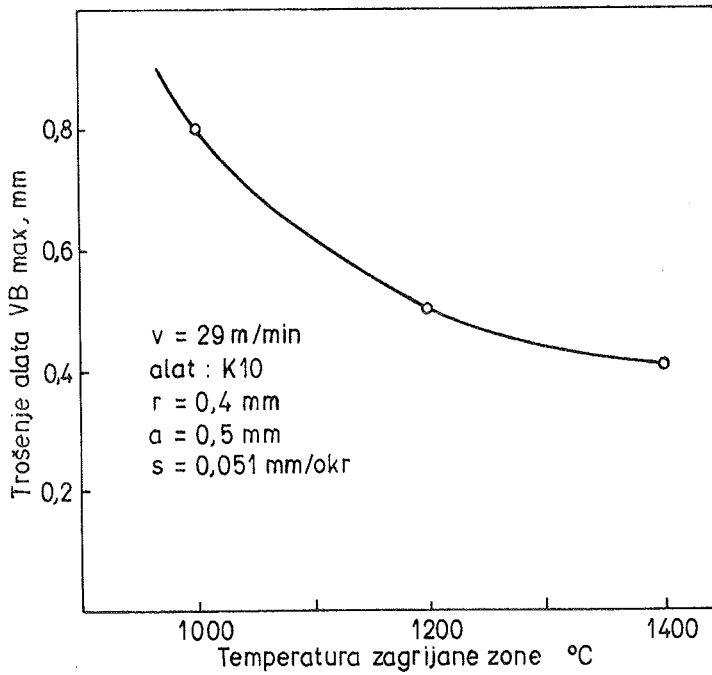
5. Odgovarajući režimi obrade.

Submikronski tvrdi metal s malo veziva ($\sim 3\%$) može se upotrijebiti za obradu legiranih čelika tvrdoće od približno 58 HRC, rezna keramika do približno 63 HRC, a kubični bornitrid (CBN) do 70 HRC. Npr. izrada ozubljenja nakon kaljenja zupčanika odvalnim glodalom od tvrdog metala može se uspješno obaviti. Na taj način vrijeme izrade se smanjuje za približno 50%, a troškovi obrade po zupčanicu smanjuju se za približno 40%. U mnogo slučajeva obrada odvajanjem strugotine nakon termičke obrade legiranih čelika može zamijeniti brušenje. Na taj način smanjuje se broj potrebnih operacija i broj skupih alatnih strojeva, te smanjuju se troškovi obrade i povećava se produktivnost.

Takodjer, legirani čelici male obradivosti, kao što su nerđjajući čelici, sivi lijev s tvrdom korom i austenitni manganski čelici mogu se uspješno obradivati električnom toplom obradom (EHM), K.Uehara i dr.[51]. Među prvim istraživačima tople obrade odvajanjem strugotine bio je M.Kronenberg, koji je za vrijeme Drugog svjetskog rada u Cincinnatiju (SAD) tokario teško obradivi obradak u zagrijanom stanju. Dakle, umjesto da se hladi, grije se materijal koji se pretvara u strugotinu, pa mu se smanjuje čvrstoća i tvrdoća. Zbog toga potrebna snaga je za približno 50% manja od snage pri običnoj obradi odvajanjem strugotine. Pri električnoj toploj obradi zagrijava se sloj obratka koji se skida, slika 20 (tokarenje i brušenje). Najpodesniji je onaj alat za električnu toplu obradu koji ima mali električni otpor, a ima veliku otpornost na trošenje. Takve karakteristike imaju preslojeni alati od tvrdog metala (pločice, svrdla i sl.).

Električnom toplom obradom postiže se znatno manja hrapavost obradjene površine, budući da se teže stvara naljepak ili lažna oštrica, kasnije se pojavljuju vibracije i povoljniji je oblik strugotine.

Novim razvojem tehničkih keramika, kao što je npr. keramika na bazi silicijevog nitrida, naglo je porasla potreba za obradom keramike odvajanjem strugotine. Poznato je da je keramika tvrda i krta što je čini vrlo nepodesnom za obradu. K.Uehara i dr.[52] na Tokijskom sveučilištu istražili su mogućnost obrade tehničke keramike pomoću tople obrade odvajanjem strugotine. Oni su utvrdili da se keramika zagrijava na temperaturu od 1000 do 1500°C ponaša slično čeliku pri obradi odvajanjem strugotine. Zanimljivo je da se trošenje alata ne povećava s povećanjem temperature, već se smanjuje, slika 21. što se donekle objašnjava da ne postoji tendencija difuzije između keramike i alata, pa je osnovni mehanizam trošenja abrazivno trošenje. U pokusima je upotrebljen alat od tvrdog metala K10 i od kubičnog bornitrida (CBN). Hrapavost, odnosno integritet obradjene površine je znatno bolji toplom obradom tehničke keramike.



Slika 21 Trošenje alata pri toploj obradi tehničke keramike.
(Uehara)

6. Pravci razvoja i zaključna razmatranja

Iz prednjih razmatranja proizlaze trendovi obrade odvajanjem strugotine.

Razvoj novih alata, tj. materijala alata, geometrije i koncepcije alata uvjetuju povećanje brzine rezanja, te drugih parametara režima obrade. Postoji više podjela brzine rezanja. Prema jednom prijedlogu velike brzine rezanja za alate s određenom geometrijom su iznad $v=500$ m/min. Prema drugom prijedlogu:

$v=0$ do 33 m/min male brzine rezanja;

$v=33$ do 650 m/min brzine rezanja koje se primjenjuju u industrijskim uvjetima;

$v=650$ do 2000 m/min velike brzine rezanja (Al i Al-legure i dr.);

$v=2000$ do 20000 m/min vrlo velike brzine rezanja;

$v=20000$ do 160000 m/min ultra velike i balističke brzine rezanja.

Opsežna istraživanja obavljaju se u područjima velikih brzina rezanja, i vrlo velikih brzina rezanja i nešto manje u području ultra velikih i balističkih brzina rezanja. Na primjer, za glodanje aluminijske legure prstastim glodalom $d=20$ mm brzinom rezanja $v=2800$ m/min potreban je broj okretaja $n=43000$ okr/min. Ležajevi glavnog vretena bili su magnetski sa osam suprotno postavljenih magnetskih polja s mikroprocesorom.

U drugom rješenju za ležajeve glavnog vretena sa velikim brojem okretaja ($n=70000$ okr/min) upotrebljeni su prednapregnuti šuplji valjčići. Ovdje je obradivan titan s definiranom geometrijom alata za čiju obradu su podesne brzine rezanja od 8000 do 11500 m/min.

Primjenom novih materijala alata povećava se značajno brzina rezanja, čime se uz povećanje dubine rezanja i eventualno posmaka, te primjenom alata za istovremenu obradu različitih dijelova obratka povećava snaga i krutost alata i stroja.

Koji se novi materijali obratka mogu očekivati i kakav će biti njihov utjecaj na razvoj proizvodnih procesa, dao je J. Peklenik [53]. O imaginaciji čovjeka ovisi koji će se materijali upotrebljavati u budućnosti, smatrao je N.P. Suh u diskusiji navedenog referata [53].

Bit će sve više istraživanja na području obrade keramičkih materijala i novih materijala obratka. Ovdje možemo dodati, da će o imaginaciji ovisiti i novi postupci koje će čovjek primjenjivati u budućnosti.

Sve se više zahtjeva točnost obratka, posebno u području mikroobrade čija je primjena sve veća u elektroničkoj industriji, industriji umjetnih vlakana i dr.

Na smanjenje ukupnog vremena izrade obratka može se utjecati i na druge načine. Iz naprijed navedenog primjera odrezivanja vidi se da treba posvetiti veću pažnju i primijeniti najnovija saznanja ne samo iz nekih postupaka

(tokarenje, glodanje, brušenje itd.), već i iz drugih "manje važnih" postupaka. Naime, i takvi postupci mogu sudjelovati s velikim udjelom u ukupnom vremenu izrade.

U ovom radu je dokazano da se primjenom novih alata može zamijeniti brušenje nakon termičke obrade obradom određene geometrije alata. Na taj način značajno se smanjuju troškovi obrade i vrijeme izrade. Također se smanjuje broj skupih alatnih strojeva i broj operacija.

Primjenom tople obrade odvajanjem strugotine otvaraju se nove mogućnosti i za obradu teže obradivih materijala, kao što su tehničke keramike, legure na bazi nikla, nerđajući čelici i dr. Međutim, topla obrada može se uspješno primijeniti i za materijale s većom obradivošću.

Elektronička računala i najmoderniji uređaji za upravljanje ne mogu značajno utjecati na efikasnost obradnih sistema, ako ulazni podaci kao što su: obradivost materijala, zakonitosti trošenja alata, odnosno postojanosti alata i režima obrade, moguća hrapavost obradjene površine - integritet obradjene površine i stvaranje podesne strugotine imaju malu pouzdanost. Da bismo pouzdanost tih podataka povećali čime se povećava i efikasnost obradnih sistema, te da bismo odredili potrebne podatke koji nedostaju, potrebno je intenzivirati istraživanja na području obrade odvajanja strugotine.

Bez obzira kakvi će biti obradni sistemi budućnosti, adaptivno ili na neki drugi način upravljani, uvijek će biti važan cilj istaknut u uvodnom dijelu: "Izraditi proizvod jeftino i dovoljno kvalitetno" bilo u uvjetima konvencionalnih tvornica ili u uvjetima tvornica bez direktnog učešća čovjeka.

7. Literatura

- [1] Kuljanić E., Obrada skidanjem strugotina - uvodni referat, XIII Savjetovanje proizvodnog strojarstva Jugoslavije, Banja Luka, 1979.
- [2] Kuljanić E., Machining data requirements for advanced machining systems, Proceedings of the International Conference on Advanced Manufacturing Systems and Technology, AMST'87, Technical faculty Rijeka, Rijeka, 1987, 1-8
- [3] Ueda N., Matsuo T., An investigation of some shear angle theories, Annals of the CIRP 35 (1986)1, 27-30
- [4] Ueda N., Matsuo T., An analysis of saw-toothed chip formation, Annals of the CIRP 31 (1982)1, 81-84
- [5] Lindberg B., Lindstrom B., Measurements of the segmentation frequency in the chip formation process, Annals of the CIRP 32 (1983)1, 17-20
- [6] Dautzenberg J.H., Hijink J.A.W., Van Der Wolf A.C.H., The minimum energy principle applied to the cutting process of various workpiece materials and tool rake angles, Annals of the CIRP 31 (1982)1, 91-96

- [7] Uehara K., Kanda Y., Identification of chip formation mechanism through acoustic emission measurements, *Annals of the CIRP* 33 (1984)1, 71-74
- [8] Ueda K., Sugita I., Tsuwa H., Application of fracture mechanics in micro-cutting of engineering ceramics, *Annals of the CIRP* 32 (1983)1, 83-86
- [9] Kramer B.M., A comprehensive tool wear model, *Annals of the CIRP* 35 (1986) 1, 67
- [10] Ber A., Kaldor S., The first seconds of cutting, wear behavior, *Annals of the CIRP* 31 (1982)1, 13-15
- [11] Hartung P.D., Kramer B.M., Tool wear in titanium machining. *Annals of the CIRP* 31 (1982)1, 75-80
- [12] Chryssolouris G., Effects of machine-tool-workpiece stiffness on the wear behavior of superhard cutting materials, *Annals of the CIRP* 31 (1982)1, 65-69
- [13] Levi R., Koren Y., Malkin S., Masory O., Time and feed dependent fracture of cutting tools - A stochastic model, *Annals of the CIRP* 31 (1982)1, 41-44
- [14] Chandrasekaran H., Reddy T.A.J., On the nature of cyclic stresses in the tool tip in peripheral milling and their implications on tool fracture, *Annals of the CIRP* 31 (1982)1, 85-89
- [15] Shibasaka T., Hasimoto H., Ueda K., Iwata K., Okamura K., Analysis of brittle failure of cutting tools based on fracture mechanics, *Annals of the CIRP* 32 (1983)1, 37-41
- [16] Alberti N., Noto La Diega S., Passannanti A., Interdependence between tool fracture and wear, *Annals of the CIRP* 34 (1985)1, 61-64
- [17] Tool life testing in milling, ISO, 1987
- [18] Ruzhong Zhou, Wang K.K., Modelling of cutting forces pulsation in face-milling, *Annals of the CIRP* 32 (1983)1, 21-26
- [19] Brown C.A., A practical method for estimating machining forces from tool-chip contact area, *Annals of the CIRP* 32 (1983)1, 91-93
- [20] Nakayama K., Arai M., Takei K., Semi-empirical equations for three components of resultant cutting force, *Annals of the CIRP* 34 (1985)1, 33-36
- [21] Kronenberg M., *Grundzüge der Zerspanungslehre III*, Springer Verlag, Berl. -N.Y. 1969
- [22] Pekelharang A.J., The exit failure of cemented carbide face milling cutters. Part 1. Fundamentals and phenomenae, *Annals of the CIRP* 33 (1984)1,47-50
- [23] Van Luttervelt C.A., Willems H., The exit failure of cemented carbide face milling cutters
Part 2. Testing of commercial cutters, *Annals of the CIRP* 33 (1984)1,51-54

- [24] Yellowley I., Observation of the mean values of forces, torque and specific power in the peripheral milling process, *Int. J. Mach. Tool Des. Res.* Vol. 25(1985)4, 287-297
- [25] Chen N.N.S., Pun W.K., The effect of variation of rake angle on wear and stress in metal cutting, *Int. J. Mach. Tool Des. Res.* Vol. 25. (1985)4, 135-142
- [26] Chandrasekaran H., Thermal fatigue studies on tool carbides and its relevance to performance of milling cutters, *Annals of the CIRP* 33 (1984)1, 125-128
- [27] Kuljanić E., An investigation of wear in single-tooth and multi-tooth milling, *int. J. Mach. Tool Des. Res.* 8 (1974), 99-109
- [28] Kuljanić E., Ispitivanje iznosa instrumenta pri odnozubnom i mnogozubnom freziranju, *Režušći instrumenti* (1974)33, 5-16
- [29] Kuljanić E., Rezni alati - uvodni referat, *Zbornik BIAM-76*, Zagreb 1979.
- [30] Kuljanić E., Stanje i pravci razvoja obrade metala skidanjem strugotine, *Strojarstvo* 25 (1983)5, 273-281
- [31] Kuljanić E., Effect of stiffness on tool wear and new tool life equation, *Transaction of the ASME, Journal of Engrg. for Ind.*, 97 (1975)3, Series B, 939-944
- [32] Wertheim R., Agranov D., Wear behavior of silicon nitride tools as a function of their specific properties, *Annals of the CIRP* 35 (1986)1, 63
- [33] Ikawa N., Shimada S., Tsuwa H., Non-destructive strength evaluation of diamond for ultra-precision cutting tool, *Annals of the CIRP* 35 (1986)1, 117-120
- [34] Mannan M.A., Performance of end mills made of different tool materials with regards to tool life and stability, *Annals of the CIRP* 35 (1986)1, 37
- [35] König W., Kauven R., Droese A., Improved HSS tool performance with mechanically resistant coatings, *Annals of the CIRP* 35 (1986)1, 31
- [36] Venkatesh W.C., Performance evaluation of TiC coated solid TiC tools, *Annals of the CIRP* 32 (1983)1, 101-104
- [37] Wertheim R., Sivan R., Porat R., Ber A., Characterization of CVD coated carbide layers and their thermal properties, *Annals of the CIRP* 31 (1982)1, 7-11
- [38] Bouzakis K.D., König W., Vossen K., Use of powder metallurgical high speed steel in gear hobbing and gear shaping, *Annals of the CIRP* 31 (1982)1, 25-29
- [39] Bizeul D., Tajan P., Le Maitre F., The use of fundamental mechanical properties in the design of the tool cutting angles, *Annals of the CIRP* 31 (1982)1, 31-34

- [40] Kaldo S., A common denominator for optimal cutting tool geometry, Annals of the CIRP 35 (1986)1, 41
- [41] Kaldor S., Trendler P.H.H., Hodgson T., Investigations into the clearance geometry of end mills, Annals of the CIRP 33 (1984)1, 33-36
- [42] Casto Lo, Passannant G., On the influence of the radius between face and flank on tool life of sintered carbides, Annals of the CIRP 34 (1985) 1, 83-86
- [43] Hoshi T., Machining performance of high-rate face-milling cutters with Swc application, Annals of the CIRP 32 (1983)1, 11-16
- [44] Vigneau J., Boulanger J.J., Behaviour of ceramic tools during the machining of nickel base alloys, Annals of the CIRP 31 (1982)1, 35-39
- [45] Kaldor S., Moore K., Hodgson T., Drill point designing by computer, Annals of the CIRP 32 (1983)1, 27-31
- [46] Fujisawa M., Oku I., Arakawa N., Watanabe M., Precision sawing with wire saw, Annals of the CIRP 32 (1983)1, 87-90
- [47] Santikarn D., Armarego E.J.A., An analysis of gravity-fed nacksawing for force and cutting rate prediction, Annals of the CIRP 31(1982)1, 1-6
- [48] Kuljanić E., An investigation of cut-off bars and pipes by horizontal band sawing, Annals of the CIRP 31 (1982)1, 53
- [49] Narutaki N. Murakosh A., Study on machining of titanium alloys, Annals of the CIRP 32 (1983)1, 65-69
- [50] Koenig W., Komanduri R., Toenshoff H.K., Machining of Hard Materials, Annals of the CIRP 33 (1984)2, 417-427
- [51] Uehara K., Sakurai M., Takeshita H., Cutting performance of coated carbides in electric hot machining of low machinability metals, Annals of the CIRP 32 (1983)1, 97-100
- [52] Uehara K., Takeshita H., Cutting ceramics with a technique of hot machining, Annals of the CIRP 35 (1986)1, 55
- [53] Peklenik J., The Impact of Engineering Materials on the Development of Fabrication Processes, Annals of the CIRP 31 (1982)2, 471-480

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987

RAZVOJ POSEBNIH POSTOPKOV OBDELAVE

THE DEVELOPMENT OF SPECIAL MACHINING PROCESSES

F. Roethel Fakulteta za strojništvo, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani
Murnikova 2, 61000 Ljubljana

Ključne besede: POVZETEK: Posebni postopki obdelave se v zadnjem času močno razvijajo. Skoraj na vseh področjih obdelave srečamo nove posebne postopke obdelave, ki se šele uvajajo. Že vpeljeni pa še vedno doživljajo buren razvoj. V sestavku so predstavljene novosti s tega področja in kratke osnove postopkov. Povsod so posebej navedena področja uporabe in deloma tudi izgledi za bodočnost.

Posebni postopki obdelave
Nekonvencionalni postopki
Tehnologija
Obdelava

Key words: ABSTRACT: In recent years special machining processes are undergoing a rapid development. In almost all the fields of machining new special machining processes are introduced, and those which have been introduced are further developed very rapidly. The contribution presents some of the novelties in this field and gives a short survey of the fundamental data. For each case the application fields and partially also the future prospects are given.

Special machining processes
Nonconventional processes
Technology
Machining

1. Uvod

Poleg običajnih postopkov obdelave so se v zadnjem desetletju močno razširili novi postopki obdelav, ki zamenjujejo klasično rezanje in preoblikovanje ali ga dopolnjujejo. V času uvajanja se jih je oprijelo ime nekonvencionalni postopki. Glede na množičnost in raznolikost uporabe jih bo v bodoče bolje poimenovati: Posebni postopki obdelave. Težko jih je združiti v skupine z enakimi učinki pri obdelavi ali s podobnimi mehanizmi delovanja naprav. Zato je najprimernejša delitev po vrsti in obliki energije, ki se pri obdelavi uporablja. Tako se lahko delijo po vrsti procesa, ki pri obdelavi poteka. Splošno se lahko razvrstijo v:

- toplotne procese, pri katerih ni dovoda energije s klasičnim prevodom in sevanjem v pečeh,
- kemične procese z vplivom naoblikovanje površin,
- elektrokemične procese za odnašanje,
- mehanske procese z značilnim dovajanjem energije,
- sestavljene procese.

Dano zaporedje v razvrstitvi v določeni meri tudi popisuje obsežnost uporabe v industriji, ki pa se sčasoma lahko močno menja.

Vse navedene procese družijo nekaj skupnih značilnosti:

- Uporabljajo jih za obdelavo materialov, ki jih po običajni poti ne bi mogli obdelati, ker so pretrdi, prekrhki, preelastični itd.
- Z njimi obdelujejo oblike, ki jih po običajni poti ni mogoče ali jih je zelo težko obdelati.
- Z njimi dosežejo kakovost površin, ki je drugače dosegljiva le z dragim in ročnim delom ali pa sploh ne.
- Omogočajo mehanizirano in izločajo ročno delo.
- Omogočajo izdelavo miniaturnih oblik.

Seveda pa ima vsak poseben postopek tudi svoje slabe strani, da ni uporaben univerzalno, temveč le za nek določen namen. Omejeni so tudi glede na naprave, ki so po izdelovalcih zelo različne in značilne po nastavitvenih in krmilnih parametrih. Ti namreč niso univerzalni v tem smislu, da jih lahko zvezno nastavljajo samo po velikosti. Zato je izbira primerne posebnega postopka za obdelavo, s pomočjo računalnika, še obsežno delo za bodoče raziskovalce. Vse naprave se še razvijajo in niso dosegle svojih dokončnih oblik in lastnosti do te mere, da bi jih lahko krmilili z obstoječimi NC oz. CNC sistemi, ki so za gibanja in določanja pozicij že vpeljeni na vseh področjih. Krmiljenje z računalnikom ovira tudi veliko število krmilnih parametrov, katerih medsebojne povezave še niso v podrobnosti poznane. Novi parametri in nove povezave zahtevajo razvoj senzorjev s primernimi lastnostmi in oblikami, ki bodo omogočili adaptivno krmiljenje procesov. Če obravnavamo običajne obdelave, vidimo, da je bilo potrebno kar veliko časa za uvajanje elektronskega vodenja in krmiljenja. Po drugi strani je ugotovljeno, da je in bo možno pri posebnih postopkih določiti parametre, ki natančneje popisujejo proces in omogočajo boljše krmiljenje. Ravno to pa zagotavlja enakomernjšo želeno kakovost z manjšimi odstopanji kot pri klasični obdelavi.

Umetna inteligenca, ki bo omogočala avtomatske logične izbire posebnih procesov in njihovih parametrov, bo zapletena, ker bo morala vsebovati še vse dodatne vplive druge opreme in okolja, v katerem procesi obdelave potekajo. Medtem ko so doslej lahko potek obdelave predpisovali z neizpodbitno logiko, se položaj spremeni pri uvajanju posebnih postopkov. Pri uvajanju fleksibilnih sistemov je lahko posebni postopek ovira zaradi slabega izkoristka v celovitem procesu izdelave, kjer časi uprabe pri izbranih izdelkih varirajo. Značilnost opreme pri posebnih postopkih je povprečno časovno kratka uporaba v celovitem procesu izdelave izbranega izdelka in s tem povezano majhno število naprav v zaporedju delovnih operacij.

Po drugi strani pa lahko ena naprava opravlja več operacij, ki so jih doslej opravljali na različnih strojih in opremi. Tako npr. lahko uporabite laser za rezanje, varjenje in toplotno obdelavo površin.

Namen pričujočega sestavka je pregledati stanje in obravnavati smeri razvoja pri posebnih postopkih, kjer je to dostopno in mogoče. Zato se fizikalna in kemična dogajanja v procesih podrobno ne obrazlože. Osnovni principi procesov in naprav so v našem okolju že

dalj časa poznani (npr. /1, 2/). Delitve in obravnave uporabe posebnih postopkov so še vedno prepuščene avtorjem, med katerimi so redko zbrane celovite informacije (npr. /3/).

2. Elektro toplotni postopki obdelave

K elektro toplotnim prištevajo vse postopke, ki spreminjajo površino oz. obdelovance, z vplivom elektroenergetskega pretoka toplote na ali v obdelovanec. Koncentracijo toplote na površini dobijo z žarki elektromagnetnega valovanja svetlobe z napravo laser; z žarki elektronskega in ionskega snopa; z vplivom plazme ter z energijo električnih razelektritev.

2.1. Obdelava z laserskimi žarki (LBM - Laser beam machining)

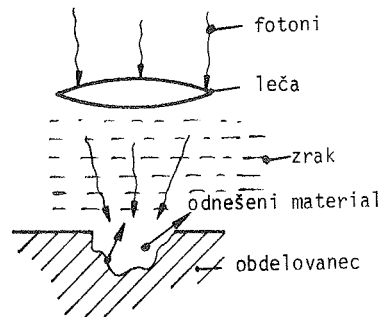
Z dodajanjem električne energije vzbujajo v laserskih napravah molekule in atome, ki pri prehodu iz vzbujenega stanja v normalno sproščajo energijo v obliki monohromatske (enobarvne, z eno valovno dolžino), koherentne (niha v fazi, tj. brez faznega premika) svetlobe (elektromagnetnega valovanja). Energije vodijo na obdelovano površino zvezno "c.w." (continuous wave) ali impulzno, kjer dosežejo tudi višje konice moči (sl. 1).

Kakovost energije je odvisna od valovne dolžine (λ) fotonskega žarka:

$$E_f = h \cdot \nu = \frac{c \cdot h}{\lambda} \quad (1)$$

pri čemer je:

- E_f = energija fotona /Ws/
- ν = frekvenca valovanja svetlobe /Hz/
- c = svetlobna hitrost /m/s/
- h = Planckova konstanta
($6,624 \pm 0,002$) · 10^{-34} /Js/



Sl.1.1 Obdelava z laserskim žarkom

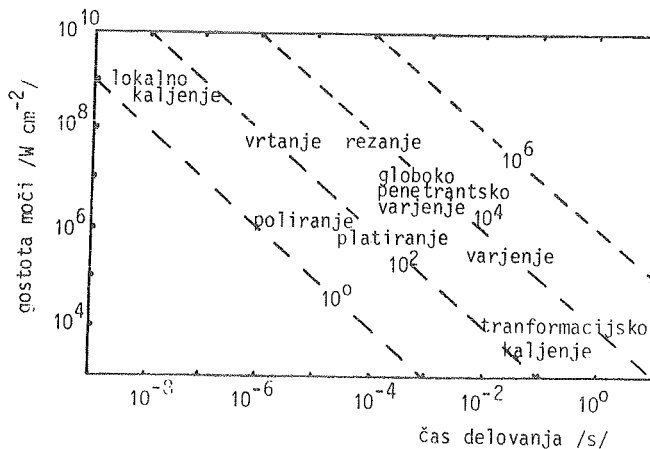
Za obdelavo uporabljajo danes predvsem CO_2 laserje (light amplification by stimulated emission of radiation) z aktivnim plinskim medijem ter s trdnim medijem (solid state laser), kot je npr. laser Nd:YAG (itrijaluminijev granat (garnet)). Za povečanje odnašanja dodajajo na mesto reakcije plin kisik na obdelovano površino. Pri zeleni zaščiti obdelovane površine pa dovajajo neaktivne zaščitne pline. Seveda uporabljajo laserje še v druge namene, kot so: meritve razdalj, telekomunikacije z optičnimi vlakni, operacije v medicini, tisk, preskušanje brez porušitve itd. V svetu je na tržišču že vrsta laserjev (tab. 1) in tudi pri nas imajo že dva izdelovalca. Za rezanje izdelujejo pri nas laser- CO_2 , z močjo 600 W (Elektrooptika, Ljubljana).

Z laserskim odnašanjem lahko zamenjajo kar tri različne klasične postopke obdelave: rezanje, varjenje in toplotno obdelavo. Tako ena naprava zadošča za opravljanje treh različnih postopkov in jo lahko vključijo v obdelovalno celico, posluževano z robotom. Z laserjem lahko nadomestijo tudi mehansko vrtnanje. Posebno primeren je za vrtnanje zelo ozkih

laser	vrsta	valovna dolžina /nm/	lastnost	moč
trden	rubin	694	pulzni	5 W
	Nd-YAG	1064	pulzni, c.w.	1 ÷ 800 W
	Nd-steklo	1064	pulzni, c.w.	2mW
polvodniški	GaAs	800 ÷ 900	pulzni, c.w.	2 ÷ 10mW
molekularni	CO ₂	10,6 μm	pulzni, c.w.	do 15 kW
ionski	Ar ⁺	330 - 530	pulzni, c.w.	1 W do 5 kW
neutralni plin	He-Ne	633	c.w.	20mW

Tabela 1 Lastnosti izdelanih industrijskih laserjev /3/

izvrtin. Na površino učinkuje laserski žarek v odvisnosti od parametrov procesa (sl. 2). Z majhnimi energijami s finim žarkom označujejo obdelovance. Glede na zeleno obdelavo fokusirajo žarek. Tako je za majhne debeline pri rezanju najprimernejše gorišče približno na eni tretjini prehoda (debeline obdelovanca). Za numerično krmiljenje in računalniško



Sl. 2 Področje laserskih procesov

vođenje procesa bo na tem področju potrebna še vrsta raziskav, ki bo omogočala pravilno načrtovanje tehnologije za vođenje optimalnega poteka procesa. Po že znanih meritvah kažejo primerjave z drugimi postopki za rezanje, da je laserski postopek najugodnejši (tab.2) /4 - 8/.

Rezanje	s plamenom	s plazmo	z laserjem
širina reza	1,0 mm	1,5 mm	0,4 mm
globina toplotnega vpliva	3,2 mm	0,24 mm	0,06 mm
rezanje pločevine pod debelino	4 mm s CO ₂ laserjem		

Tabela 2 Primerjava učinkov laserskega žarka pri rezanju

Prednosti obdelave z laserjem so številne:

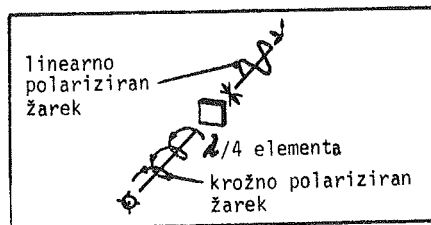
- vpliv toplote iz reza na okolje na nasproti drugim postopkom majhen,
- širina reza je majhna,
- odnesena količina materiala pri rezu je majhna,
- posebnega orodja ni (se ne obrablja),
- laser ne potrebuje posebnega okolja (npr. vakuuma),
- operacije obdelave so zvezne (v eni delovni fazi),
- žarek ali mizo je mogoče numerično voditi (NC),
- postopek ne onesnažuje okolja,
- šumnost je majhna.

Seveda pa ima postopek tudi slabe strani:

- naprave so razmeroma velike in še vedno drage,
- slabo se obdelujejo baker, aluminij, med;
- zlata in srebra ni mogoče obdelovati.

Poleg kovin (jeklo, titan, cinkove zlitine, kolumbij itd.) laser dobro reže še les, papir, volno, bombaž in umetne snovi ter keramiko, kremen itd. Impulzno delovanje laserja ima 5 do 8 krat večjo moč v impulzu kot zvezna emisija svetlobne energije. Impulze uporabljajo npr. za vrtanje, da čimveč materiala hitro upari, pa tudi za rezanje. Dolžine impulza so od $1 \mu\text{s}$ do 0,25 s. Pri vrtanju dosežejo premer izvrtine do $2 \mu\text{m}$.

Poleg klasičnih obdelovancev z laserjem uspešno obdelujejo tudi elektronske elemente /9/. Na drugi strani pa dosežejo gospodarno rezanje še pri debelini okrog 10 mm za jeklo /10/. S sodobnim NC krmiljenim laserjem je mogoče rezati tudi tridimenzionalne reze. Pri tem uporabljajo krožno polarizacijo žarka namesto linearne /8/. Tako se izognejo vplivu polarizacije na rezalno hitrost (sl. 3). V bližnji bodočnosti bodo industrijsko uporabni tudi laserji za oblikovanje integriranih vezij /11/.



Sl. 3 Krožna in linearna polarizacija LBM /8/

2.2. Obdelava z elektronskimi žarki (EBM - Electron beam machining)

S termično emisijo pridobljene elektrone na katodi pospešijo z 30 do 150 kV in usmerijo skozi anodo proti magnetnim lečam, kjer jih fokusirajo na obdelovano površino (sl. 4). Medtem ko je laserski žarek (svetloba) elektromagnetno valovanje, je elektronski žarek snop gibajočih se masnih delcev - elektronov. Parametri za popis energije elektronov so masa (m_e) in elementarni naboj (e), pri čemer ima masa hitrost (v_e) pod vplivom pospeševalne napetosti U_B . Kinetična energija elektrona je:

$$E_{kin} = \frac{m_e}{2} \cdot v_e^2 = e \cdot U_B \quad (2)$$

pri $m_e = 9,108 \cdot 10^{-31}$ /kg/

(masa elektrona)

in $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ /As/

(elementarni naboj elektrona)

$$E_{kin} = 1,602 \cdot 10^{-19} \cdot U_B \text{ /Ws/}$$

Medtem, ko se energija fotonov (laserski žarek) absorbira v površinskem sloju obdelovanca (povzroča visokofrekvenčno ogrevanje), elektroni potujejo dlje v notranjost in sproti oddajajo energijo. Potrebna energija za uparjanje z laserjem je dovedena v nekaj mikrosekundah, energija pri

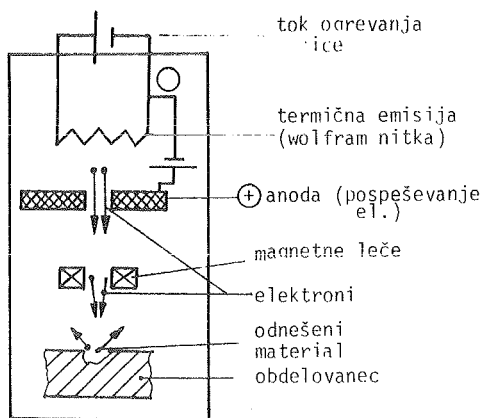
elektronskem žarku pa v nekaj milisekundah. Zato ima laserski žarek pri enaki gostoti energije žarčenja mnogo večjo energijo na enoto prostornine. Iz teh razlogov ima toplotna prevodnost obdelovancev močan vpliv pri obdelavi z laserjem, medtem ko ima pri obdelavi z elektronskim žarkom močan vpliv gostota materiala. Tako lahko obdelovalnost obeh postopkov primerjajo po merilu merjenja premera izvrtin (sl. 5) /4/. Zakonitost prevodnosti in gostote ni popolna.

Odnašanje materiala z elektronskim snopom uporabljajo predvsem za izdelavo zelo ozkih izvrtin.

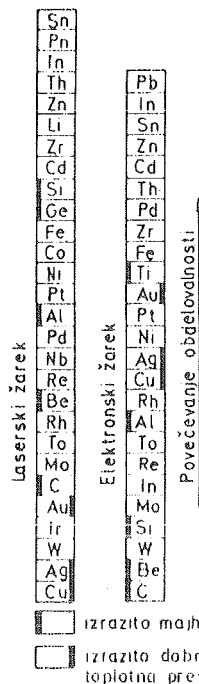
Z veliko natančnostjo lahko vrtajo premere, ki so manjši kot 50 μm . Natančno vodenje žarka omogoča uporabo v litografiji, kjer je obdelava z žarkom posebnega pomena za izdelavo posameznih vezij. V takem primeru je optična litografija predraga (izdelava mask z majhnimi spremembami itd.). Tako rabi optični-mehanični generator za izdelavo 200.000 strukturnih detajlov v čipu kar nekaj ur; poleg tega pa je še omejen z neko minimalno obliko. Te probleme rešuje elektronski snop. Poleg elektronskega snopa uporabljajo za to delo še x-žarke.

Prednosti uporabe elektronskega žarka pri obdelavi so:

- možnost največje stopnje avtomatizacije,
- velika produktivnost,
- možnost obdelave vseh materialov,
- velika natančnost izdelave.



Sl. 4 Obdelava z elektronskim žarkom

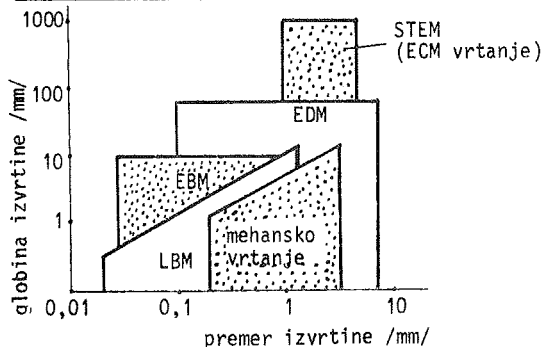


Sl. 5 Obdelovalnost z laserskimi in elektronskimi žarki /4/

Zelo slaba stran pa je ozka namembnost uporabe in zato visoka cena obdelave.

Vendar se lahko pri vrtnanju ozkih izvrtin njegove lastnosti uspešno primerja (sl. 6) /8/ z drugimi postopki.

	dosegljiva natan.	hit.vrt.
EDM	0,01 mm	□
mehan.vrtanje	> 0,02 mm	□
STEM	0,1 d	□
LASER	0,06 d - 0,02 d	□
EBM	0,05 d - 0,1 d	□



Sl. 6 Primerjava procesov za izdelavo ozkih izvrtin /8/

Poleg vrtnanja in rezanja se lahko z elektronskim snopom tudi vari. V tem primeru kaže elektronski snop posebne ugodnosti (tab. 3) /12/.

Proces	LBM	EBM	PBM	TIG
hitrost varjenja /mm/s/	33	33	10	3
energija/mm /J/mm/	150	150	400	660
kotna napaka	paralelno	paralelno	5°	7°
investicija/ varjen mm zvara/sec (razmerje)	5	2,25	1	1,75

Pri varjenju zvara 4 mm za malo legirano jeklo

Tabela 3 Primerjava uspešnosti varjenja z različnimi postopki

2.3. Obdelava z ionskimi žarki (IBM - Ion beam machining)

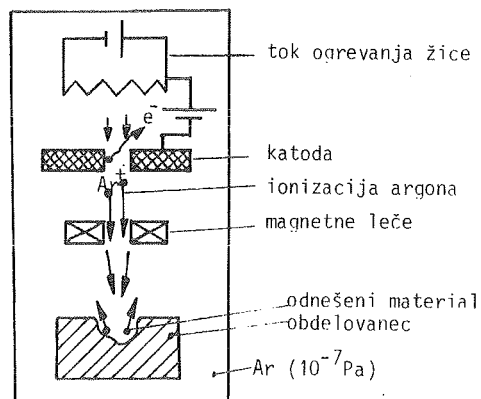
Kot pri obdelavi z elektronskimi žarki se pridobijo s termično emisijo elektroni, ki prožijo ionizacijo razredčenih plinskih atomov. Za obdelavo uporabljajo ione argona, ki so bili pospešeni na poti med anodo (izvorom) in katodo ter nato fokusirani na obdelovano mesto (sl. 7).

Z ioni, ki imajo veliko kinetično energijo, obstreljujejo površino. Iz površine se trenutno izbijajo atomi. Odnášanje je proporcionalno jakosti ionskega toka. Uspešnost obdelave se ocenjuje z razmerjem izbitih atomov napram aktivnim ionom. To razmerje znaša

pri argonu od 0,1 do 10 atomov/ion in je odvisno od mase obstreljevanih atomov. Posebne izvedbe tega postopka so še vedno v razvoju. Osnovni postopek se uporablja za fino oblikovanje površin s pomočjo mask.

Industrijsko uporabna ionska obdelava se deli še v več podvrst /3/ postopka, kot so:

- jedkanje s plazmo (Plasma etching)
- reaktivno ionsko jedkanje (RIE) (Reactive ion etching)
- reaktivno ionsko žarkovno jedkanje (Reactive ion beam etching) itd.



Sl. 7 Obdelava z ionskim žarkom

Napram klasičnemu jedkanju imajo ti postopki to prednost, da lahko z njimi obdelujemo poljuben material. Posebna prednost je možnost obdelave dimenzij z natančnostjo manj kot 100 nm .

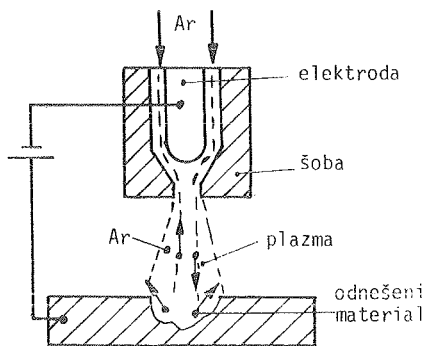
2.4. Obdelava s plazmo (PBM - Plasma beam machining)

V napravi pridobivajo plazmo (električno prevodna oblika plina), z razelektritvijo (v obloku) med katodo in anodo. Z energijo plazme delujejo na obdelovano površino v dveh oblikah. Pri prevodnih materialih je anoda kar obdelovanec (sl. 8), pri neprevodnih pa ohišje naprave. Zato se deli ta postopek še v dve podvrsti /14/:

- obdelavo z obločnim plazemskim žarkom (Plasma arc beam).
- obdelavo s curkom plazme (Plasma jet beam) - za neprevodnike.

Proces popisujejo parametri: količina plina, premer šobe in moč obloka. Običajno obdelava teče pri napetosti 100-200 V in toku 5 -1000 A. Kot aktivni plin uporabljajo argon, helij in dušik (Ar, He, N).

Dandanes uporabljajo obdelavo s plazmo največ za pripravo varilnih površin, ker daje oblike z majhnimi odstopki po rezu glede na želeno geometrijo (ravne površine in okrogline na stičiščih ploskev). Tako se lahko reže 25 mm debelo nerjavno jeklo s hitrostjo 1300 mm/min s tokom obloka 575A. Sam postopek se pa še da izboljšati /15/.

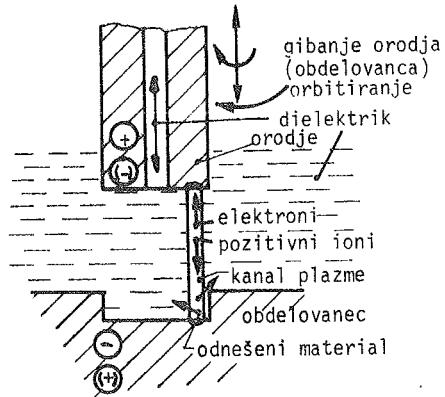


Sl. 8 Obdelava s plazmo

Poleg rezanja uporabljajo plazmo še za nanašanje prevlek z veliko odpornostjo proti obrabi, temperaturi ali koroziji. Pogosto se nanaša 0,1 mm debela plast iz kovinskih ali keramičnih materialov /16/.

2.5. Elektroerozijska obdelava (EDM - Electro discharge machining)

Pri elektroerozijski obdelavi predstavljata orodje in obdelovanec par elektrod, med katerima prihaja do impulzne razelektritve v tekočini - dielektriku (sl. 9). Med impulzom se površina se površina obdelovanca na mestu preboja raztali in upari; odnesene delce pa izpere z obdelovalnega mesta dielektrik. Polariteta orodja (elektrode) je običajno pozitivna in je odvisna od vrste materiala orodja in obdelovanca. Električna razelektritev povzroča na površini obdelovanca sprostitvev toplotne energije z močjo $10^5 - 10^8 \text{ kW/m}^2$, ki povzroči oblikovanje kraterja. Delovni impulz traja od 1 do $2000 \mu\text{s}$ z vmesnim intervalom 2 - $1000 \mu\text{s}$ /5, 3/. Množica zaporednih razelektritev in oblika je odvisna od poteka in velikosti moči v impulzu. Od vrste materiala (elektrode in obdelovanca), sprememb moči, oblike obdelovanca (ki je po obdelavi negativna oblika elektrode), načina in pogojev izpiranja ter krmiljenja procesa je odvisna tudi obraba elektrode.



Sl. 9 Elektroerozijska obdelava

Značilnost pravičnega poteka procesa je krajevno naključen pojav posamezne razelektritve v časovnem zaporedju, ki daje enakomerno obdelano površino. Zaradi povečanih koncentracij odnesenih delcev proti izhodu dielektrika (povečana prevodnost) se reža (med orodjem in obdelovancem) od vhoda do izhoda dielektrika veča. Lokalna koncentracija zaporedja impulzov se oblikuje v oblok, ki poškoduje površino. Zato ga je potrebno preprečiti.

V zadnjem desetletju je proces doživel nesluten razmah raziskav, ki vodijo k večjemu odnašanju, enakomernejši in kvalitetnejši površini ter manjši obrabi elektrode in s tem pravilnejši željeni obliki obdelovanca po obdelavi. V tem kratkem sestavku je zaradi velikega števila raziskav težko popisati vse ideje in rešitve raziskovalcev, ki so bile v zadnjem času uresničene /3, 13, 18/.

Zaradi številnih prednosti napram klasičnim postopkom, kot so npr. izdelava zapletenih oblik, enostavna izdelava orodja - elektrode, sposobnost za odnašanje trdih zlitin itd., se je elektroerozijska obdelava od vseh postopkov še najbolj razširila tudi v naši industriji. Uporabnost postopka omejuje le pogoj po električni prevodnosti obdelovanca.

Grobo se da razdeliti postopek elektroerozijske obdelave še v:

- elektroerozijsko grezenje,
- elektroerozijsko rezanje z žico,
- elektroerozijsko brušenje.

2.5.1. Elektroerozijsko grezenje

Za elektroerozijsko grezenje je značilna elektroda-orodje, ki ima negativno obliko želene

obdelane površine na obdelovancu. Med obdelavo se jo v skladu z odnašanjem primika k obdelovancu in vzdržuje med njima približno stalno režo, ki omogoča pretok dielektriku in odnašanje materiala. Zaradi lokalnih koncentracij odnešenih delcev se prevodnost dielektrika lokalno zmanjša in povzroča koncentracijo kraterjev ter zgoščene obžige na površini (defekte površin). Proces ne teče stabilno in vsebuje poleg učinkovitih impulzov še proste (kjer ne pride do preboja), nepravilne (obločne, ki poškodujejo površino) ter kratkostične.

Stabilen potek procesa želi zagotoviti vsak izdelovalec naprav po svoje. V ta namen je v svetu izdelanih vrsta krmiljenj, med katera lahko prištejemo tudi domače /19/. To krmilje, ob pojavu vnaprej številčno predpisane serije škodljivih impulzov, sproži v zaporedju štiri krmilne zanke. Prva podaljša čas intervala, druga minimalno odmakne elektrodo, tretja jo odmakne za daljši čas in četrta izklopi napravo. Vsaka zanka se vključuje glede na število in gostoto pojava predhodnih zank. Bodočnost preprečevanja neželenih impulzov je vsekakor v predhodnem razpoznavanju impulzov in preprečevanju sprememb parametrov, ki povzročajo neželene pojave. Na ta način bo možno povečati učinkovitost procesa.

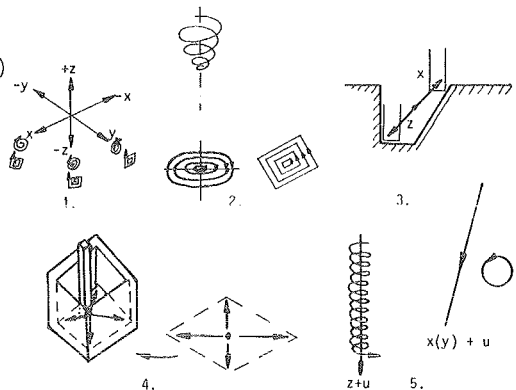
Druga vrsta adaptivnega krmiljenja bo morala povečati učinkovitost samega impulza ter še zmanjšati obrabo elektrod. To bo možno doseči z oblikovanjem toka oz. napetosti v impulzu in s tem poteka energije. Tudi take rešitve so v svetu že znane /13, 18/.

Delno rešitev problemov prinaša že uvedba planetarne elektroerozije, kjer orodje-elektroda opravlja med odnašanjem orbitalno gibanje z radijem od nekaj deset do več sto μm .

Pri tem postopku se elektroda giblje ekscentrično in obenem pomika v obdelovanec, medtem ko se je pri običajnem grezenju lahko samo vrtela med podajanjem. Zato omogoča orbitalno gibanje spremembo reže, ki je vedno drugače mehansko najmanjša (po obodu elektrode). To gibanje omogoča tudi boljše izpiranje in preprečevanje oblokov ter zmanjšanje obrabe elektrode. Zato se lahko uporabi pri planetarni eroziji za grobo in fino obdelavo samo eno elektrodo. Tudi odnašanje je večje, obraba elektrode enakomernejša, površina obdelovanca manj valovita ter reža po širini enakomernejša na poti dielektrika.

Vsa gibanja elektrod oz. orodja so danes numerično krmiljena. Novejša krmiljenja omogočajo različna relativna gibanja med orodjem in obdelovancem npr. (sl. 10 /3/:

- po oseh X, Y in Z (10.1)
- po osi Z s (stopnjevano) spiralo (ali stopnjevanim likom (npr. kvadratom) (10.2)
- simultano gibanje po dveh oseh (poševnine) (10.3)
- v treh smereh (napram ogliščem) (10.4)
- simultano linearno in rotacijsko gibanje (10.5)



Sl. 10 Gibanje elektrod /3/

Z numerično krmiljenimi gibanji dosežejo toleranco oblike v mejah $5 \mu\text{m}$. Novo krmiljenje omogoča tudi avtomatsko menjavo orodij (elektrod). Pri tem dosežejo natančnost $3 \mu\text{m}$ pri ponovitvah, zapleteno orodje pa je lahko sestavljeno iz več enostavnih oblik, ki se v zaporedju menjujejo. Med delovne operacije je vstavljena tudi operacija kontrole dimenzije z otipavanjem /3/. Ravno tako je razvito tudi že adaptivno krmiljenje, ki spremlja obrabo elektrode /20/. Izboljšanje procesa predstavlja tudi numerično krmiljenje po obrisu obdelovanega volumna (NCC-EDM (Numerical contouring control electro discharge machining) s posebno elektrodo v obliki črke U in podobno, ki izrezuje žlebove v vseh položajih in globinah /21/.

Posebna pozornost je v zadnjem času posvečena fini obdelavi z elektroerozijo, tj. poliranju. Pri tem postopku dosežejo tokovi vrednost največ $1 - 2 \text{ A}$ v času impulza $1 - 5 \mu\text{s}$ /3/ ob planetarnem gibanju elektrode. Za enakomeren potek procesa na večjih površinah poskrbijo še s posebnimi elektrodami (silikon-baker), ki porazdeljujejo razelektritve v več majhnih razelektritev (kanalov), da nastanejo manjši kraterji. Zrcalno gladko površino pa je moč doseči le na obdelanih materialih, ki pri toplotnem vplivu erozije po površini ne pokajo (npr. z nizko koncentracijo ogljika ali kroma) /3/.

Čedalje bolj se uporablja tudi EDM-vrtanje za tanke in globoke izvrtine ($\emptyset 0,03$ do 3 mm). To je pogosto prva faza obdelave za oblikovno NC-vrtanje ter za začetek rezanja z žico. Kot elektrode služijo industrijsko izdelane cevke različnih profilov. Cevke imajo tudi notranji ojačevalni profil.

2.5.2. Elektroerozijsko rezanje z žico (WEDM - Wire-EDM)

Z numeričnim krmiljenjem vodena žica (ali obdelovanec), ki se obenem previja (za odstranitev obrabljenege mesta) z električnimi impulznimi praznitvami odnaša material na svoji poti skozi obdelovanec. Pri delu so možne kombinacije gibanj (žice in obdelovanca) v do 6 oseh, ki omogočajo izdelavo tridimenzionalnih oblik s premočrtnimi mejnimi ploskvami.

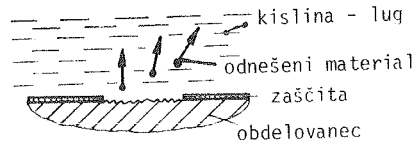
S tem postopkom dosegaajo veliko odnašanje do $200 \text{ mm}^2/\text{min}$ pri debelini obdelovanca 60 mm in $R_{\text{max}} = 24 \mu\text{m}$ s frekvenco $20 - 40 \text{ KHz}$ pri maksimalnem toku $200 - 400 \text{ A}$ /3/. Veliko natančnost reza dosegaajo pri približno konstantni temperaturi okolja $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ($\pm 1^{\circ}\text{C}$) do $4 \mu\text{m}$ ($1 \mu\text{m}$). Pri fini obdelavi se doseže hrapavost do $R_a = 1,4 \mu\text{m}$. Povečanje hitrosti je možno doseči s posebnimi oplaščenimi žicami. Žice morajo imeti namreč zadovoljivo trdnost pri povišani temperaturi in predvideni obrabi. Pri velikosti obdelave nad 350 mm doseže napaka linearnosti približno $20 \mu\text{m}$.

Z žico se opravlja tudi že brušenje zelo majhnih delov. Pri tem je žica na obdelovalnem mestu posebej podprta oz. vodena. Tako se brusijo igle in majhne palice, ki se uporabljajo v tehnologijah pri izdelavi mikroelektronskih vezij. Tehnologija elektroerozijskega brušenja z žico (WEDG - Wire electro discharge grinding) že ustreza natančnosti, ki se doseže z mehanskim NC sistemom obdelave. Pri delu z žico je v primerjavi glede na klasično orodje odstranjen vpliv obrabe.

Z žico se danes reže keramika, kubični bornitrid (tako se ostri brus) in polikristalni diamant (PCD - polycrystalline diamond) /3/.

3. Kemična obdelava (CHM - Chemical machining)

Pri kemični obdelavi (sl. 11) prihaja do odnašanja materiala s površine obdelovanca, ki kemično reagira z jedkalno tekočino ali plinom. Zato se uporablja le za odnašanje zelo tankih plasti s površine (največ do debeline nekaj mm) pri čemer okolje zaščitijo s posebno masko. Kemična obdelava je gospodarna pri majhnih in srednjih serijah, kjer izdelava mask še ne predstavlja bistvenega stroška. Maske pa se izdelujejo tudi že z laserjem v letalski industriji /3/.

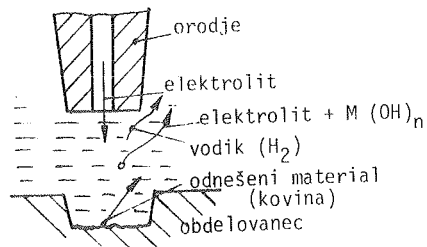


Sl. 11 Kemična obdelava

Kemična obdelava dobiva poseben pomen pri izdelavi zelo majhnih mehanskih delov, kjer vpliva na obliko obdelovanca že oblika in lega kristalnih zrn. Z njo obdelujejo torej poleg površin tudi majhne dele, od katerih zahtevajo posebne električne lastnosti. Uporabljajo jo pri izdelavi senzorjev za merjenje pretoka plinov, za krmiljenje industrijskih procesov itd. Na tem področju se lahko pričakuje še obsežen razvoj.

4. Elektrokemična obdelava (ECM - Electro chemical machining)

Elektrokemična obdelava nastaja na obdelovancu pod vplivom procesa elektrolize, ki odnaša material z anode (obdelovanca (sl. 12)). Proces najintenzivnejše teče na najožjem mestu med orodjem (katodo) in obdelovancem. V procesu elektrolize se iz odnešene kovine tvori kovinski hidroksid, iz elektrolita (razne soli v vodi) pa izhaja vodik. Hitrost odnašanja znaša med 0,5 in 10 mm/min pri jakosti toka 10 do 1000 A/cm².



Sl. 12 Elektrokemična obdelava

4.1. Elektrokemično grezenje

Z elektrokemičnim grezenjem oblikujejo največkrat orodja za preoblikovanje (npr. kovanje). Negativna oblika orodja je katoda (elektroda - orodje), ki se preslika v izdelek (anodo). Postopek ima mnogo dobrih lastnosti:

- obrabe orodja (katode) skoraj ni,
- konstrukcijska oblika orodja je lahko zelo zapletena,
- izdelek nima srha,
- hrapavost površin je skoraj neodvisna od parametrov obdelave,
- po obdelavi ni v izdelku nobenih notranjih napetosti,
- proces ne povzroča toplotnih vplivov.

Seveda pa ima postopek tudi neželene lastnosti:

- na hrapavost površine vpliva obdelovani material.

- elementi zlitin se različno izločajo,
- hrupavost je odvisna od oblike obdelovanca,
- poraba energije je velika,
- zaželenega profila ne moremo popolnoma natančno izdelati,
- priprava elektrode je draga.

Z razvojem te tehnike obdelave želijo poboljšati dimenzijsko natančnost izdelka. Dosežena natančnost že znaša $10 \mu\text{m}$ /3/. Izboljšanje je moč doseči s posebno izolacijo orodja, ki preprečuje neželjeno odnašanje. S specifičnim elektrolitom se doseže prekritje s pasivno plastjo, ki sestoji iz oksidov ali hidroksidov na anodi /1/.

ECM postopek s pulzirajočim tokom omogoča boljše izpiranje in nadomeščanje elektrolita na mestih kemične reakcije ter dopušča manjšo delovno režo, kar pa povzroča večjo natančnost izdelave. Poleg tega poveča natančnost izdelave tudi krmiljenje temperature elektrolita na mestu odnašanja.

4.2. Elektrokemično vrtnanje

Za vrtnanje je danes v uporabi že več elektrokemičnih postopkov. STEM (Shaped tube electrolytic machining) omogoča vrtnanje s tanko dolgo cevko iz titana ali nerjavečega jekla z elektrolitom iz razredčene H_2SO_4 /1/. ESD (Electro stream drilling) daje fine izvrtine, medtem ko daje najmanjše medsebojne razdalje med izvrtinami ECFD (Electro chemical fine drilling). Pri EJD (electro jet drilling) ni potrebno primikati orodja. Elektrolit v curku pod visokim tlakom povzroča majhne konične izvrtine do globine 1 mm. Primerjava postopkov (tab. 4 /22/) pokaže uporabnost:

Orodje	STEM	ECFD	ESD	FJD
	titan, nerjaveča cev	steklena kapilara z zlato ali Ti vloženo nitko	steklena cev s kapilaro in z zlato ali Ti vloženo nitko	platinska ali steklena šoba
elektrolit	HNO_3 , H_2SO_4	H_2SO_4 , HNO_3 HCl	H_2SO_4 , HCl , HNO_3	H_2SO_4 HNO_3
tlak elektrolita /bar/	3-10	3-20	3-10	10-60
podajanje /mm/min/	1-3,5	1-4	1-3,5	0
premer izvrtine /mm/	0,5-5	0,2-2	0,125-1	0,3-1
maks. relativna globina vrtnanja (L/D)	200	100	50	3
natančnost /mm/	+/-0,05	+/-0,03	+/-0,03	+/-0,05

4.3. Drugi elektrokemični postopki z oblikovno elektrodo

Za elektrokemično brušenje (ECG - Electro chemical grinding) uporabljajo bruse s kovinsko vezjo. Zato je brus električno prevoden. Brus predstavlja katodo ter obdelovanec anodo. Z dovajanjem elektrolita med brus in obdelovanec, ki sta pod električno napetostjo, nastane odzvem z abrazivnim odnašanjem v kombinaciji z učinkom elektrokemičnega odnašanja na površini. Tako se poveča učinek mehničnega brušenja. Brusilna zrna odstranjujejo tudi pasivizirano plast na obdelovancu, ki nastaja pod elektrokemičnim vplivom. Z EC postopkom brusijo predvsem karbidne trdine z diamantnimi in CBN zrni.

Z ECM tudi ostrijo bruse z odnašanjem vezivnega sredstva. Do odnašanja veziva prihaja ob priključitvi brusa na pozitivni pol in elektrode (v obliki pokrova preko brusa) na negativni pol. Obrabljena zrna abrasiva se sprostijo in izpadejo.

Elektrokemično honanje je kombiniran postopek klasičnega honanja z dodatnim elektrokemičnim odnašanjem. Na orodju so kovinske ploskve med abrazivnimi segmenti. Ploskve so pod električno negativno napetostjo napram električno pozitivnem obdelovancu. Hladilno sredstvo je obenem elektrolit.

Pri elektrokemičnem lepanju je proces podoben. Abrazivna zrna so pomešana z elektrolitom, orodje in obdelovanec pa sta pod električno napetostjo. Tako steče proces odnašanja.

V zadnjem času so preskušali tudi elektrokemično obdelavo z impulzi (Electrochemical arc machining (ECAM)). Čeprav se je odnašanje tudi za trikrat povečalo, ostajajo še vedno težave pri krmiljenju procesa. Zato se postopek še ne uporablja v industriji.

Žična elektrokemična obdelava (Wire ECM) se verjetno ne bo prebila kot dopolnilni postopek k žični elektroeroziji, kjer naj bi dobili končne površine brez toplotnih vplivov.

4.4. Elektrokemični postopki brez oblikovne elektrode

Brez oblikovne elektrode se uporablja elektrokemično odnašanje za poliranje in odstranjevanje srha. Elektrokemično poliranje se je obneslo predvsem pri obdelavi bakrovih zlitin in molibdena /3/. Proces teče kot običajno pri elektrokemični obdelavi in se uporablja za obdelavo večjih površin obdelovancev. Obdelovanci, ki imajo srh, se lahko v isti napravi, v eni delovni operaciji, obdelajo tako, da se najprej odstrani srh, nato pa se nadaljuje proces poliranja.

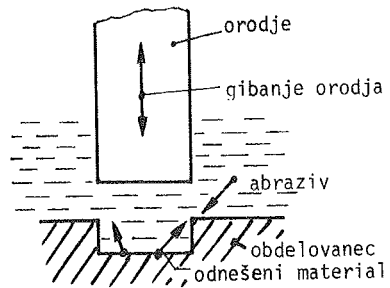
5. Mehanska obdelava z značilnim dovajanjem energije

5.1. Ultrazvočna obdelava (USM - Ultrasonic machining)

Ultrazvočna obdelava nastaja z ultrazvočnim vibriranjem orodja proti obdelani površini (sl. 13). V delovno režo se dovaja abrazivna suspenzija. Nihanja orodja povzročajo udarce ob površino, ki drobijo trd in krhek material na površini. Zato se s tem postopkom obdelujejo steklo, diamanti, karbidi, grafit, polprevodniki itd. Nihanja v procesu (20 do 100 kHz) povzročajo magnetostriktivni ali piezoelektrični pretvorniki z generatorjem (0,1 do 40 kW). Hrapavost, kvaliteta obdelane površine in odnašanje so odvisni

še od velikosti, oblike in trdote abrazivnih zrn.

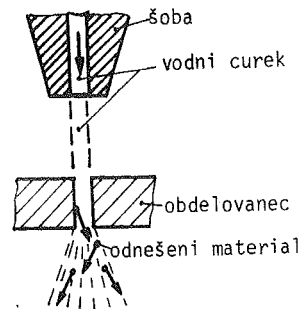
Danes se uporablja ultrazvočna obdelava pri izdelavi grafitnih elektrod za EDM. Drugo novo področje je čisto rezanje termoplastov, gume, tkanin in tudi kevlarja. Ultrazvočne vibracije tudi talijo organski material in obnem vežejo vlakna kompozitov. Ultrazvočno se tudi vari kovine in nekovine ter termoplaste.



Sl. 13 Ultrazvočna obdelava

5.2. Rezanje z vodnim curkom (WJM - Water-jet machining)

Mehanično rezanje povzroča na mehkih ali plastičnih materialih deformacije na mestu rezanja. Zato je za obdelavo teh materialov rezanje z vodnim curkom najprimernejše. Vodni curek pod tlakom (3000 do 4000 bar) z majhnim premerom (0,1 do 0,5 mm) pri veliki hitrosti (600 do 900 m/s) se vodi po poti rezanja (sl. 14). Curek oblikuje šoba iz safirja ali odporne kovine. Najpogosteje režejo na ta način keramiko, papir, usnje, polivinil, titan, kompozite itd. Obdelavo z vodo se lahko uporabi še za čiščenje, odstranjevanje srha in privarjenih kapljic. Z dodajanjem abrazivnih zrn se hitrost rezanja poveča. S tekočinskim curkom se danes tudi ostrijo brusi.



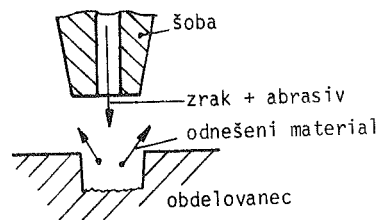
Sl. 14 Obdelava z vodnim curkom

Z NC krmiljenjem curka se lahko reže poljubne oblike z ravnimi reznimi ploskvami. Težave nastajajo pri preciznem vodnjem curku, npr. z robotovo roko /3/.

5.3. Obdelava z abrazivnim curkom (AJM - Abrasive jet machining)

Kompresor tlači zrak v curku, pomešan z abrazivnimi zrnji, na površino obdelovanca (sl. 15). Proces teče sorazmerno počasi, vendar ne vpliva toplotno na obdelovano površino, ker jo sproti hladni dovedeni zrak.

Kot abraziv se najpogosteje uporabljajo zrna aluminijevega oksida ali silicijevega karbida. Problematična šoba, v kateri se tudi mešajo zrak in abrazivni delci, je izdelana iz volframovega karbida ali umetnega safirja. Na odnašanje in kakovost obdelane površine vplivajo /23/ velikosti abrazivnih zrn (...60 μm ..).



Sl. 15 Obdelava z abrazivnim curkom

tlak zraka, smer curka, razdalja med šobo in obdelovancem (2 do 15 mm) in podajanje (0 do 2 mm/s).

Posebna vrsta procesa je pretočna abrazivna obdelava (AFM - Abrasive flow machining), kjer se poltrdi plastični medij pretaka skozi zapletene obdelovance in oblikuje robove in površino v notranjosti izdelka /24/.

AJM se danes največ uporablja v elektronski industriji, za graviranje oznak na površino, za odstranjevanje srha (pri iglah, hidravličnih ventilih, komponentah iz umetnih snovi itd.), končno obdelavo izvrtin itd.

K površinski obdelavi z abrazivnim curkom bi lahko prištevali tudi obdelavo površin s peskom (za čiščenje) ali steklenimi in kovinskimi kroglicami (za glajenje) /1/.

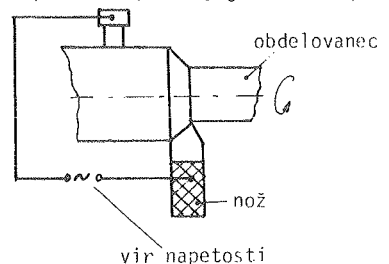
6. Sestavljeni postopki obdelave

K sestavljenim postopkom obdelave prištevamo vse postopke, ki so sestavljeni iz klasične obdelave z dodatnim vplivom posebnega procesa.

6.1. Elektromehanična obdelava

Pri elektromehanični obdelavi vplivamo na obdelovanec z orodjem, ki prenaša silo in dodatno z električnim tokom, ki uporovno segreva obdelovanec na stičnem mestu z orodjem. Posledica segrevanja je mehčanje površine obdelovanca. Pri predpostavki, da mora biti orodje pri povišani temperaturi dovolj obstojno, z orodjem lažje oblikujemo površinsko segreto plast obdelovanca.

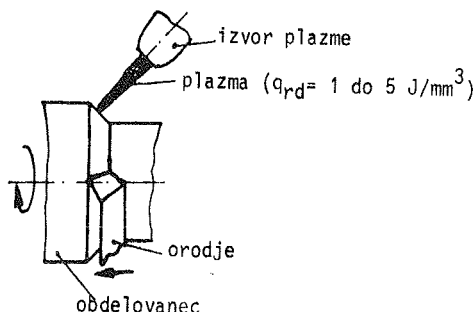
K elektromehaničnim postopkom prištevamo elektromehanično struženje (sl. 16) in elektromehanično glajenje. Za struženje se ustvarja toplota z močnim električnim tokom (300 - 1000 A) pri majhni napetosti (1 - 5 V). Obdelana površina je bolj gladka kot pri klasičnem struženju. Elektromehanično glajenje s pritisko silo in toploto spreminja strukturo in lastnosti obdelovane površine (0,1 - 0,15 mm globoko). Orodje ima obliko valja, ki površino ravna.



Sl. 16 Elektromehanično struženje

6.2. Plazmomehanična obdelava (Plasma beam supported machining)

Pri plazmomehanični obdelavi vplivajo na obdelovanec z orodjem, ki prenaša silo, medtem ko obdelovanec pred mestom mehanske obdelave s plazmo ogrevajo (sl. 17). Tudi tu se površina zmežča pri povišani temperaturi. Zato se poveča obstojnost orodja za več kot 400 % in odvzem preko 60 % /17/.



Sl. 17 S plazmo podprto struženje

6. Sklep

Čeprav je prispevek sorazmerno dolg, je vendar pomanjkljiv v popisu posebnih postopkov obdelave, ki se danes uporabljajo. Posebej so izbrani le tisti načini obdelave, ki se najbolj pogosto uporabljajo ali imajo izgled, da bodo pri nas kmalu vpeljani. Širše so obravnavani postopki, ki so za našo industrijo najbolj pomembni. Osnove in širši popis pa je možno dobiti v drugi literaturi /1, 2, 3, 5/, ki je tudi vir informacij za to delo. Za vpeljavanje ali izpopolnjevanje že uporabljenega postopka je potrebna poglobitev v posamezno področje. Namen prispevka je bil le seznanitev strokovne javnosti z novo uporabo in razvojem posebnih postopkov v informativni obliki.

7. Literatura

- /1/ Roethel F., Posebni postopki obdelave; Strokovne informacije, št. 9, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, 1986
- /2/ Roethel F., Toplotno odnašanje z energijskimi žarki; Seminar 13, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, 1986
- /3/ Snoeys R., Staelens F., Dekeyser W., Current trends in non-conventional material removal processes; Annals of the CIRP, Vol. 35/2/1986, str. 467 - 480
- /4/ Visser A., Zur Wirkweise des Werkstoffabtrages mit Elektronen und Photonenstrahlen, Strahltechnik II, DVS, 1968, str. 173 - 215
- /5/ Koenig W., Fertigungsverfahren, Band 3, Abtragen, VDI-Verlag GmbH, Duesseldorf, 1979
- /6/ Kimmit M.F., Proceedings of the 1st International Conference on the Lasers in Manufacturing, 1983; IFS and North-Holland Publishing Company
- /7/ Strahltechnik, 63, Deutscher Verband fuer Schweisstechnik, Duesseldorf, 1980
- /8/ Koenig W., Aachener Werkzeugmaschinen Kolloquium, Industrie-Anzeiger, Jrg. 106 (1984), nr. 56
- /9/ Drozd Z., Lemanovicsz J., The effect of laser machining parameters on the properties of Integrated circuits; ISEM 7, Birmingham, 1983, str. 157 - 174

- /10/ Krauskopf B., Laser Machining, no Longer Non-Traditional , Manufacturing Engineering, oct. 1984
- /11/ Kulick S., Schoen J., Laser Direct Writing of Metal Interconnects, International Electron Devices Meeting, Dec. 1985, Washington D.C.
- /12/ Sayegh G., Sciaki S.A., Performances and limits of electron beams and laser beams in welding and heat treating of metals; ISEM 7, Birmingham, 1983, str. 175 - 188
- /13/ Crookall J.R., Proceedings of the ISEM 7, Birmingham, 1983
- /14/ Taniguchi N., Research on, and Development of Energy Beam Processing of Materials in Japan, Bull. Japan Soc. of Prec. Engg., Vol. 18, No. 2, June 1984
- /15/ Drozda J.T., Thermal non-traditional machining processes, Manufacturing Engineering, May 1983
- /16/ Ebert K., Plasma-Beschichtung, Werkstatt und Betrieb 115 (1982) 5
- /17/ König W., Weingaertner W., Plasmaunterstützte Warmzerspannung als Lösung für die Bearbeitung hochlegierte Stähle, Industrie Anzeiger, nr. 78-1982
- /18/ - Proceedings of the ISEM 8, Moscow, 1986
- /19/ Garbajs V., Raziskava lokalnih porazdelitev parametrov elektroerozijskega procesa, Fakulteta za strojništvo, disertacija, Ljubljana, 1985
- /20/ Dauw D., On the derivation and application of real-time tool wear sensor in EDM, Annals of the CIRP, Vol. 35/1/1986, str. 111 - 116
- /21/ Saito T., Kishinami T., Konno H., Sato M., Development of numerical contouring control electric discharge machining (NCC-EDM); Annals of the CIRP, Vol. 35/1/1986, str. 117 - 120
- /22/ Breidenbach G., Feinbohren im Flugtriebwerksbau, Industrie Anzeiger, Jg 106, nr.92., 1984
- /23/ Venkatesh V.C., Parametric Studies on Abrasive Jet Machining, Annals of the CIRP, Vol. 33/1/1984, pp. 109-112
- /24/ Rhoades L.J., Advances in Some Specialized Grinding Processes, Milton C.Shaw Grinding Symposium, PED-Vol. 16, ASME 1985, pp. 107-126

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

PROIZVODNA TEHNOLOGIJA IN INTEGRACIJA DELOVNIH SISTEMOV

MANUFACTURING TECHNOLOGY AND INTEGRATION OF WORK SYSTEMS

J. Peklenik

Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, Fakulteta za
strojništvo, Murnikova 2, 61000 Ljubljana, Jugoslavija

Kibernetika
Sinergetika
Fleksibilni obd.sistemi
Celice
Numerično krmiljenje
Robotika
Montaža
Kontrola kvalitete
CAD, CAPP, CAM
Integracija sistemov
Bodoči proizvodni sistemi

POVZETEK: Današnji še bolj pa bodoči razvoj proizvodnih tehnologij sloni na dosežkih znanstvenih disciplin kot so kibernetika in sinergetika, računalništvo in informacijska tehnologija, materiali, fizika procesov, mikroelektronika, mikromehanika, nanotehnologija in konstrukcijska tehnika. Članek obravnava izhodišča za razvoj in integracijo proizvodnih sistemov bodočnosti, podaja kritični pregled doseženega, diskutira vlogo znanstveno raziskovalnega dela na uvajanje novih tehnologij in sistemov v našo industrijo, osvetli stališča naših odgovornih institucij ter industrije za razvoj novih proizvodnih tehnologij. Vloga izobraževalnega sistema v tej zvezi je posebej poudarjena.

KEYWORDS:

Cybernetics
Synergetics
Flexible manuf.systems
Numerical control
Robotics
Assembly
CAD, CAPP, CAM
Systems integration
Factory of the future

ABSTRACT: The future development of the manufacturing technologies will be based on the accomplishments of the scientific disciplines such as technical cybernetics, synergetics, computer and information sciences, materials, physics of manufacturing processes, microelectronics, micromechanics, nanotechnology and desing engineering. The contribution deals with the prerequisites for the development and integration of the production systems of the future, yields a survey of the accomplishments in the foreign industries, discusses the role of the scientific research work related to the introduction of new technologies and systems in our industry, illustrates the attitude of our responsible institutions and industry for the development of new manufacturing technologies. The role of educational system is specially pointed out.

IZHODIŠČA ZA BODOČNOST

Industrije kot so to strojna in elektro, smatramo kot ključne proizvodne dejavnosti, ki najpomembneje prispevajo k gospodarski moči države. Brez teh si ni mogoče zamisliti energetike, transporta, komunikacij gradbeništva in rudarstva, oborožitve obdelave podatkov poljedelstva in ne nazadnje sodobne uprave ter različnih servisnih dejavnosti. Te industrije proizvajajo:

- sredstva za proizvodnjo energije (turbine, generatorji, sistemi za transformacijo in prenos energije, krmilni sistemi);
- transportna sredstva (avtomobili, ladje, letala, železnice, rakete in druge naprave za prevoz oseb in tovorov);
- naprave za komunikacije (telefonske centrale in aparati, televizijske in radijske naprave, sateliti itd.);
- delovna sredstva v gradbeništvu in rudarstvu (stroji za kopanje, prenos zemlje in kamenja, transportna sredstva, dvigala itd.);
- obdelava in prenos podatkov (računalniki, periferija, grafika itd.);
- poljedelska tehnika (traktorji, poljedelski stroji in drugo);
- obdelovalnih in delovnih sistemov (obdelovalnih, preoblikovalnih, merilnih, montažnih strojev, robotov, krmilnikov itd.);

Gotovo je ta zadnja industrijska dejavnost najpomembnejša za nacionalno gospodarstvo saj proizvaja strojev in naprave, ki proizvajajo druge stroje in naprave kot sestavne dele drugih sistemov, ki so navedene zgoraj seveda le v omejenem obsegu.

Raznolikost proizvodov, ki je pogojena z zahtevami tržišča, razvojem znanosti in tehnologije in konkurenčnostjo narekuje stalno inovacijo, tako proizvodov, kot proizvodnih tehnologij in sistemov.

Zaradi zahtev, ki se postavljajo na proizvode glede funkcijske performance, in kvalitete ter čim hitrejšega prenosa novih odkritij v znanosti v proizvodnjo in na trg se pojavlja cela vrsta problemov, ki zahtevajo učinkovito reševanje. Da bi zadostili tem zahtevam razvijamo nove materiale, ki jih uporabljamo za izdelavo komponent novih proizvodov, pri čemer se povečuje njihova kvaliteta in zanesljivost.

Zahteve tržišča, ki se postavljajo na proizvode so naslednji:

- funkcijska performanca,
- kvaliteta in zanesljivost,
- raznolikost proizvodov
- konkurenčnost in s tem optimalni proizvodni stroški

Te zahteve so v bistvu kontradiktorne v nasprotju s konvencionalnimi predstavami o proizvodni politiki, ki je pri nas še vedno globoko zakoreninjena.

Trenutna politika našega industrijskega razvoja prisega na razvoj malih proizvodnih enot kot izhod iz krize. To je sicer ena od poti, kateri pa manjka pomembna komponenta. Namreč, brez signifikantne podpore razvoja novih proizvodov in tehnologij tem proizvodnim enotam ni mogoče uspešno in konkurenčno delovanje teh, še manj pa njihov dolgoročen obstoj na zahtevnih tržiščih. S tem, da se ustvari družbena klima, odstranja administrativne ovire za ustanavljanje proizvodnih enot in dodeljuje določena finančna sredstva je izpolnjen šele en pogoj, ki pa ni zadosten. Drugi potreben pogoj pa je, da morajo biti proizvodne enote vzane na razvojne enote DO, institutov ali univerz. Drugače si dolgoročni ni mogoče zamisliti uspešnega dela teh.

Seveda pa ne more politika ustanavljanja malih proizvodnih enot dati celotnega odgovora na naš bodoči industrijski razvoj v devetdesetih letih in naprej. Naša razvojna politika mora posvečati enako pozornost srednje velikim tovarnam z lastnimi raziskovalno-razvojnimi enotami, ki bodo opremljeni s sposobnimi kadri in sodobno raziskovalno opremo.

Okrepiti našo proizvodno bazo, ki je danes skoraj brezupno zastarela, je imperativ časa in ne dovoljuje nobenega odlašanja več. Pripraviti moramo celovit koncept tovarn bodočnosti pri čemer moramo izhajati iz danih možnosti in omejitev, ki so predvsem konceptualnega kadrovskega in finančnega značaja.

Pred nekako letom dni je ZIS predložil dokument o "Strategiji tehnološkega razvoja Jugoslavije". Ta papir je bil sprejet v Zvezni skupščini, kljub mnogim tehničnim kritikam in predlogom za drugačen pristop v skoraj nespremenjeni obliki. Sestoji se iz dveh delov, in sicer:

- navajanju tehnoloških področij na katerih se bodo v Jugoslaviji vršile raziskave in razvoj. Te zajemajo praktično vse kar je bilo kdaj zapisanega v analih razvoja tehnologij v svetu;
- spremljevalne zakonske mere, ki naj bi olajšale realizacijo sprejetih projektov v smislu npr. lažjega uvoza raziskovalne opreme, komponent, rizičnega kapitala, prioritet pri financiranju itd.

Ne bi imelo smisla še nadalje komentirati tega dokumenta. Počakajmo še nekaj časa, ko bo predložena strategija operacionalizirana in začela spodbujati raziskovalno in razvojno delo v izbranih področjih in smereh. Čas pač ni naš gospodar!

Ena ugotovitev na vsak način velja, in sicer, da predložena strategija tehnološkega razvoja države takšna kot je ne bo dala rezultatov, ki bodo signifikantno ojačili proizvodno bazo našega gospodarstva. Zato ji manjka cela vrsta elementov, ki so vezana na 1. vzgojo kvalitetnih raziskovalcev in razvojnih kadrov, 2. dolgoročno razvojno politiko v realnih okvirjih, 3. sistematično opremljanje laboratorijev s kompetentnimi vodstvi in kritično maso raziskovalcev, 4. bistveno izboljšanje kvalitete kadrov na univerzah in selekcija mentorjev mladim raziskovalcem, 5. ustanavljanje kvalitetnih podiplomskih šol za področja tehničnih in naravoslovno matematičnih ved, 6. signifikantno izboljšanje kadrovske politike pri rekrutuiranju direktorjev TOZD, DO in SOZD-ov, 7. sistematično formiranje razvojnih enot in institutov v DO z ustvarjalnimi vodstvi teh enot in 8. odstraniti administrativne ovire vseh vrst za uvoz raziskovalne in razvojne opreme in komponent, ki jih SIS-i in državna uprava izumljajo in služijo samo zaviranju našega razvoja.

To pomeni, da zavisi strategija renesanse proizvodnje od bistveno večjega števila izredno pomembnih komponent kot pa meni omenjeni skupščinski dokument.

V nadaljnjih izvajanjih bom skušal prikazati kompleksnost problematike razvoja bodočih tovarn, ker je namreč smiselno diskutirati celoto, ne pa neke parcialne rešitve. Proizvodno bazo tvorijo namreč tovarne, ki proizvajajo na industrijski način zgoraj navedene proizvode in sisteme.

Dosedanji koncepti naših tovarn so osnovani pretežno na predvojnih proizvodnih tehnologijah med katere spada delavniški način proizvodnje in Detroitška avtomatizacija. Delavniški način, ki obvladuje predvsem individualno in malo in -srednje serijsko proizvodnjo je prevladujoč in znaša v Sloveniji okoli 85 %. Ostala je velikoserijska in masovna proizvodnja, ki je večinoma močno avtomatizirana po principu t.i. fiksne ali Detroitške avtomatizacije /PEKL74/.

Danes stojimo pred vprašanjem kako razvijati tovarne bodočnosti iz sedanjih, ki imajo izrazit delavniški način proizvodnje. Tudi te bo potrebno koncipirati tako, da bodo delovni procesi v pogojih individualne, malo-serijske in sredneserijske proizvodnje potekali bistveno bolj učinkovito, da bo izkoristek delovnih sredstev namesto današnjih 10 % vsaj 70 % do 80 %, da se bo dvignila kvaliteta in zanesljivost proizvodov, ki pomembno zavisi od proizvodnih procesov in informacijskega sistema itd. in da bodo proizvodni stroški takšni, da bodo proizvodi po ceni konkurenčni na svetovnih tržiščih brez, da bi to konkurenčnost moral plačevati delavec s svojimi nizkimi osebnimi dohodki.

Ne nazadnje bomo morali odgovoriti na vprašanje kako izoblikovati bodoče male proizvodne enote visoke tehnologije kot komplementarne celice naših bodočih proizvodnih struktur. Naključno nastajanje malih proizvodnih enot, kot ga danes nekateri ideologi načrtujejo je obsojeno na neuspeh, če ne bo prevladala pri reševanju teh vprašanj kreativna strokovnost namesto političnega volontarizma.

Znano je, da proizvodne industrije prispevajo do 75 % k bruto nacionalnemu dohodku. Zato mora biti prva prioriteta strategije tehnološkega razvoja Jugoslavije zasnova renesanse proizvodnih sistemov in raziskovalno-razvojno delo na problematiki koncipiranja tovarn bodočnosti. Te bodo morale biti zgrajene na sodobnih rešitvah, ki jih ponujajo kibernetika, sinergetika, informacijska znanost, umetna inteligenca, mikroelektronika, materiali in druge relevantne discipline.

Da bi lahko ocenili problematiko razvoja bodočih tovarn in zahteve, ki se s tem postavljajo na strategijo tehnološkega prodora bodo v naslednjem prikazani že obstoječe rešitve ali rešitve v pripravi. Kot primer sem izbral

japonsko tovarno TOYOTA MOTOR CORP. za izdelavo osebnih avtomobilov in vseh spremljajočih proizvodnj orodij in priprav /TOYOTA87/. Z ozirom na število avtomobilov, ki jih ta tovarna pošilja letno in je ca 3,000.000 enot, in število različnih variant vozil, ter dejstvo, da teče proizvodnja tako kot prihajajo naročila in zahtevo, da so komponente, materiali in drugi elementi na mestu montaže ravno v pravem času ali kot pravijo "just in time" potem je jasno, da tudi v primeru avtomobilske proizvodnje ni moč govoriti o velikih serijah ali celo masovni, temveč o neke vrste srednjeseerijski proizvodnji.

KONCEPT RAČUNALNIŠKO KRMILJENE IN INTEGRIRANE PROIZVODNJE AVTOMOBILOV TOYOTA

Na sliki 1 je prikazan integrirani sistem za računalniško podprto konstruiranje CAD in računalniško podprto proizvodnjo CAM. Sistem CAD/CAM je razdeljen na pet nivojev in sicer: 1 - stilno dizajniranje; 2 - konstrukcija in izračun nosilne šasije; 3 - konstruiranje utop in orodja za prešanje; 4 - izdelava podlog za obdelavo utop in orodij za prešanje in izdelavo referenčnega modela; ter 5 - izdelava priprav in kontrolnih meril. Informacijski tokovi in medsebojne povezave med posameznimi dejavnostmi so razvidne iz slike 1.

Da bi povečali učinkovitost konstrukcijskega procesa so pri TOYOTA razvili v letu 1981 izboljššan CAD-sistem CADETT, slika 2. Ta omogoča: 1 - predstavitev oblikovnih elementov in stilno oblikovanje objekta; 2 - kvantitativno ocenitev kvalitete stilno oblikovanih površin in 3 - generacijo krivulj površin pri minimalni količini outputnih podatkov.

S pomočjo VESTA programov je možno analizirati dinamiko, trdnost, toplotne razmere itd. v vozilu pod obremenitvijo.

Poseben problem predstavlja CAD-konstruiranje utop za prešanje pločevinastih delov avtomobila. Razvit je bil CAD sistem za te vrste dejavnosti, ki je prikazan na sliki 3. Iz shematičnega prikaza dejavnosti je razviden potek nastajanja tehnične dokumentacije za izdelavo velikih utop. Baza podatkov o šasiji vsebuje poleg izračunanih vrednosti tudi izkustvene podatke, kar je izredno pomembno za učinkovitost konstrukcijski in izdelovalni proces.

Planiranje tehnoloških procesov in računalniško podprta obdelava utop zahtevata posebno CAM-bazo podatkov. Njena struktura je prikazana na sliki 4. Ta vmesnik med CAD in CAM predstavlja povezavo med tema dvema procesoma in od kvalitete izdelave utop zavisi vernost prenosa modela avtomobila oz. njegove oblike v realnost in s tem tudi v realno proizvodnjo.

Za samo izdelavo utop je bil razvit TINCA sistem, ki je prikazan na sliki 5 in vsebuje vse detajlne informacije o zgradbi tega sistema.

Integrirani CAD/CAM sistem (slika 1) omogoča upravljanje razvoja in proizvodnje osebnih avtomobilov z visoko fleksibilnostjo v kratkem času. Iz te predstavitve je razvidna vsa širina problematike strukturiranja in integracije fleksibilnih obdelovalnih sistemov kot delov tovarn bodočnosti.

Pri tem pa moramo opozoriti na centralno vprašanje integracije industrijskih mikroprocesorskih krmilnikov z grafično opremo za CAD in splošno računalniško opremo, ki jo uporabljamo pri izgradnji informacijskega sistema, baze podatkov in znanja ter krmiljenja celotnega proizvodnega sistema ali po domače tovarn.

ZGRADBA CNC- IN PC-KRMILNIKOV

Industrijski krmilniki se sestojijo praviloma iz treh med seboj povezanih enot in sicer:

- CNC-enote
- PC-enote in
- MMC-enote krmilnik-človek-stroj.

Slika 6 ponazarja strukturo in funkcije teh enot v okviru industrijskega μ P-krmilnika.

CNC-enote se danes grade na eni plošči z namensko visoko integracijo (LSI in hibridno IC) namestitelnimi okviri (RAM), realizacijo paralelnega visokohitrostnega procesiranja z uporabo multi CPU-metode itd. S takšno gradnjo CNC-enot se dosega visoke hitrosti podajanja do max 24 m/min, kompenzacije, visoko zanesljivost ter druge ugodne performančne karakteristike.

PC-krmilniki s programiranjem postajajo pomembni posebno pri realizaciji CIM-koncepta. Njegova osnovna zgradba je prikazana na sliki 7.

S povečano integracijo sistemov se uveljavljajo tkzv. distribuirani PC-sistemi, ki omogočajo krmiljenje najrazličnejših funkcij strojev in naprav, kot je shematično prikazano na sliki 8.

INTEGRACIJA SISTEMOV V CIM

Iz zgornje diskusije je razvidna širina in kompleksnost problema integracije posameznih enot in modulov v sistem, ki bo skladno in učinkovito deloval. Prvi se je tega zavedel GENERAL MOTORS, ki je pričel v letu 1979 z razvojem t.i. MAP (Manufacturing Automation Protocol) in TOP (Technical Office Protocol).

MAP predstavlja skupino pravil, ki urejajo konverzacijo med računalniki, ki krmilijo različne elemente, enote in module strojev, transportnih naprav, strežnih naprav, robotov itd. preko lokalnih mrež (LAN).

TOP je produkt BOEING-a in je bil razvit za povezavo konstruktorjev, risarjev, inženirjev, ki delajo v tehničnih birojih z CAD-opremo in so povezani preko MAP in LAN v proces odločanja in krmiljenja.

Na sliki 9 je prikazan sedemnivojski model OSII (Open System Interconnection) za MAP in TOP. Za posamezne nivoje so bili določeni standardi, ki so navedeni na sliki ločeno za oba protokola. S temi standardnimi vmesniki in odgovarjajočimi programi bo možno povezati različno računalniško opremo in krmilnike, ki imajo različne operacijske sisteme.

Zahteve, ki se postavljajo na LAN komunikacijski sistem so:

- maksimalni dovoljeni čas prenosa
- obseg podatkov, ki se jih prenaša
- volumen referenčnih podatkov
- metoda pristopa
- zanesljivost
- LAN struktura (radialna, obročna, bus)
- redundance
- lastni nadzor

- kompatibilnost
 - OSII 7 nivojski model
 - fizikalni nivo
- ekonomska učinkovitost
 - cena/terminal
 - instalacijski stroški
 - stroški vzdrževanja

NIVO	TOP - STANDARD	MAP - STANDARD
7 UPORABA (APPLICATION)	ISO FTAM (DP) 8571 File Transfer Protocol	ISO FTAM (DP) 8571 Manufacturing Messaging Format Standard (MMS) v CASF
6 PRIKAZ (PRESENTATION)		
5 KOMUNIKACIJSKO KRMILJENJE (Session)	ISO Session (IS) 8327 Session Kernel; Full Duplex	
4 TRANSPORT (Transport)	ISO Transport (IS) 8073 Class 4	
3 PRENOS (Network)	ISO Internet (DIS) 8473 connectionless	
2 VAROVANJE (Data Link)	ISO Logical Link Control (DIS) 8802/2 (IEEE 802.2) Type1, Class 1	
1 PRENOS Bit-ov (Physical)	ISO CSMA/CD (DIS) 8802/3 (IEEE 802.3) CSMA/CD Medium Access Control	ISO Token Passing Bus (DIS) 8802/4 (IEEE 802.4) Token Passing Bus Medium Access Control

Slika 9: Sedemnivojski model OS00-ISO za MAP in TOP /BOE186/

LAN tehnologijo lahko uvajamo samo korak za korakom in zato so predpisani posamezni integracijski koraki. Te podrobnosti nas bi privedle predaleč.

Za ilustracijo sistema prikazuje slika 10 proizvodni sistem z najrazličnejšimi enotami povezanimi v TOP in MAP /PEKL87/, kar jasno kaže na dimenzije problema integracije v računalniško integrirani proizvodnji. Ta situacija nam bo služila kot izhodišče za nadaljnjo diskusijo.

KAKšno POLITIKO STRATEGIJE TEHNOŠKEGA RAZVOJA POTREBUJEMO?

Iz prikazanih rešitev in smeri strukturiranja bodočih proizvodnih sistemov sta razvidni zahtevnost in širina znanstvene, tehnološke, kadrovske in finančne in upravne problematike. To pa pomeni, da mora učinkovita politika strategije tehnološkega razvoja države še posebno Slovenije,

kjer so pogoji za renesanso proizvodnih industrij po sodobnih konceptih tovarn bodočnosti že dani, zajeti bistveno širše mere, kot jih predvideva zvezni sekretar za znanost in tehnologijo v navedenem papirju. Uvodoma so bile te mere že naštetе. Z ozirom na prikazano kompleksnost problematike jih lahko podrobneje analiziramo.

1. Dolgoročna politika raziskav in razvoja področij relevantnih za razvoj novih produktov in tehnologij in proizvodnih sistemov. RSS je pred dvema leti določila nekatere prioritete smeri raziskovalnega dela v Sloveniji in definirala nekaj usmerjenih programov, ki so relevantni za prestrukturiranje slovenskih proizvodnih industrij, kot so strojna, elektro, kovinsko predelovalna, kemična, farmacevtska, lesna in druge. Usmerjeni program "Proizvodna kibernetika, obdelovalni sistemi in robotika" je v celoti naravnán na raziskave in razvoj novih proizvodnih sistemov oz. tovarne bodočnosti in novih visoko-tehnoloških proizvodov. Ta program teče v petnajst let in je doprinesel mnogo k prestrukturiranju in inovaciji proizvodnih kapacitet v Sloveniji. Usmerjeni program "Konstrukcijska tehnika", ki je bil pred dvema letoma formiran je tudi eden od tistih, ki bo pripravil na področju projektiranja in konstruiranja s pomočjo računalnika k modernizaciji bodočih tovarn. Med ostalimi URP-ji naj omenim še URP - Računalniški sistemi, umetna inteligenca, digitalni telekomunikacijski sistemi in mreže, ki se delno vključujejo po svoji tematiki v koncept bodočih tovarn oz. rešujejo nekatere probleme teh.

Na teh področjih raziskovalnega dela je potrebna dolgoročna politika in kontinuirano prioriteto financiranje s strani RSS, kakor tudi s strani ZD, če hočemo resnično vkorakati v bodočnost na proizvodnem sektorju. V Sloveniji imamo vsaj pet do šest sposobnih raziskovalnih timov, ki jih vodijo raziskovalci z mednarodno reputacijo in velikost teh timov dosega kritično maso. Tudi opremljenost z računalniško in raziskovalno opremo je dokaj dobra, čeprav še vedno preskromna.

Drugo vprašanje, ki ga moramo rešiti pa je vprašanje integracije prioriteten URP v usmerjeni integrirani program: "Tovarna bodočnosti", tako bi ga lahko imenovali. Nad takšnim projektom mora biti močno zainteresirano ZD, če želi doseči učinkovito prestrukturiranje in modernizacijo proizvodnih kapacitet in organizacijo proizvodnih dejavnosti

za naslednje desetletje.

S tem ko plediram za takšen program in naravnost in kontinuiteto raziskovalne politike seveda ne zanikam potrebe tudi po drugih raziskavah, ki pa morajo imeti podobne intencije, vendar smatram, da je okrepitev in modernizacija proizvodne baze za Slovenijo odločujočega pomena.

2. Vzgoja kadrov

Tovarn bodočnosti brez vrste prav izobraženih in kvalitetno šolanih kadrov ne bo! To velja za vse profile od srednješolskih do visokošolskih. Na žalost je potrebno ugotoviti, da je z nekaj let staro šolsko reformo srednjih in visokih šol bila prizadejana škoda, ki jo bo težko popraviti. To lahko utemeljim z naslednjimi argumenti. Pri tem se želim omejiti seveda samo na tehnična področja relevantna za bodočo industrijsko proizvodnjo.

V srednjih šolah je bil odpravljen t.i. dualizem šolanja, kar pomeni, da so bile ukinjene poklicne šole, ki so izobraževale delavce v poklicih kot so: orodjarji, finomehaniki, obdelovalci materialov, varilci, električarji itd. Namesto poklicne učne dobe, ki je trajala za te poklice praviloma tri leta in dala učencem dovolj kvalitetnega znanja za ročna dela se je ustanovil dokaj nedoločljiv šolski miks, ki ni mogel proizvajati delavcev - realizatorjev. Mladi raziskovalci, ki so šli in gredo skozi reformirano srednjo šolo z namenom, da se zaposle v enem od teh učnih poklicev z pretežno manualnim delom niso sposobni pričetka dela po doseženem zaključnem izpitu, kot je bilo to v prejšnji vajeniški šoli slučaj, temveč morajo DO praviloma "došolati" te delavce v naslednjih nekaj letih, če žele, da bodo prišli na isti strokovni nivo, kot njihovi vrstniki iz prejšnjih vajeniških šol. Zaradi dokaj nesistematičnega pristopa došolanja v DO je kvaliteta teh delavcev seveda dokaj vprašljiva. Zavedati se pa moramo krutega dejstva, da ne bo mogoče prestrukturirati industrijske proizvodnje brez kvalitetnih delavcev - realizatorji strojev, naprav, sistemov.

Drugi del spektra izobraževanja kadrov za inovacijsko družbo pa predstavlja višje in visokošolski študij. Mnogo opevana reforma univerz je obtičala v blatu napihnjenih programov dodiplomskega študija in nekakšnih navideznih specializacij, ki jih nobena ustanova noče financirati. Iz zopet govorimo o ponovni reformi univerze, o novem uni-

verzitetnem zakonu in drugih administrativnih merah, ki niso nikdar prispevali kaj bistveno k inoviranju študijskih procesov, ustvarjale so pa dokajšnjo vodeno glavo za upravljanje povprečja.

3. Kvaliteta kadrov na univerzah

Eden od osnovnih pogojev za dvig kvalitete študija in kvalitete študijskih konceptov je bistveno izboljšanje učiteljskih kadrov na univerzi ter njihova njihova pomladitev posebno sodelavcev. Z akcijo 2000 raziskovalcev je RSS ustvarila pogoje za ta korak, kar je izredno ugodno vplivalo na razpoložanje, motivacijo in usmeritev k ciljem pri mladih sodelavcih. Še vedno se pa ni veliko premaknilo pri ocenjevanju kvalitete učiteljev saj se jih večji del na tehničnih fakultetah nikakor noče primerjati z mednarodnimi merili, ki zelo jasno definirajo kvaliteto univerzitetnega učitelja. O tem je bilo napisanega že tudi nekaj npr. /PEKL85/. Menim, da je delovanje univerzitetnega učitelja opisano takole "da mora učitelj skozi lastno originalno raziskovalno delo prenašati nova spoznanja na svoje študente". Noben sistem si drugačnega univerzitetnega učitelja ne more privoščiti, če želi preživeti in živeti v skupnosti z napredkom.

Tudi na tem področju so potrebni odločni koraki in ukrepi, ki bodo prispevali k realizaciji strategije tehnološkega razvoja in so njen pomemben del.

4. Vodstva in raziskovalne enote delovnih organizacij

Vsa strategija tehnološke inovacije industrijske proizvodnje bo stala ali pa padla z prenosom znanja iz raziskovalnih enot univerz in institutov v industriji in z lastno razvojno ustvarjalnostjo v DO. Priča smo, da v Sloveniji pretežno del DO nima lastnih raziskovalnih in razvojnih kapacitet, če jih pa ima so prešibke in pretežno zaposlene z vsakdanjimi rutinskimi nalogami. Direktorji DO, ki jih praviloma postavljajo občinske strukture, niso osveščeni o tem kakšen pomen ima kontinuirano razvojno delo za njihov nadaljnji obstoj. Pa tudi prava izobrazba jim manjka, saj so nekakšni univerzalci, ki so se selili od ene funkcije na drugo, od direktorja kokošje farme na direktorsko mesto DO, ki osvaja proizvode visoke tehnologije. Dogaja se tudi, da so vodje raziskovalnih oddelkov postavljeni na ta mesta po neprimernih kriterijih, vsekakor ne strokovnih, po formalni izobrazbi, pogosto tudi z nižjimi diplomami kot njihovi sodelavci v raziskovalno razvojni enoti. Tudi

takšne situacije mnogo doprinašajo k zaviranju inovacij in prodoru novih idej pri koncipiranju proizvodnih sistemov. Nauk, ki ga moramo potegniti iz te dokaj kuriozne situacije je tale. Sestavni del strategije tehnološkega razvoja predstavlja mere, ki bodo omogočile realizacijo propustnih vmesnikov med znanostjo in proizvodnjo. Sistematično zdravljenje kadrovskih zablod in organizacijskih šibkosti spada med poglavitne ukrepe za boljše in učinkovitejše izkoriščanje znanstvenih in razvojnih dognanj.

5. Vpliv administracije na izgradnjo kvalitetne raziskovalne baze

Sodobna raziskovalno-razvojna problematika zahteva poleg kvalitetnih kadrov tudi kvalitetno raziskovalno opremo, računalnike in enostaven ter hiter dostop do nabave komponent, ki jih potrebuje razvijalec za izdelavo prototipov. Odgovarjajoče službe zvezne administracije vodijo, sodeč po bridkih izkušnjah, pravo gverilsko vojno proti učinkovitemu reševanju te problematike, brez katere ni mogoč nikakršen kvaliteten industrijski razvoj. Uvoznikom opreme nalagajo nesmiselne, nelogične in v nedogled trajajoče administrativne postopke pridobivanja najrazličnejših papirjev, soglasij, dovoljenj, deviznih pravic itd. Nabava prepotrebne opreme se vleče tako dolgo, da izdelovalci naročene opreme že razvijajo in izdelujejo nove modele, mi imamo pa še vedno naročene stare izvedbe. Na ta problem je bilo že nešteto krat opozorjeno na najrazličnejših nivojih. Administracija pa še kar lepo žaga vejo na kateri sedimo, kot da se je to prav nič ne tiče.

Pred letom dni so bili v okviru ZIS-papirja o "Strategiji tehnološkega razvoja Jugoslavije" navedeni tudi spremljajoči ukrepi, ki naj bi to stanje spremenili in omogočili uvoz raziskovalne opreme in komponent kot eni od prvih priorit. Zvezni mlini pa meljejo zelo počasi in vprašanje je kdaj bomo postali pametnejši.

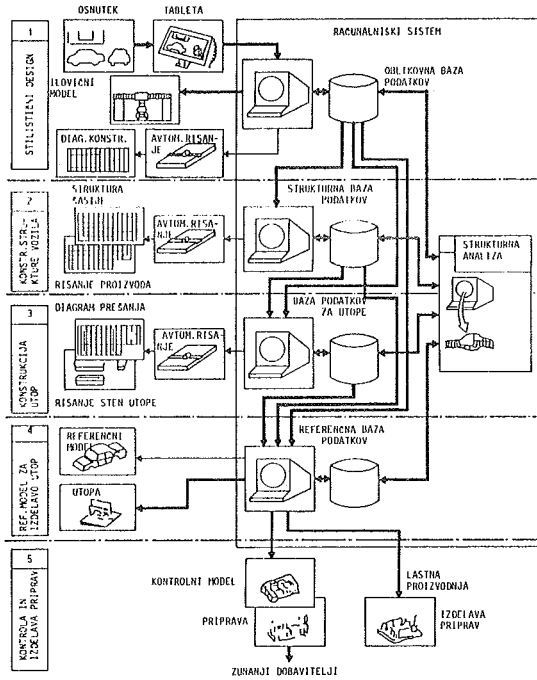
NAMESTO ZAKLJUČKA

Strategija tehnološkega razvoja je strategija boja za preživetje in prostor na soncu na izredno kompleksnem bojišču v mednarodni areni. Ta strategija mora biti osredotočena na krepitev proizvodne baze in zahteva intenzivno

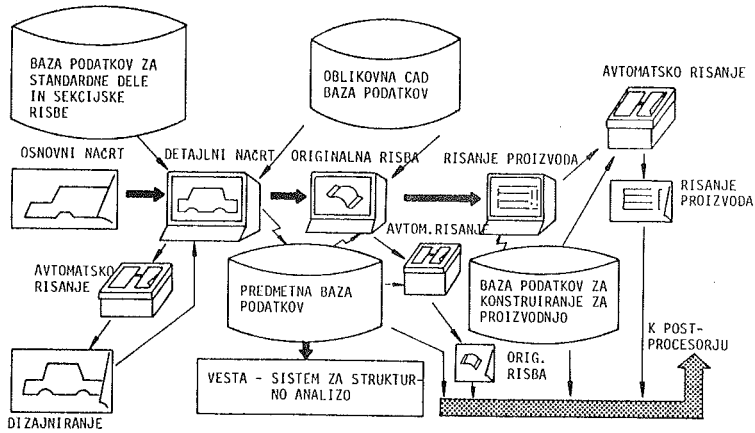
in odgovorno angažiranje vseh sil. To ni samo vprašanje politike in znanosti temveč tudi kulture! In mi si ne moremo privoščiti ničesar manj, če hočemo preživeti kot narod.

LITERATURA

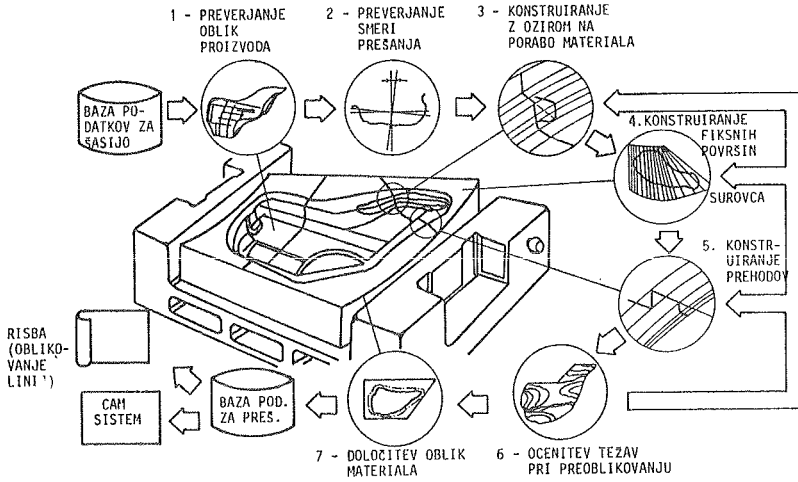
- /PEKL75/ Peklenik J.: Proizvodna kibernetika - njen vpliv na tehnični in tehnološki razvoj in produktivnost, Zbornik X.posvetovanja Proizvodno strojništvo, Beograd, 1975, PK 01-53.
- /PEKL85/ Peklenik J.: Kakšna reforma Univerze, Naši razgledi, 1985, december.
- /TOY087/ TOYOTA MOTOR CORP: CAD/CAM for Automaking at TOYOTA, Metalworking Engineering and Marketing, March pp.40-43.
- /PEKL87/ Peklenik, J: CIM - Koncept integracije in krmiljenje proizvodnih sistemov kot strateška usmeritev razvoja bodočih tovarn, Zbornik 15.seminarja LAKOS-a, Računalniško integrirana proizvodnja, strateška smer razvoja bodočih tovarn, 1987, str. 1-26.



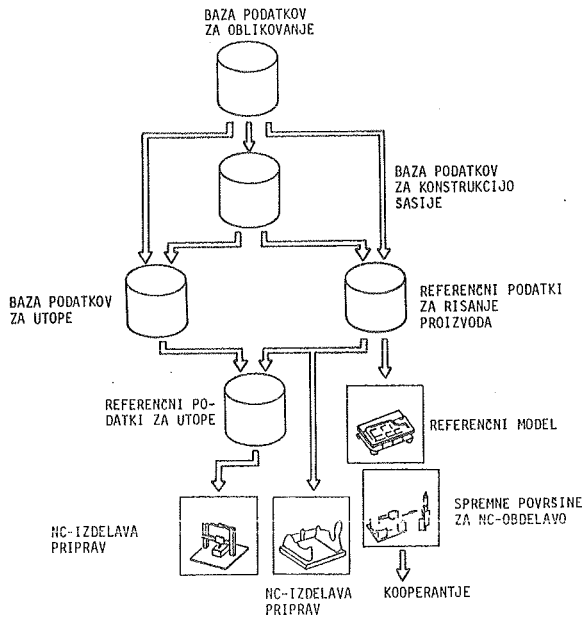
Slika 1: Integrirani CAD/CAM sistem TOYOTA



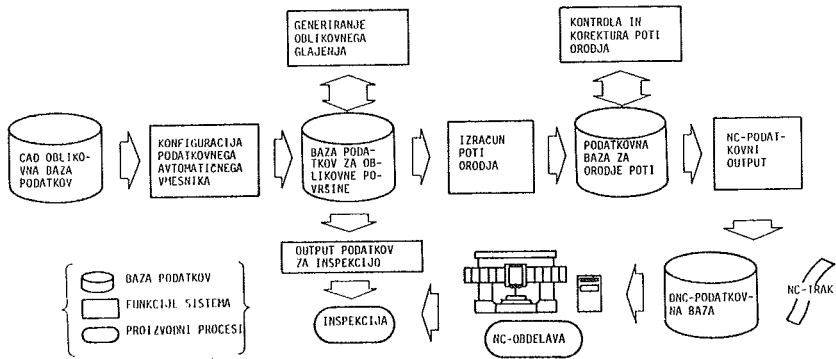
Slika 2: CADETT-sistem TOYOTA



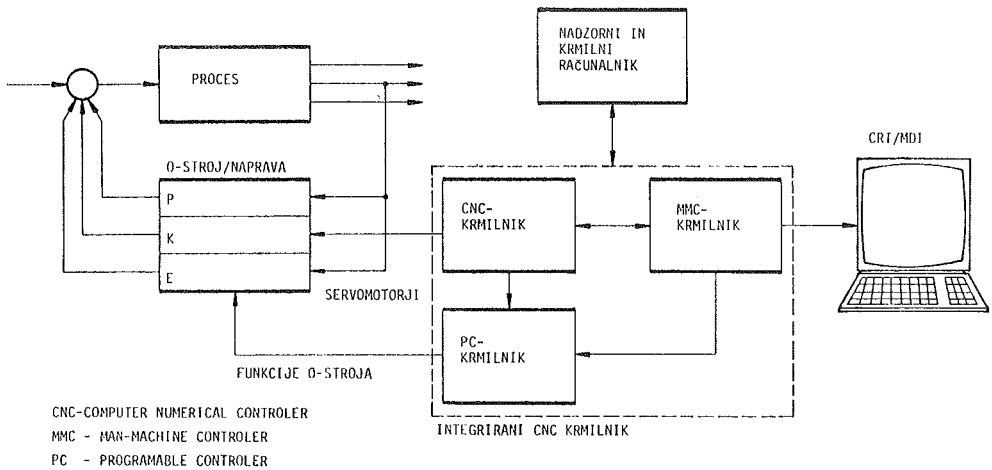
Slika 3: CAD-sistem za utope TOYOTA



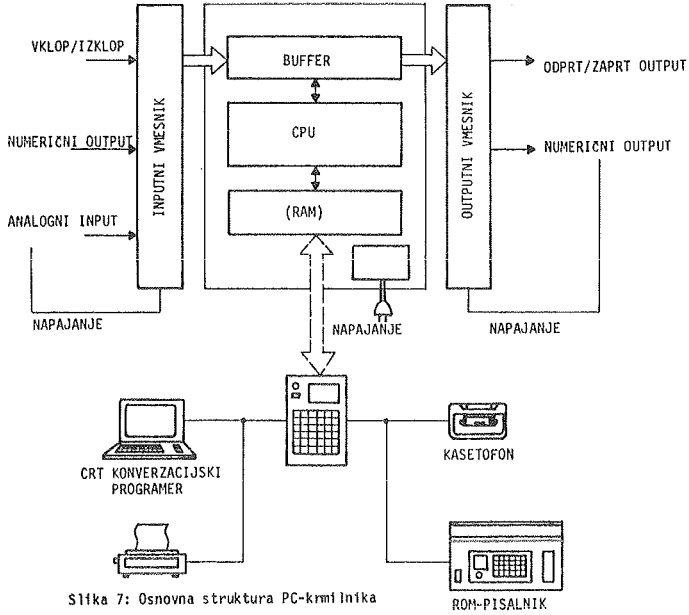
Slika 4: Standardna baza podatkov



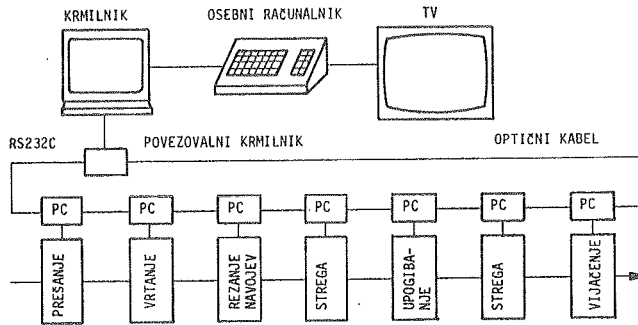
Slika 5: TINCA CAD/CAM sistem



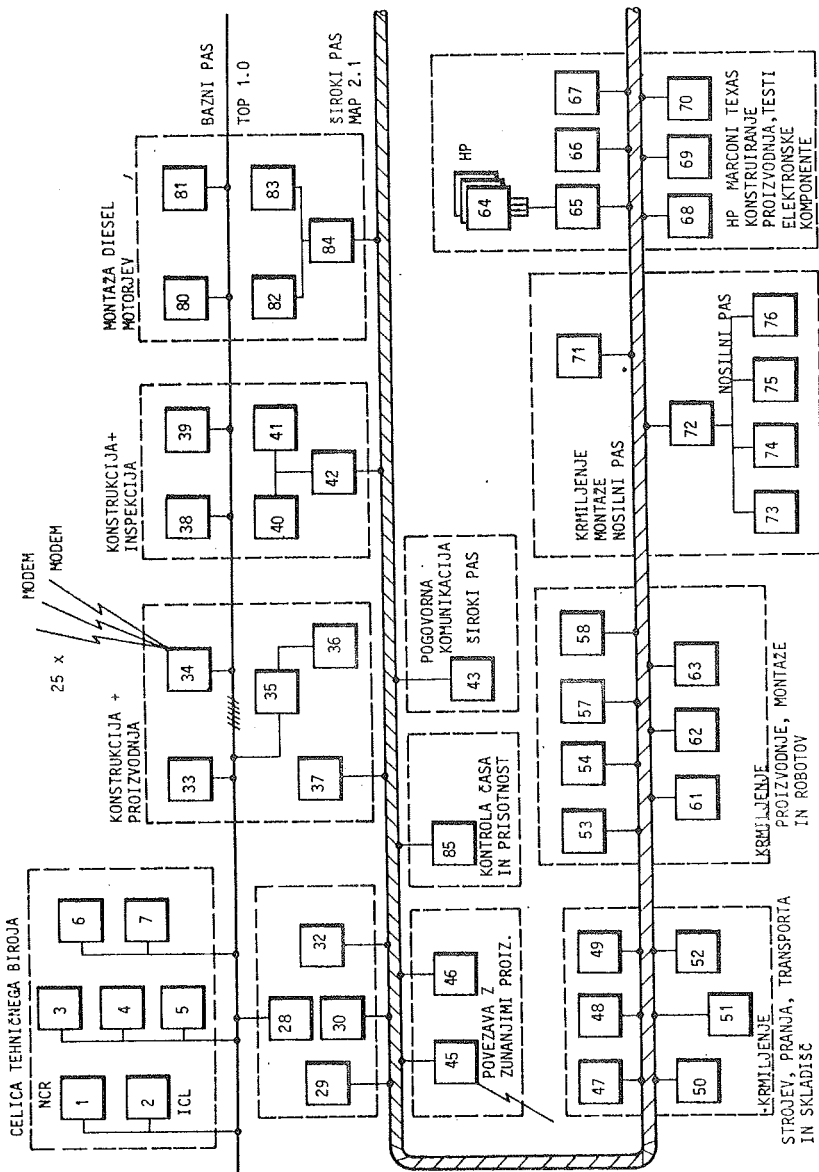
Slika 6: Integrirani CNC-krmilnik CNC/MMC/PC



Slika 7: Osnovna struktura PC-krmilnika



Slika 8: Distribuirani PC sistem



Slika 10: CIM-MAP/TOP mreža tovarne dieseli motorjev

POJASNILO K MAP/TOP-SHEMI
CELICA TEHNIČNI BIRO

- 1 - CITALEC OBLIK ICL
- 2 - ENOTA Z IZHODOM K BAZI PODATKOV IN TISKALNIKU
- 3 - PERQ Z IZHODOM K BENSON RISALNIKU ICL
- 4 - AUTOCAD "GTO" OLIVETTI
- 5 - SIGMEX - DELOVNA POSTAJA HCR
- 6 - PC/IBH-AT
- 7 - PC/IBH-AT

PREMOS PODATKOV IZ KONSTRUKCIJE V PROIZVODNJO

- 28 - CAD/CAM - DELOVNA POSTAJA
- 29 - DEC PDP/11 - DEKEL
- 30 - CINCINHATI-MILACRON KRMILNIK ZA ROBOT ZA MANIPULACIJO Z MATERIALOM
- 31 - DELOVNA POSTAJA V PROIZVODNJI

KONSTRUKCIJA IN PROIZVODNJA

- 33 - CAPP/FORTUNE
- 34 - POVEZAVA Z ODDALJENIMI DELOVNIMI MESTI
- 35 - DELTACAM
- 36 - KOORDINATNI MERILNI STROJ "FERANTTI"
- 37 - OBDELOVALNI CENTER "GE 2000"

KONSTRUKCIJA IN INSPEKCIJA

- 38 - PERQ "DIAD" DELOVNA POSTAJA
- 39 - PERQ "QHC" DELOVNA POSTAJA
- 40 - INSPEKCIJA Z IZMETIM VIDGH
- 41 - KRMILJENJE Z ROBOTOM
- 42 - MOTOROLA SISTEMA 121

MONTAZA MOTORJEV

- 60 - VIP REGISTRACIJA IN SPREJEM HAROCIL
- 61 - VIP APLIKACIJSKA KONTROLA IN KRMILJENJE
- 62 - SIMULACIJSKI DISPLAY IPC 629
- 63 - MODELNE IN INDUSTRIJSKE INPUTNE NAPRAVE
- 64 - MLC 1250 - HONEYWELL

POVEZAVA Z ZUNANJIMI PROIZVAJALCI

- 45 - PSS X-25 POVEZAVA Z ZDA
- 46 - VAX 6300

KONTROLA ČASA IN PRISOTNOSTI

- 65 - CITALEC MAGNETNIH KART

POGOVORNA KOMUNIKACIJA

- 43 - OPERATER Z MIKROFONOM IN SLUSALKAMI

KRMILJENJE STROJEV, NAPRAV ZA PRANJE TRANSPORTA IN SKLADIŠČ

- 47 - IBM/PC
- 48 - IBM/PC
- 49 - IBM/PC
- 50 - ROBOTSKI PALETIZER + OBDELOVALNI STROJ
- 51 - INDUKTIVNO VODENI VOZICEK
- 52 - PRALNA CELICA

KRMILJENJE PROIZVODNJE, MONTAZE IN ROBOTOV

- 53 - KRMILJENJE MONTAZE
- 54 - KRMILJENJE PROIZVODNJE
- 57 - KRMILJENJE MONTAZE
- 58 - KRMILJENJE PROIZVODNJE
- 61 - MONTAŽNA CELICA
- 62 - FMS
- 63 - FMS

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

BAZA PODATAKA/ZNANJA U KOMPJUTERSKI INTEGRISANIM FABRIKAMA
DATA/KNOWLEDGE BASE IN COMPUTER INTEGRATED FACTORIES

Ž. Spasić Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu
G. Putnik 27. marta 80, 11000 Beograd, Jugoslavija
V. Milačić

Ključne riječi: SAŽETAK: Nove informacione tehnologije predstavljaju osnovu za kompjutersko integrisanje svih aktivnosti u fabrikama CIM (Computer Integrated Manufacturing) koncepta. Integrirani kompjuterski sistemi su bliska realnost u kojoj treba objediniti tehnologije, opremu, organizacione jedinice i informacione resurse proizvodne organizacije. Način na koji ekspert-sistemi koriste podatke bitno se razlikuje od principa sistema baza podataka. Za optimalno projektovanje baza podataka/znanja kao i informacionih tokova u CIM sistemima od značaja je razrešenje problema medju - prostora (interface) podataka za integraciju inteligentnih sistema sa bazom znanja i sistema baza podataka.

Kompjuterom in-
tegrirani sis-
temi
Baza podataka
Baza znanja
Informacioni si-
stemi
Kompjuter

U radu se daje prikaz uspostavljene metodologije za projektovanje baze podataka, načina organizovanja znanja u ekspert-sistemima sa deduktivnim komponentama za donošenje odluka kao i sadržaja medjuprostora podataka za integrirani sistem baze podataka/znanja. Detaljnije se navodi primer hijerarhijski strukturisanog podsistema informacija za upravljanje transportom pomoću robokolica.

Key words: ABSTRACT: Advanced information technologies are the basis for computer integration of all activities in the factories of Computer Integrated Manufacturing (CIM) concepts. Integrated computerized systems are the close reality that has to unite technologies, equipment, organization and informations of one production organization. The way an Expert System uses its data is very different from what a data base system is designed for. During the optimal design of data/knowledge base and information flow in CIM systems it is important to solve the problem of data interface for integration between knowledge base intelligent systems and data base management systems.

Computer Integra-
ted Manufactu-
ring Systems
Data Base
Knowledge Base
Information sy-
stems
Computer

This paper describes the methodology of data base design, knowledge representation in Expert Systems with decision making capabilities as well as the contents of data interface for an integrated data/knowledge base system. The example of hierarchical structured subsystem of information for the AGV (Automated Guided Vehicle) traffic control is discussed in some detail.

1. INFORMACIONI PROSTOR I INTEGRACIONI ELEMENTI

Osnovne integracione elemente informacionog prostora prikazanog na slici 1 čine podaci/informacije, komunikacioni sistemi i komunikacioni medjuprostori. Navedeni elementi su osnova za kompjutersko integrisanje svih aktivnosti u fabrikama budućnosti što drugim rečima znači da proizvodne tehnike i tehnologije moraju da prihvate izazov novih informacionih tehnologija.

Podaci i informacije u kompjuterizovanim domenima proizvodne organizacije zapisani su na principima hijerarhijskih, mrežnih ili relacionih modela baza podataka. Razvojem programa veštačke inteligencije i ekspert-sistema postavljeni su zahtevi za drugačijom organizacijom podataka/informacija. Kako u proizvodnim organizacijama već postoje informacioni resursi organizovani po principima sistema baza podataka postavlja se pitanje racionalnosti izgradnje ekspertnih ostrva sa paralelnim i nezavisnim organizovanjem baze podataka i baze znanja. Mada se je razvoj tehnika sistema baza podataka i tehnika ekspert-sistema odvijao paralelno, za potrebe CIM sistema neophodno je uspostaviti interakciju dva informaciona ostrva u integrisani resurs baze podataka/znanja.

Komunikacioni sistemi treba da razreše problem kompatibilnosti elemenata fleksibilnih tehnoloških sistema i integrisanih hijerarhija opreme i podataka u kompjuterski integrisanim sistemima. Inteligentna proizvodna i kompjuterska oprema različitih proizvođača koristi različite jezike i protokole/formate pri čemu je kompatibilnost i medjusobno komuniciranje u integrisanim sistemima osnovni problem. Ovaj problem treba da razreše komunikacioni sistemi sa otvorenim modelima povezivanja (OSI - Open System Interconnect). Očekuje se da MAP sistem (Manufacturing Automation Protocol) u bliskoj budućnosti omogući komuniciranja između pojedinih ostrva automatizacije u integrisanim kompjuterizovanim sistemima.

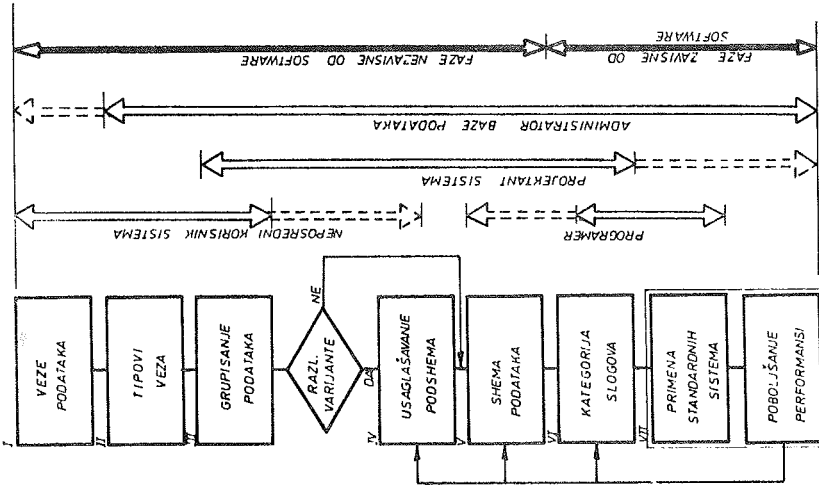
Informacioni medjuprostori (interface) od posebnog su značaja za povezivanje CIM - podsistema sa različitim jezicima ulazno/izlaznim karakteristikama, organizacijom podataka i znanja i načinom upravljanja podacima i opremom.

Polazeći od principa organizacije baze podataka i baze znanja u radu je prikazana mogućnost interakcije ekspert-sistema i sistema baze podataka kao i primer hijerarhijskog strukturisanja informacionog podsistema za upravljanje transportom.

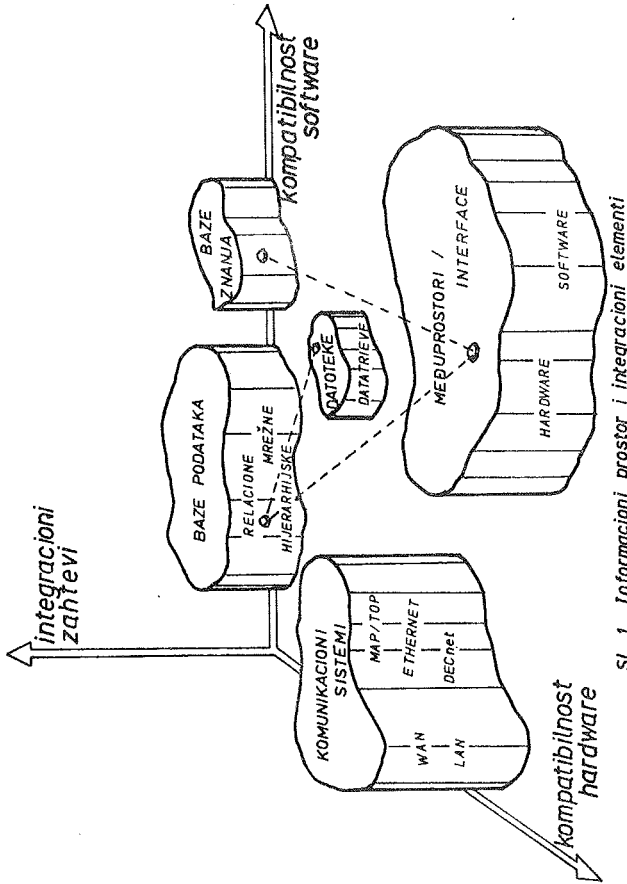
2. METODOLOGIJA PROJEKTOVANJA BAZE PODATAKA

Projektovanje baze podataka za potrebe proizvodne organizacije industrije prerade metala posmatra se u više faza (slika 2) sa definisanjem kompetencija korisnika sistema, programera i administratora baze podataka.

Faza 1: Definicija logičkih veza podataka. Podaci kao osnovni elementi skupa razvane baze podataka medjusobno su logički povezani pri čemu te veze takodje predstavljaju elemente baze podataka. U prvoj fazi projektovanja prikazuju se logičke



Sl. 2. Faze projektovanja i kompetencije



Sl. 1. Informacioni prostor i integracioni elementi

veze pripadnosti pojedinih podataka ne ulazeći u probleme njihovog fizičkog zapisivanja na uređajima za memoriranje.

Faza II: Odredjivanje tipova logičkih veza podataka. Logičke veze podataka određene u prethodnoj fazi sada se definišu prema mogućim tipovima veza čime je određen stepen njihove kompleksnosti. Jednosmerne veze logički povezuju podatke u odnosima 1:1 ili 1:N. U slučaju odnosa 1:1 jednoj vrednosti A odgovara jedna i samo jedna vrednost B u bilo kom trenutku. Kao primer za jednosmernu višestruku vezu tipa 1:N može se navesti da tip alata (npr alati od brzoreznog čelika) ima N povezanosti podataka o ident brojevima odgovarajućih alata. Uslovna veza znači da svakoj vrednosti A odgovara jedna ili nijedna vrednost B.

Faza III: Grupisanje podataka u kanonične strukture. Dijagramskim prikazom podataka i osnovnih logičkih veza dobija se opšti opis baze podataka. Kako je broj podataka i njihovih veza u dijagramskom prikazu ogroman, radi preglednosti treba izvršiti grupisanje podataka u kanonične strukture. To je osnovni model koji predstavlja inherentnu strukturu tih podataka nezavisnu od aplikacije, software-a ili hardware. Ključ u kanoničnoj strukturi podataka je element od koga polaze jedna ili više jednodosmerne veze, dok je atribut element od koga ne polazi jednosmerna veza. Atribut može biti sekundarni ključ ukoliko od njega polazi višestruka veza. Ukoliko su dva primarna ključa povezana nadređeni ključ je onaj od koga ne polazi jednostruka veza prema drugom primarnom ključu.

Faza IV: Usaglašavanje kanoničnih struktura podataka. Kako jednu bazu podataka mogu da koriste više projekatana različitih sistema, svaki od njih može imati svoju viziju kanoničnih struktura podataka koje se međusobno preklapaju ili dopunjuju. Usaglašavanjem ovih različitih zahteva zadatak je administratora baze podataka koji, spajajući pojedine podsheme podataka, dolazi do jedinstvene sheme podataka.

Faza V: Definisavanje zapisa baze podataka pomoću shema i podshema. Svaki zapis u ovoj fazi dobija identifikacioni naziv a podaci (ključevi i atributi) nazive koji se ne smeju ponavljati. Primarni ključevi se ističu u odnosu na ostale podatke dok se veze usmeravaju samo u pravcima pretraživanja podataka. Na taj način je dobijen konceptualni logički opis baze podataka, odnosno shema.

Faza VI: Kategorizacija zapisa baze podataka. Kategorizacija zapisa baze podataka polazi od karakteristika primenjanog software-sistema (TOTAL, IDA BAZA, IDS, SQL) čime je opšti karakter ove i naredne faze metodologije uslovljen specifičnostima izvedenog software-a. Kategorizacija podrazumeva odredjivanje glavnih/matičnih, varijabilnih/strukturnih i relacionih skupova dobijenih na osnovu shema. Strukturni zapisi sadrže ponavljajuće podatke različitih vrednosti koji su zajednički za glavne datoteke koje povezuju. Zapisima glavnih datoteka može se pristupiti direktno preko naznačenih podataka - ključeva.

Faza VII: Primena sistema baze podataka. Primena sistema baze podataka sastoji se iz kodiranja instrukcija za opis uspostavljene sheme podataka, zapisivanja vrednosti podataka u bazu podataka i razvoja aplikacionih programa. Kodiranje je proci-

sano sintaksom za opis podataka, Podacima se pristupa modulom za upravljanje podacima čije se instrukcije ugradjuju u programe.

3. ORGANIZACIJA BAZE ZNANJA

Znanje ekspert-sistema sastoji se od činjenica i heuristika, odnosno opšte prihvaćenih istina i pravila na osnovu kojih se mogu doneti odluke. Baza znanja sadrži opšta, detaljisana i izvedena znanja opisana na dva nivoa (nivo znanja i nivo podataka). Na nivou podataka definišu se tipovi objekata (činioca), njihova svojstva i medjusobne veze kao i činjenice. Nivo znanja čine pravila i opšti principi koji se mogu predstaviti na deklarativan (kolekcija deklarativnih instrukcija) i proceduralan način (niz procedura).

Može se reći da predstavljanje znanja u sistemima veštačke inteligencije ima više efekata u odnosu na mogućnosti tri navedena modela baze podataka. Koristeći uspostavljena pravila izvodjenja zaključaka na bazi deduktivnih komponenata sistema moguće je dobiti nove činjenice na bazi postojećih kao sinteze upravljanja informacijama i modeliranja procesa ljudskog rezonovanja. Baza znanja je bogatija, fleksibilnija i realnija u odnosu na krute strukture baza podataka što omogućava inkrementni razvoj ekspert-sistema. Najčešće primenjivani način organizovanja znanja u sistemima veštačke inteligencije su:

--SEMANTIČKE MREZE (Kolekcija objekata i njihovih relacija predstavljena grafom sa čvorovima i lukovima.)

--"FRAME" - ZAPIS (Zapis koji definiše svojstva objekata kao što su činjenice, pravila, aktuelne vrednosti i sl. Analogan je pojam sa zapisom ili shemom.)

--PRAVILA (Pravila prilagodjena instrukcijama na osnovu kojih se izvode zaključci. Tipičan format je

```
IF <uslov> THEN <akcija>
IF <premisa> THEN <zaključak> )
```

--RELACIJE OBJEKT-ATRIBUT-VREDNOST (Povezanost podataka i vrednosti kao na primeru: OBRADNI CENTAR- STATUS-BESPOSLEN .)

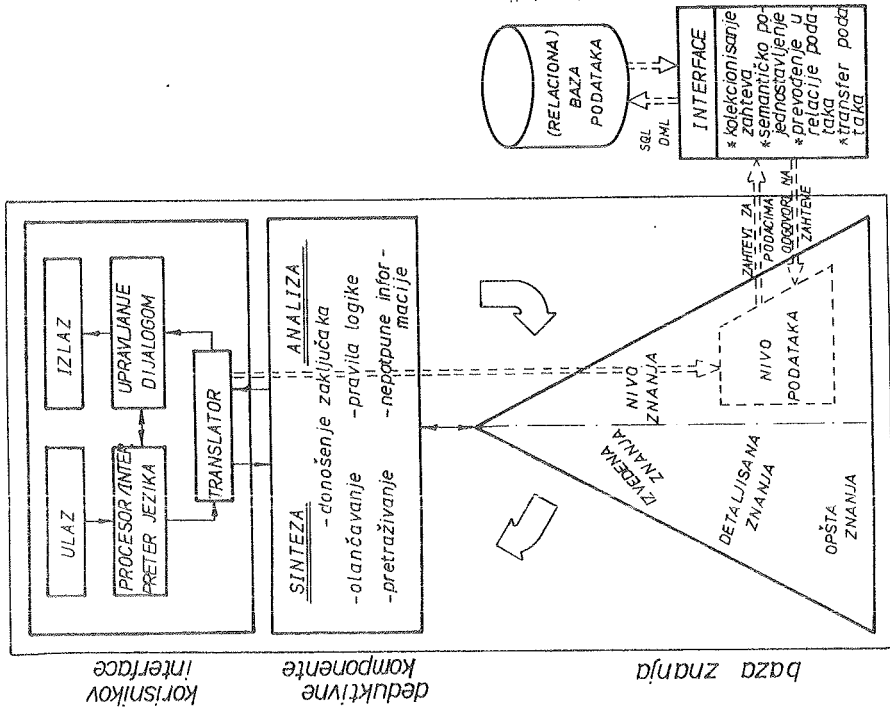
--PREDIKATIVNA LOGIKA (Formalni jezik koji sadrži set simbola i pravila koji se kombinuju u formule.)

--POVEZANOST SA PROCEDUROM (Povezivanje procedure sa jednom ili više struktura podataka. Procedura se izvršava kada se ispune određeni uslovi.)

--LOGICKI ISKAZI (Predstavljanje znanja iskazima sa logičkim operatorima.)

Poseban deo arhitekture ekspert-sistema čini segment koji sadrži deduktivne komponente za izvodjenje zaključaka na bazi upita korisnika i postojeće baze znanja. Osnovne komponente ovog segmenta koriste pravila logike, koriste i dopunjavaju nepotpune informacije na bazi pretraživanja olančanih činjenica i pravila. Na slici 3 date su komponente ekspert-sistema. Korisnik pristupa bazi znanja posredstvom interpretera jezika, modula za upravljanje dijalogom i translatora kao neposrednog prevodioca ulazno/izlaznih zahteva u komande za pretraživanje znanja i odgovora.

U izgradnji CIM sistema od značaja je razmotriti mogućnost integrisanja informacionih resursa proizvodne organizacije industrije prerade metala.



Sl. 3. Meduprstor za interakciju baze znanja i baze podataka

P R A V I L A

USLOVI:	1	2	3	4	5
USLOV a	NE/DA	NE/DA	NE	DA	DA
USLOV b	NE	NE	DA	DA	DA
USLOV c	NE	DA	NE/DA	NE	DA
STRATEGIJE:					
STRATEGIJA A	✓	✓			
STRATEGIJA B		✓	✓		
STRATEGIJA C	✓			✓	
STRATEGIJA D			✓		✓

Sl. 4. Odrđivanje stepena interakcije ekspert-sistema i sistema baze podataka

4. INTEGRISANJE BAZE PODATAKA/ZNANJA

Većina ekspert-sistema razvijenih do danas koristi sopstvenu bazu znanja kao isključivi informacioni resurs. Međutim, postojanje baze podataka u proizvodnoj organizaciji zahteva od projektanta ekspert-sistema razrešenje problema kao što su:

- organizacija baze znanja i načina izvodjenja zaključaka,
- mogućnost korišćenja postojeće baze podataka i način komuniciranja sa njom,
- informaciono integrisanje sa pojedinim CIM-podsystemima.

Eksterno korišćenje baza podataka moguće je na nivou podataka čije strukture odgovaraju podshemama i shemama podataka. Nivo znanja koji se odnosi na pravila, procedure, akcije kao i heurističke elemente nema direktne korespondencije sa bazama podataka iako postoji sličnost sa organizacijom rečnika podataka u sistemima za pretraživanje podataka. Drugim rečima, moguće je koristiti barem jedan deo baze podataka za potrebe ekspert-sistema uz eventualnu izgradnju interface-podataka koji će premostiti razliku između baze podataka i baze znanja omogućivši efikasno i racionalno zapisivanje, pristup i pretraživanje podataka/znanja sa izvodjenjem zaključaka. Aktivnosti na koje se odnosi tako projektovani ekspert-sistem predstavljaju eksperto ostrvo automatizacije u ukupnom CIM-sistemu.

Pri definisanju arhitekture ekspert-sistema u kontekstu interakcije sa sistemom baze podataka potrebno je ustanoviti sledeće uslove:

USLOV a: Da li u proizvodnoj organizaciji postoji sistem baze podataka ?

USLOV b: Da li će ekspert-sistem koristiti veliku količinu podataka ?

USLOV c: Da li je pristup podacima ekspert-sistema predodredjen ?

Stepen interakcije sa sistemom baze podataka može se predvideti kroz 4 strategije:

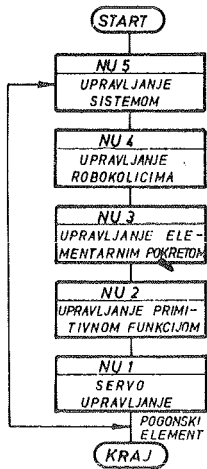
STRATEGIJA A: Elementarni pristup sa pretraživanjem sistema datoteka sa spec. grupom struktura podataka. Činjenice (fakta) iz domena ekspert-sistema uvek su prisutne u memoriji.

STRATEGIJA B: Delimično korišćenje komponenata sistema baze podataka u okviru ekspert-sistema za predstavljanje rečnika podataka relacionim shemama kao i korišćenje mogućnosti relacione algebre za definisanje upita.

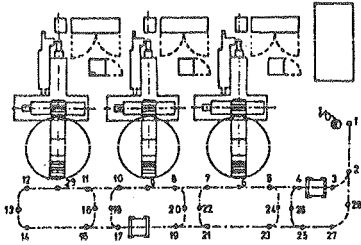
STRATEGIJA C: Pristup grupi podataka iz izdvojene baze podataka koji se odvija na početku rada ekspert-sistema.

STRATEGIJA D: Ekspert-sistemi su on-line "inteligentni" korisnici baze podataka proizvodne organizacije industrije prerade metala.

Na slici 4 prikazana je sprega navedenih uslova i strategija. S obzirom na postavljene probleme (uslovi u domaćoj industriji prerade metala i integracioni trendovi CIM koncepta) najznačajniji ali i najsloženiji je primer potpune interakcije ekspert-sistema i baze podataka. Pomenuta interakcija zahteva izgradnju on-line komunikacionog interface. Upiti se definišu u korisnikovom interface ekspert-sistema i prenose do sistema baze podataka čije odzive treba transformisati u oblik interne prezentacije znanja. To znači da eksterna baza podataka postaje proširena baza znanja ekspert-sistema posredstvom komunikacionog interface čije osnovne komponente obezbeđuju kolekcionisanje zahteva, semantičko pojednostavljenje istih, prevodjenje zahteva u relacije podataka kao i kolekcionisanje zahtevanih podataka sa transferom. Na slici 3 prikazana je isprekidanim linijama veze elemenata ekspert-sistema i eks-



Sl. 5a



Sl. 5b

Nivo upravljanja 5:

Funkcija: Upravljanje transportom u FTS-u, raspodela poslova, komunikacija sa višom razinom podataka.

Ulaz: Kompleksni zadaci, povratna spreza od robokolica.

Izlaz: Raspodela poslova za robokolica.

Nivo upravljanja 4:

Funkcija: Upravljanje robokolicima, kontrola stanja robokolica, kontrola senzora.

Ulaz: Posao za robokolica, povratna spreza od robokolica.

Izlaz: Sekvencu pokreta za izvršenje posla.

Nivo upravljanja 3:

Funkcija: Definisavanje trajektorije.

Ulaz: Komanda za elementarni pokret, ulaz sa senzora.

Izlaz: Sekvencu elementarnih pokreta kao što su: "idi pravo", "smanji brzinu", "okreni" ...

Nivo upravljanja 2:

Funkcija: Generisanje i modifikovanje trajektorije na osnovu informacija sa senzora.

Ulaz: Primitivna komanda kao npr. "uravnoteži", informacije sa senzora.

Izlaz: Sekvencu koordinatnih pokreta za ostvarenje "uravnoteženja".

Nivo upravljanja 1:

Funkcija: Kontrola pozicije i brzine aktuatora.

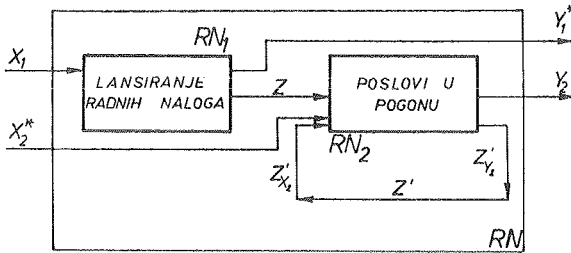
Ulaz: Zadata pozicija i brzina.

Izlaz: Signal za pogon aktuatora.

```

TRANS-SYS-DESCR1
NUMBER-OF-NODES:28
NODES:1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,
*17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28
SECTIONS:S1(1,2,4,4),S2(2,3,2,3),S3(3,4,4,3)
*S4(4,5,3,3).....
NUMBER-OF-AGV:2
AGV:205324,205822
    
```

(A) kaskadno komponovanje i komponovanje sa povratnom vezom



$$RN_2^1 = \mathcal{F}(RN_2) \quad \text{gde je}$$

$$RN_2^1 \subset X^1 \times Y^1$$

$$X^1 = (z \times X_2^*) \times Z^1$$

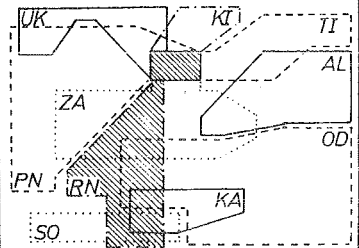
$$Y^1 = Y_2^* \times Z_2^1$$

$$(x, y) \in RN_2^1 \leftrightarrow (\exists z)((x, z), (y, z) \in RN_2)$$

RADNI NALOG I POSLOVI U TOKU

- X_1 - POTREBE, SLOBODNI KAPACITETI I TERMIN PLANOVI
- Y_1 - IRENUTNO ANGAŽOVANI KAPACITETI
- Z - DOKUMENTACIJA LANSIRANIH RADNIH NALOGA
- X_2 - POTREBAN MATERIJAL I ALATI, DO-RADE I PRIORITETI
- Y_2 - STANJE U POGONU, ZAIVORENI RADNI NALOZI
- Z' - UPRAVLJANJE RADNIM NALOGOM, POREMEĆAJI U POGONU

Slika 6.



terne baze podataka. Za vreme interakcije baze znanja i baze podataka prekida se proces donošenja zaključaka u deduktivnim komponentama ekspert-sistema.

5. PRIMERI INFORMACIONOG INTEGRISANJA PODSISTEMA

Na slici 5a prikazan je primer hijerarhijskog strukturisanja informacionog podsistema za upravljanje unutrašnjim transportom. Nivoi NU5, NU4 i NU3 odnose se na upravljanje transportom u okviru tehnološkog sistema dok se na nivoima NU2 i NU1 upravlja robokolicima kao operacionim jedinicama. Funkcije kao i informacioni sadržaji ulaza i izlaza dati su tekstualno uz odgovarajuće nivoe. Izbor zadataka, odnosno zahteva za transport (izbor mašine) i izbor transportnog sredstva (robokolica) se vrši na osnovu heurističkih pravila kao što su FIFO, LIFO,... i sl. koja se kombinuju (dodeljuju mašinama ili robokolicima) u skladu sa utvrdjenom hijerarhijom mašine ili robokolica. Opis baze podataka za primer jednog fleksibilnog tehnološkog sistema prikazan je na slici 5b.

Za komponovanje i dekomponovanje podsistema i modula integrisanog kompjuterizovanog sistema koristiće se odgovarajuća teorija hijerarhijskih sistema. Na slici 5 dat je primer za podsistem radnog naloga i poslova u toku za čija je dva segmenta prikazan model sa kaskadnim komponovanjem i komponovanjem sa povratnom spregom.

6. ZAKLJUČAK

U izgradnji kompjuterizovanih integrisanih sistema CIM koncepta neophodno je razrešiti problem komunikacionih medjuprostora (interface) kao osnovnih elemenata informacionog prostora koji će omogućiti medjusobno komuniciranje opreme i programske podrške različitih karakteristika i proizvođača.

Za proizvodne organizacije koje koriste bazu podataka kao informacioni resurs sa velikom količinom podataka od značaja je razmotriti mogućnost njenog korišćenja za izgradnju ekspert-sistema. Integracione tendencije zahtevaju povezanost svih informacionih resursa u jedinstvenu bazu podataka/znanja.

Integracija ekspert-sistema i sistema baze podataka je moguća. Ovo će usloviti da se u budućnosti projektuju obimniji ekspert-sistemi kao i "inteligentniji" sistemi baza podataka. Osnovni elementi za integraciju baze podataka i baze znanja obezbeđuju kolekcionisanje zahteva, njihovo semantičko pojednostavljenje i prevodjenje u relacije podataka kao i kolekcionisanje sa transferom podataka.

7. LITERATURA

- /1/ Spasić, Ž., Prilog razvoju teorije i primene banki podataka za proizvodno - tehnološke informacione sisteme, Doktorska disertacija, MPB, Beograd, 1981.
- /2/ Milačić, R.V., Putnik, G.D., Traffic Control Software for YU-AGV, Proc. of Automated Guided Vehicle System Conference, Long Beach, California, 1986.
- /3/ Kim, W., Reiner, D.S., Batory, D.S., Query Processing in Database Systems, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1985.
- /4/ Harmon, P., King, D., Expert Systems -- Artificial Intelligence in Business, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1985.
- /5/ Spasić, Ž. et al., Informacione tehnologije--osnova za informaciono integrisanje u fabrikama CIM koncepta, XIII JUPITER konferencija, Caviat, 1987.

OBRADA ODVAJANJEM STRUGOTINE

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987

VPLIVI PROIZVODNEGA PROCESA NA STANJE POVRŠINE PRI VALJIH
IZ INDEFINITNE LITINE

INFLUENCE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY ON SURFACE LAYER PROPERTIES
OF THE ROLLING MILLS FROM INDEFINITIVE CHILL

P. Leskovar
M. Kovač

Fakulteta za strojništvo, Univerza Edvarda Kardelja v
Ljubljani, 61000 Ljubljana

Ključne besede:

Zaostale napetosti
Indefinitna litina
Elektrokemično
odvzemanje
Merilni lističi

POVZETEK: Prispevek popisuje merjenje zaostalih napetosti v struženih in nato še brušenih površinskih plasteh valjev iz indefinitne litine. Za merjenje smo razvili metodo merjenja deformacij preizkušanca iz delovne površine valja ob hkratnem elektrokemičnem odvzemanju plasti z zaostalimi napetostmi. Pri elektrokemičnem odvzemanju indefinitne litine pa smo pri prvih poizkusih dobili izredno selektiven odvzem, zato smo morali najprej poiskati primeren elektrolit in pogoje elektrokemičnega odvzemanja.

Key words:

Residual stresses
Indefinite chill
Electro-chemical removal
Measuring gauges

ABSTRACT: The paper treats the measurements of residual stresses in turned and subsequently ground surface layers of rolls from indef. chill. For the measurements a special method was developed consisting of strain measurements on a specimen cut from the working surface of the roll and simultaneous electro-chemical removal of the layers with residual stresses. During the electrochemical removal of the indefinite chill an extremely selective removal was obtained in the first experiments therefore a more suitable electrolyte and the conditions of electro-chemical removal had first to be found.

1. Uvod

V zadnjem obdobju posvečamo kvaliteti površine strojnih delov vedno večjo pozornost. Iz dosedanjih raziskav doma in po svetu lahko povzamemo, da se pri veliki večini obdelovalnih postopkov spremenijo lastnosti površinskih slojev materiala /1/. Raziskave dinamično obremenjenih strojnih delov so namreč pokazale, da je njihovo obnašanje odvisno predvsem od lastnosti površinskih slojev materiala /2, 3/. Posledica vseh teh ugotovitev je nova veja raziskav z imenom "Integriteta površine", ki predstavlja enega izmed osnovnih virov za banko tehnoloških podatkov. Brez podatkov o integriteti

površine si modernega načina proizvodnje ne moremo zamisliti. Pri močno obremenjenih delih pa so še posebej zanimive zaostale napetosti. Zaostale napetosti v kombinaciji z napetostmi, ki so posledica zunanjih obremenitev namreč lahko privedejo do nepričakovanih trajnostnih zlomov /4, 5/.

Prispevek popisuje ugotavljanje zaostalih napetosti v struženih in nato še brušenih površinskih plasteh valjev iz indefinitne litine. Ti valji se uporabljajo za vroče in hladno valjanje jeklene pločevine. Pri uporabi le-teh pa je prihajalo do nekaterih nepojasnjenih poškodb. Zaradi tega smo se odločili za raziskave zaostalih napetosti, ki jih vnesemo v delovne površine valjev pri mehanski obdelavi.

Za merjenje zaostalih napetosti smo razvili metodo merjenja deformacij preizkušanca iz delovne površine valja ob hkratnem elektrokemičnem odvzemanju plasti z zaostalimi napetostmi ///. Deformacije preizkušancev smo merili s pomočjo merilnih lističev.

Pri prvih poizkusnih merjenjih se je pokazalo, da je potekalo elektrokemično odvzemanje pri indefinitni litine izredno selektivno in neenakomerno. Struktura indefinitne litine je namreč izredno heterogena. Zaradi tega smo morali izbrati najprej primeren elektrolit in pogoje elektrokemičnega odvzemanja, ki zagotavljajo enakomerno odvzemanje slojev materiala z zaostalimi napetostmi.

Kemična sestava delovne plasti valjev iz indefinitne litine IN-D75 (trdote 595-498 HB) je naslednja:

C	3,2 - 3,25 %
Si	0,8 - 0,9 %
Mn	0,45 %
P	do 0,08 %
S	do 0,06 %
Cr	1,4 - 1,5 %
Ni	4,0 - 4,5 %
Mo	0,3 - 0,5 %

Mehanska obdelava delovne površine valjev iz indefinitne litine je sestavljena iz struženja in naknadnega brušenja. Pri analizi proizvodnega procesa smo uporabili režime, ki jih uporabljajo pri redni proizvodnji. Preizkušanci so bili obdelani s stroji, ki jih uporabljajo v redni proizvodnji. Pogoji obdelave, ki smo jih spreminjali so bili naslednji:

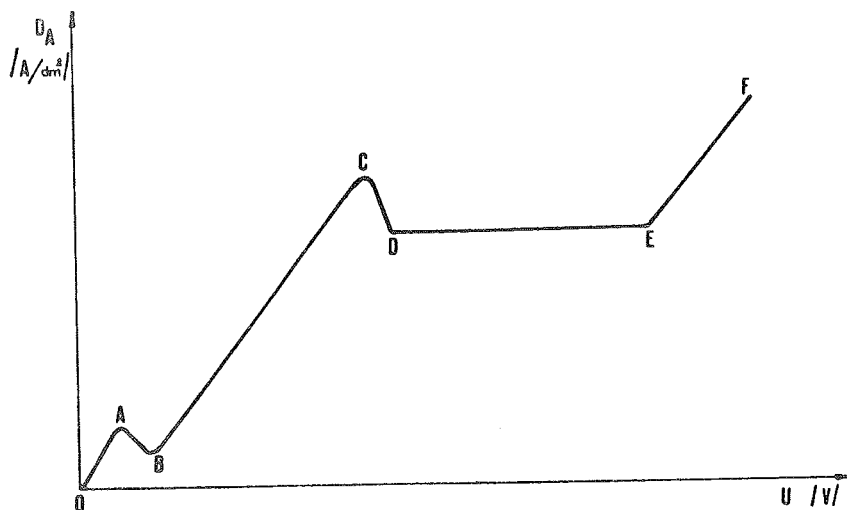
Rezalna hitrost	$v = 4, 6 \text{ in } 10 \text{ m/min}$
Podajanje	$f = 1 \text{ in } 2 \text{ mm/vrt}$
Širina obrabnega roba na prosti ploskvi	$VB = 0,4 \text{ in } 0,8 \text{ mm}$
Material orodja pri struženju	je bila karbidna trdina K 10.

Brušenje je potekalo pri enotnih parametrih za vse preizkušance:

Obodna hitrost brusa	$V_s = 25 \text{ m/sek}$
Hitrost valja	$V_v = 12 \text{ m/min}$
Podajanje	$f = 0,015 \text{ mm/vrt}$

2. Izbira elektrolita in pogojev elektrokemičnega odvzemanja

V ta namen smo pristopili k preizkušanju večjega števila elektrolitov /6/. V prvi fazi smo določevali I-U krivulje (gostota toka v odvisnosti od napetosti) posameznih elektrolitov pri elektrokemičnem odvzemanju. Kot primer si oglejmo značilno polarizacijsko krivuljo elektropoliranja medi v fosforni kislini, ki jo prikazuje slika 1.



Slika 1 I-U krivulja pri elektropoliranju medi v fosforni kislini

Na sliki 1 je prikazana I-U krivulja elektropoliranja medi v fosforni kislini. Razdeljena je na odseke, ki delijo področja različnih elektrokemičnih reakcij. Naš cilj pri elektrokemičnem odvzemanju plasti z zaostalimi napetostmi je enakomerno odvzemanje po celi površini v kateri želimo meriti zaostale napetosti. Tak interval elektrokemičnega odvzemanja pa predstavlja po sliki 1 odsek konstantne gostote toka D - E.

Pri izbiri elektrolitov smo izbrali večje število elektrolitov /6/, ki so primerni za elektropoliranje materialov, ki so po kemični sestavi indefinitni litini podobni. Izbrani elektroliti so zbrani v tabeli 1, njihova sestava pa v tabeli 2.

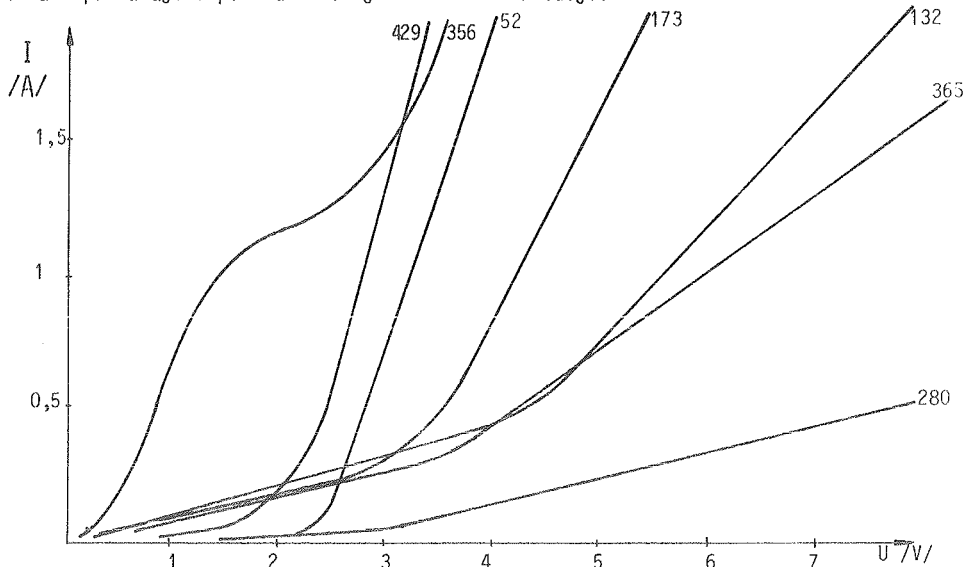
MATERIAL	ELEKTR.	NAPETOST U /V/	GOSTOTA TOKA D_A /A/dm ² /	TEMPERATURA T /°C/
Mo in njegove zlitine	132	24 - 30	80 - 120	25
Mo in njegove zlitine	173	12	65 - 70	50
Ni zlitine z visokim % Fe	280	6 - 12	23 - 29	18 - 20
Cr in njegove zlitine	356	3 - 6	2 - 5	15 - 20
Cr jeklo; Cr-Ni jeklo; Si SL	365	4 - 6	10 - 20	10 - 15
Jeklo in SL	429	5 - 6	0,5 - 2,5	20
Mn in njegove zlitine	52	10 - 15	20 - 40	20 - 40

Tabela 1 Elektroliti in njihovi režimi dela /6/

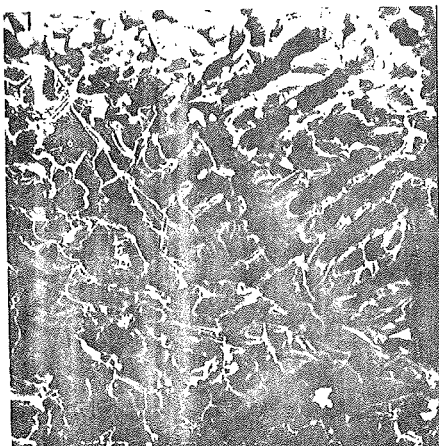
ELEKTROLIT	KOMPONENTA	OZNAKA	KOLIČINA	GOSTOTA /g/cm ³
52	Fosforna kislina	H ₃ PO ₄	200 ml	1,87
	Žveplena kislina	H ₂ SO ₄	400 ml	1,83
	Voda	H ₂ O	400 ml	0,99
132	Žveplena kislina	H ₂ SO ₄	125 ml	1,83
	Metilni alkohol	CH ₃ OH	875 ml	0,79
173	Žveplena kislina	H ₂ SO ₄	130 ml	1,83
	Solna kislina	HCl	217 ml	1,19
	Metilni alkohol	CH ₃ OH	653 ml	0,79
280	Ocetna kislina	CH ₃ COOH	798 ml	1,05
	Kromov anhidrid	CrO ₃	150 g	1,04
	Voda	H ₂ O	42 ml	0,99
356	Solna kislina	HCl	100 ml	1,19
	Voda	H ₂ O	900 ml	0,99
365	Solna kislina	HCl	100 ml	1,19
	Etilni alkohol	C ₂ H ₅ OH	900 ml	0,79
429	Pikrinska kislina	C ₆ H ₃ N ₃ O ₇	16 g	1,76
	Natrijev hidroksid	NaOH	197 g	1,52
	Voda	H ₂ O	787 ml	0,99

Tabela 2 Sestave elektrolitov /6/

Slika 2 prikazuje s poizkusi dobljene I - U krivulje.



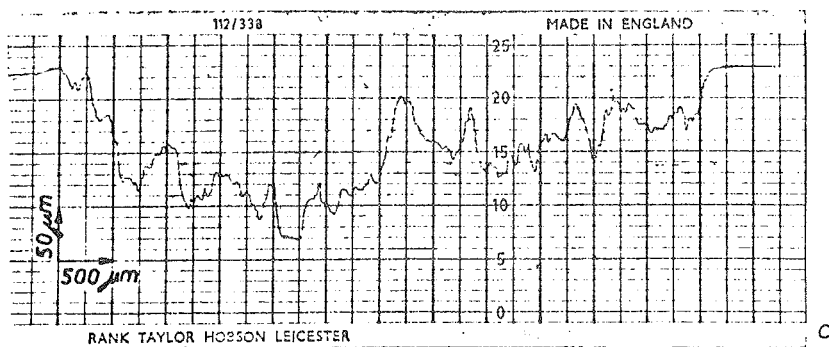
Slika 2 I-U krivulje za elektrolite 52, 132, 173, 280, 356, 365 in 429



a



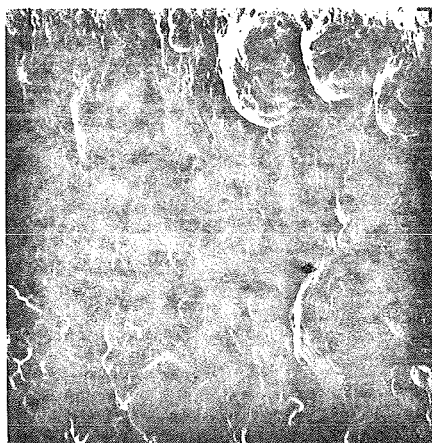
b



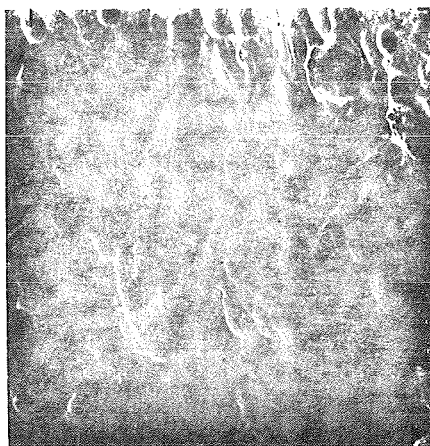
c

Slika 3 Posnetek površine preizkušanca št. 18 (elektrolit 356)

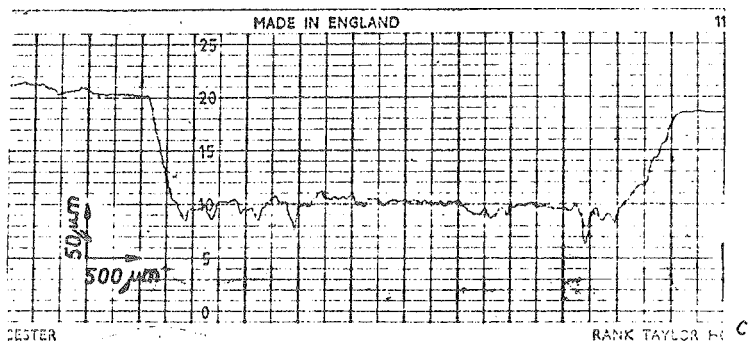
- a) povečava 180 x
- b) povečava 600 x
- c) posnetek hrapavosti



a



b



Slika 4 Posnetek površine preizkušanca št. 44 (elektrolit 52)

- a) povečava 180 x
- b) povečava 600 x
- c) posnetek hrapavosti

Iz slike 2 je razvidno, da nismo dobili značilnega ravnega odseka pri prikazanih kri-
vuljah. Zato smo morali opraviti še vrsto dodatnih poizkusnih elektrokemičnih odvzemanj
z različnimi elektroliti in parametri odvzemanja.

Slika 3 in 4 kažeta dva primera površine po elektrokemičnem odvzemanju. Slika 3 kaže
zelo selektiven - grob odzvem, ki daje nesprejemljivo površino, slika 4 pa površino,
ki je ugodna in za namene zasledovanja zaostalih napetosti ugodne oblike.

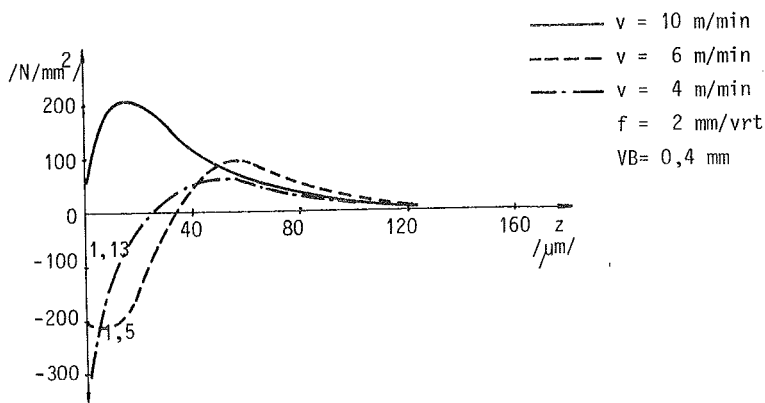
Slika 4 prikazuje površino, ki smo jo dobili z elektrolitom št. 52, ki ima sestavo:

Fosforna kislina H_3PO_4	20 vol. %
Zveplena kislina H_2SO_4	40 vol. %
Voda H_2O	40 vol. %

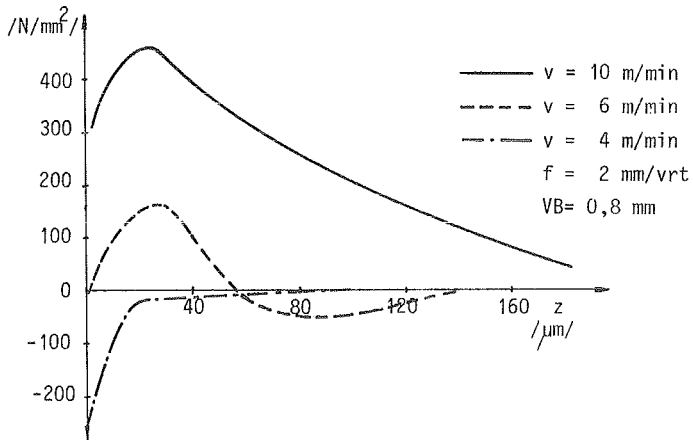
Ta elektrolit smo nato uporabili pri elektrokemičnem odvzemanju preizkušancev pri merjen-
ju zaostalih napetosti pri valjih iz indefinitne litine.

3. Merjenje zaostalih napetosti

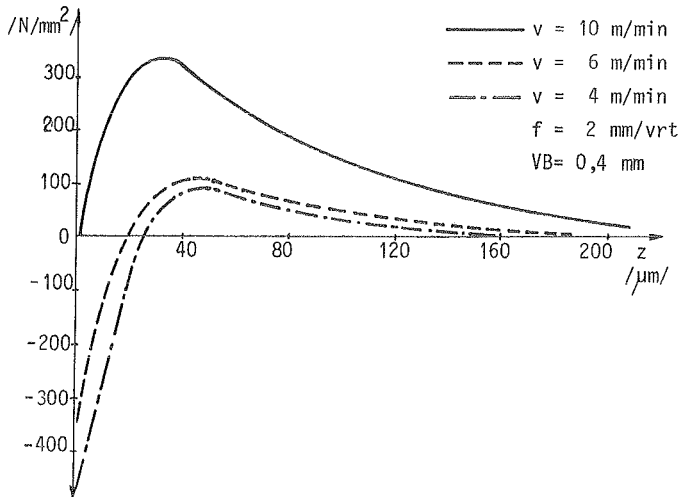
Zaostale napetosti smo merili s pomočjo merjenja deformacij preizkušancev, ki smo jih
zasledovali s pomočjo merilnih lističev med elektrokemičnim odvzemanjem plasti z zaosta-
limi napetostmi. Dobljene deformacije smo nato s pomočjo lastne metode preračunali v za-
ostale napetosti ///. Dobljene rezultate prikazujejo naslednje slike.



Slika 5 Rezultati merjenja zaostalih napetosti pri struženih
vzorcih



Slika 6 Rezultati merjenja zaostalih napetosti pri stružnih vzorcih



Slika 7 Rezultati merjenja zaostalih napetosti pri struženih in naknadno brušenih vzorcih

Sliki 5 in 6 prikazujeta rezultate merjenja zaostalih napetosti na preizkušancih, ki so bili struženi pri različnih parametrih.

Slika 5 kaže rezultate zaostalih napetosti pri struženju z obrabljenim orodjem $VB = 0,4 \text{ mm}$. Iz slike je razvidno, da dobimo pri največji rezalni hitrosti $v = 10 \text{ m/min}$ kot posledico struženja natezne zaostale napetosti, ki znašajo do 230 N/mm^2 . Z globino

se napetosti nato hitro zmanjšujejo, tako da že na globini nad 0,12 mm praktično izginejo.

Pri manjših rezalnih hitrostih $v = 6$ in 4 m/min pa opazimo premik površinskih zaostalih napetosti v negativno, torej tlačno področje.

Slika 6 pa kaže rezultate izmerjenih zaostalih napetosti pri struženju z bolj obrabljenim orodjem $VB = 0,8$ mm. Primerjava slik 5 in 6 nam nazorno pokaže, da povzroči bolj obrabljeno orodje premik krivulj z zaostalimi napetostmi v smeri večjih natezних zaostalih napetosti. Prav tako se poveča globina do katere segajo zaostale napetosti. Še vedno pa se ohrani vpliv rezalne hitrosti, saj je velikost zaostalih napetosti na površini neposredno odvisna od velikosti hitrosti rezanja.

Slika 7 prikazuje zaostale napetosti po brušenju. Parametri brušenja so bili za vse preizkušance enaki. Iz poteka zaostalih napetosti lahko opazimo, da se lepo pozna vpliv predhodnega struženja. To pomeni, da nismo odstranili z brušenjem zaostale napetosti, ki izvirajo od struženja.

Na splošno lahko ugotovimo, da vnese brušenje v površino tlačne zaostale napetosti. Njihova porazdelitev pa je še vedno odvisna od predhodne obdelave.

Pri predhodnem struženju z največjo rezalno hitrostjo dobimo na površini manjše tlačne zaostale napetosti. Pri manjših rezalnih hitrostih struženja pa dobimo vse bolj velike tlačne zaostale napetosti na delovni površini valja. Na površini dobimo torej tlačne zaostale napetosti, ki pa zelo hitro, že na globinah okrog 0,01 do 0,03 mm, preidejo v natezne. V teh globinah so zaostale napetosti po brušenju podobno porazdeljene, kot so bile po struženju. Torej se na teh globinah še vedno izredno lepo pozna učinek predhodnega struženja.

4. Sklepi

Tudi pri tako heterogenem materialu, kakor je indefinitna litina smo uspeli izbrati primeren elektrolit s katerim dosežemo enakomerno odvzemanje plasti materiala z zaostalimi napetostmi. Elektrolit in pogoje elektrokemične obdelave smo določili s pomočjo določevanja I-U krivulj in nato še z dodatnimi poizkusnimi elektrokemičnimi odvzemanji.

Merjenje zaostalih napetosti je pokazalo, da vplivata na končno stanje delovne površine valjev iz indefinitne litine oba obdelovalna postopka, torej struženje in brušenje in ne samo brušenje kot končni obdelovalni postopek.

Pri struženju smo ugotovili veliko odvisnost zaostalih napetosti od rezalne hitrosti in širine obrabnega robu na prosti ploskvi. Večje hitrosti in bolj obrabljeno orodje povzročata višje temperature v deformacijski coni nastajanja odrezka; rezultat tega so višje natezne zaostale napetosti.

Bolj obrabljeno orodje povzroča večje trenje in globino deformacijske cone, s tem pa tudi večjo globino, do katere segajo zaostale napetosti.

Naknadno brušenje povzroča v površinskih plasteh tlačne zaostale napetosti. V večjih globinah pa se ohranijo še vedno zaostale napetosti, ki so nastale po struženju. To pomeni, da je brušenje potekalo pri blagih pogojih in nizkih temperaturah v coni rezanja, kar je ugodno vplivalo na končno stanje zaostalih napetosti.

Z analizo proizvodnega procesa smo torej ugotovili, da v večini primerov ni dovolj analizirati samo zadnji obdelovalni postopek, temveč je potrebna temeljita analiza vseh obdelovalnih postopkov, ki sestavljajo proizvodni proces. Le na tak način lahko izberemo optimalne proizvodne postopke in parametre obdelave, ki bodo omogočili kvalitetno izdelavo ob sprejemljivi, konkurenčni ceni in zadovoljivi obratovalni dobi izdelka.

5. Literatura

- /1/ Field M., Koster W.P., Machining of High Strength Steels With Emphasis on Surface Integrity, AFMDC 70-1, Metcut Research Associates Inc., Cincinnati Ohio, 1970.
- /2/ Shaw M.C., The Importance of Solid Surfaces in Science and Engineering, Proceedings of the International Conference on Sur. Technology SME, Dearbon, Michigan, 1973.
- /3/ Wingrabe H., Bemerkungen zu der durch den Begriff "Surface Integrity" ausgelosten Diskussion bei der gemeinsamen Sitzung der gleichnamigen Subgroup des S.T.C. "C" in Freundstadt am 28. August 1975.
- /4/ Bringsmeier E., Cammett I.T., Koenig W., Leskovar P., Peters J., Toenshoff H.K., Residual Stresses - Measurement and Causes in Machining Processes, Key-Note-Papers, Annals of the CIRP, Vol. 31/2, (1981) 491 - 510.
- /5/ Leskovar P., Drobňjak V., Kovač M., Residual Stresses in the Production of Spiral Drills from HSS, International Conference on Residual Stresses, Garmisch-Partenkirchen, Oct. 15-17, 1986
- /6/ Popilov L. Ja., Zajceva L.P., Elektropolirovanie i elektrotravlenie metalografičeskikh šlifov, Moskva, 1963.
- /7/ Kovač M., Kontinuirano ugotavljanje zaostalih napetosti v odvisnosti od postopkov obdelave, Disertacija, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana 1986.
- /8/ Leskovar P., Peklenik J., Influences Affecting Surface Integrity in the Cutting Process, Annals of the CIRP, Vol. 31/1/1982.
- /9/ Leskovar P., Kovač M., Surface Integrity of Cylinders of Rolling Mills Related to Turning and Grinding, Proceedings of the 5th International Conference on Production Engineering, Tokyo, 1984, p. 654 - 659.
- /10/ Leskovar P., Kovač M., Surface Integrity as Quality Criteria of the Fabrication Process, II. International Conference on Manufacturing Science Technology and Systems of the Future, Ljubljana, Sept. 1985.

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

PRILOG STUDIJI TERMIČKIH STANJA I ZAOSTALIH NAPREZANJA
PRI OBRADI BRUŠENJEM
ESSAY ENCLOSURE OF THERMIC LAGGING STRESS CONDITIONS
DURING GRINDING TREATMENT

A. Mišković Mašinski fakultet Mostar, Univerzitet "Džemal Bijedić"
88000 MOSTAR

D. Vukelja Mašinski fakultet Kragujevac, Univerzitet "Svetozar
Marković" 34000 KRAGUJEVAC

Ključne riječi SAŽETAK: Generisana toplotna energija skoncentrisana je
Naprezanje u zoni rezanja što dovodi do visokih temperatura na površinskom sloju. Zaostala naprezanja, koja su naročito
Energija važna za djelove koji su dinamički opterećeni, u obradi
Opterećenje brušenjem nastaju usljed toplotnih i mehaničkih opterećenja. U radu je dat proračun zaostalih naprezanja preko temperaturnih polja u zoni rezanja koristeći rezultate eksperimenta za otpore rezanja.

Key words: ABSTRACT: Gathered thermal energy is concentrated in cutting area which produces high temperatures on surface layers. Lagging stresses, which are especially important for parts which are dynamically loaded during grinding treatment, are created because of thermal loading. The calculation of lagging stresses is given in work through temperature ranges in cutting area, using experiment results for cutting resistances.

1. Uvod

Pri brušenju materijala uloženi mehanički rad potpuno se skoro pretvara u toplotnu energiju. S obzirom da je toplota skoncentrisana u vrlo uskom prostoru dolazi do pojave visokih temperatura u temperaturnom polju zone rezanja. Sem toga prisutno je i mehaničko dejstvo gnječanja zrna točila na površinski sloj, to u cjelini utiče na pojavu nastajanja unutrašnjih naprezanja u površinskom sloju.

Ispitivanja pokazuju da se unutrašnja naprezanja mogu identifikovati preko

temperaturskih naprezanja.

U radu se daje proračun zaostalih naprezanja preko temperaturskih polja u zoni rezanja pri korišćenju rezultata eksperimenta za otpore u zoni rezanja.

2. Prethodna teorijska razmatranja

U toku formiranja konstrukcije na djelovima mehanizama i agregata izvode se različite tehnologije i operacije. Tehnološki proces pri tome predstavlja povorku rezanih tehnoloških stanja preko kojih je moguće da se ocjene pokazatelji kvaliteta izlaznih parametara tehnološkog procesa. Pravilnim izborom strukture konstrukcije omogućava se optimalno funkcionisanje agregata. Pri obradi metalnih elemenata mjenjaju se metalurška svojstva pograničnog sloja, posebno pri obradi brušenjem, tako da se mogu umanjiti performanse tih elemenata. Postoji i mogućnost da se pojave i pukotine. Osnovni uzrok za to je prisustvo unutrašnjih naprezanja. Ispitivanja pokazuju da se na otpore rezanja i temperature u temperaturskom polju zone rezanja utiče primjenom rashladnih sredstava i uvodjenjem nekih novih postupaka brušenja.

3. Analiza zaostalih unutrašnjih naprezanja

Zaostala naprezanja ^{*} u obradi brušenjem nastaje usljed toplotnih i mehaničkih (plastična deformacija, otpori rezanja) opterećenja. Ovakav proces opisuje se sistemom spregnutih jednačina termo-plastičnosti [7].

$$C \left[\text{tr } \dot{T}(M,t) + \dot{T}(M,t) \right] + 3K_{\alpha} \left[\text{tr } \dot{T}(M,t) \dot{U}_{i,j}(M,t) + \text{tr } T(M,t) \ddot{U}_{i,j}(M,t) + T(M,t) U_{i,j}(M,t) \right] = \lambda \nabla^2 T(M,t) + \text{tr } q_v(M,t) + q_v(M,t) \quad (1)$$

$$G \nabla^2 U_i(M,t) + \left(K + \frac{G}{3} \right) U_{j,j}(M,t) + f_i^o(M,t) = \rho \ddot{U}_i(M,t) + 3K_{\alpha} T_{,i}(M,t) \quad (2)$$

Ovdje je:

$M = x, y, z$

t - vrijeme [s]

T - temperatura

∇^2 - operator

tr - vrijeme prodiranja talasa toplotne energije

α - koeficijent širenja

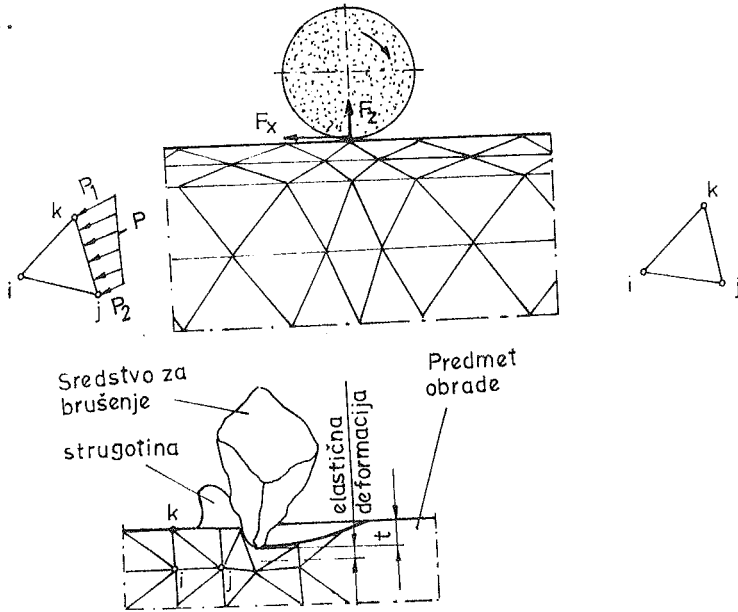
U - pomjeranje

^{*} Istraživanja naponskog stanja u pograničnom sloju naročito su značajna za dijelove koji su dinamički opterećeni, a uz to da su prisutne povišene temperature.

$$\dot{T}_{,i} = \frac{\partial T(M,t)}{\partial x_i} \frac{\partial U}{\partial x_i}$$

$$\dot{U}_{i,i}(M,t) = \frac{\partial U}{\partial x_i}$$

sa početnim i graničnim uslovima datim u [7]. Svojstva materijala koji se obradjuje zavisi od temperatura a prisutno je dinamičko dejstvo zrnaca tocila Sl.1.



Sl.1. Prikaz procesa brušenja i podjele zone rezanja na konačne elemente.

S obzirom da je $\frac{\alpha l}{[1+\alpha l + 4G/3K]} \ll 1$ Moguće je da se (1) i (2) korištenjem varijacionih metoda prevede na oblik funkcionala

$$I(U_i) = \int_{\Gamma} \left\{ K(M) [U_{k,k}(M) - 3\varepsilon_{(T)}(M)]^2 / 2 + G(M) [U_{k,k}^2(M) - U_{k,k}(M) U_{l,l}(M)] + \right. \\ \left. + G(M) [U_{1,2}(M) + U_{2,1}(M)]^2 / 2 - f_i^0(M) U_i(M) \right\} dF - \quad (3)$$

$$- \int_{\Gamma'} P_i^0(N) U_i(N) d\Gamma_i \quad i,k,l=1,2,3$$

Koji je pogodan za primjenu metode konačnih elemenata. Sredjivanjem dolazi se do izraza za sistem linearnih jednačina.

$$[K] \{u\} = \{P\} \quad (4)$$

Ovdje je $[K]$ - matrica krutosti
 $\{u\}$ - vektor pomjeranja
 $\{P\}$ - vektor sila

Temperatursko polje određeno je iteracijski [4] u vremenskom intervalu $\Delta t = 0,001$ s.

$$([K] + \frac{2}{\Delta t} [e]) \{T\} = \frac{2}{\Delta t} [C] \{T\}_o - \{F\} \quad (5)$$

Ovdje je [K] matrica provodjenja, Δt - iteracijski korak

Promjena veličina koji korektilišu svojstva obradivanog materijala određivana su pomoću jednačina:

$$\rho = \rho(T, \tau)$$

$$C = C(T, \tau)$$

$$\lambda = \lambda(T, \tau)$$

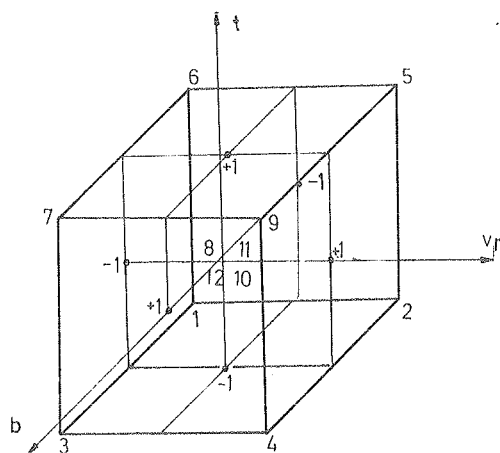
$$E = E(T, \tau)$$

$$\nu = \nu(T, \tau)$$

Programi su izradjeni u BASICUZ, za C = 64.

Rezultati proračuna dati su na sl. 4. a odnose se na zaostala unutrašnja naprezanja, nastala pri brušenju kaljenog Č.4751.

Podudarnost teorijskih i eksperimentalnih istraživanja nije potpuna.



Alat: Tocilo 2B 54 10V SWATY MARIBOR

Mašina: Horizontalna brusilica

Rezultati eksperimenta:

$$F_x = 89 \cdot v_r^{0.235} \cdot t^{0.735} \cdot b^{0.662} \quad [N]$$

$$F_z = 113 \cdot v_r^{0.470} \cdot t^{0.74} \cdot b^{0.492} \quad [N]$$

Sl. 2. Plan eksperimenta i uslovi ispitivanja otpora rezanja pri brušenju

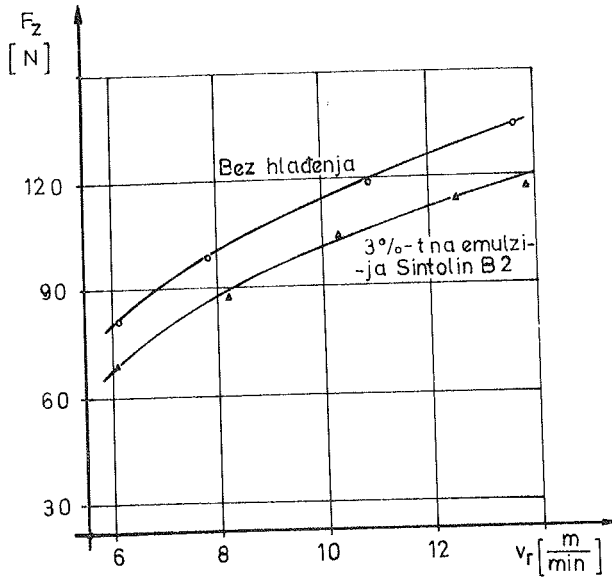
Experimentalim putem (vidjeti plan eksperimenta Sl.2.) utvrđjena je zavisnost otpora rezanja u odnosu na faktore obrade. Ove veličine bile su potrebne radi proračuna temperaturskih polja (za definisanje jačine toplotnog

fluksa $q = \frac{F_x \cdot v}{M \cdot A}$ i mehaničkih opterećenja koji su dobiveni na osnovi jednačine $P = \frac{F_z}{A}$).

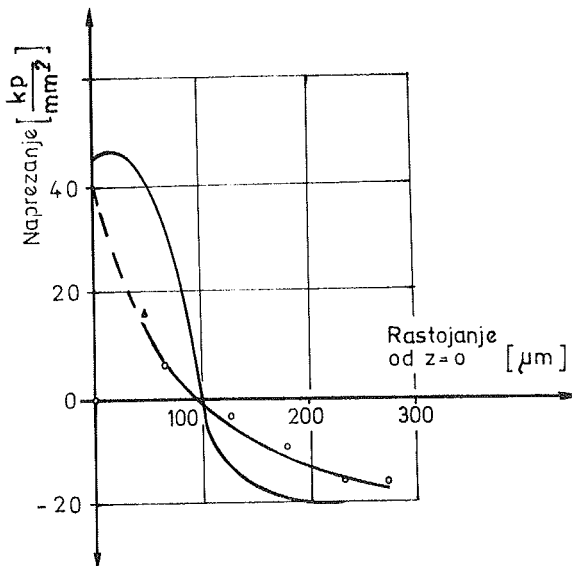
Ovdje je A - presjek dodira tocila i radnog predmeta.

4. Eksperimentalni rezultati

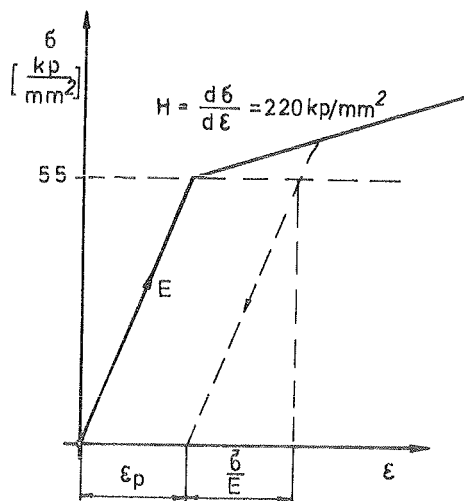
Uslovi ispitivanja procesa brušenja dati su uz plan eksperimenta (Sl.2.). Kao i statistički obradjeni rezultati koji su korektni i mogu se koristiti u praksi.



Sl.3. Grafički prikaz zavisnosti otpora rezanja od sredstava za hlađenje i podmazivanje kao i od veličine brzine kretanja.



Sl.4. Prikaz proračuna zaostalih unutrašnjih naprežanja i izmjerenih veličina.



Sl. 5. Karakteristična kriva za proračun plastičnog tečenja.

Mjerenje tvrdoće u pograničnom sloju vršeno je pomoću specijalnog pribora, a veličine naprezanja su pomoću veličine tvrdoće preračunata.

5. Zaključak

Na osnovu iznijetog može se zaključiti:

- 1 - Izmereni rezultati (zaostala naprezanja) u odnosu na proračunata temperaturska zaostala naprezanja smješteni su u istoj zoni, a također su istog preznaka u unutrašnjosti sloja tj. sabijanje. Medjutim, na ravnoj površini temperaturska polja imaju pozitivan znak.
- 2 - Primjenom rashladnog sredstva veličine otpora su smanjene što pozitivno utiče na sniženje temperature rezanja i zaostalih temperaturskih naprezanja.
Druge analize sa ovim materijalom nisu radjene.
Sniženje temperatura i naprezanja postiže se intervencijom na tocilu i uvodjenjem dodatnih kretanja.
- 3 - Ovim je pokazano da se mogu da odrede unutrašnja zaostala naprezanja pri obradi brušenjem na relativno jednostavan način, ako su poznati otpori rezanja i termičko stanje obradjene površine predmeta.

Literatura

- [1] D.Vukelja, Termodinamika rezanja, Monografija IAMA (2) Beograd 1970.
- [2] A.Mišković, Analiza naponskog stanja u reznim elementima alata metodom konačnih elemenata, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet u Mostaru 1982. godine.
- [3] E.Marozov, G.Nikislav, Metod konačnih elementov v mehanike rezrušenija, Moskva "Nauka" 1980.g.
- [4] L.J.Segerlind, Applied finite element analysis, JOHN WILEY & Sons, New York 1978.g.
- [5] K.Kozo, E.Hirochi, Analysis of the structure and thermal residual stress in the machined surface layer by grinding, Trans.Jap.Inst.Metals 1972, 13 No6. 412-418
- [6] Zbornik, Naučne osnove progresivnoj tehnologiji, Moskva, Mašinstroenie 1982.
- [7] V.S. Zarubin , Prikladnie zadači termopročnosti elementov Konstrukcije, Moskva, Mašinstroeniye 1985.
- [8] H.Parkus, Instrationäre Wärmespannungen, Wien, Sprilger - Verlag 1959.

21. SAVETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, Opatija, 1987.

OBRADLJIVOST VISOKOMANGANSKOG ČELIKA REZANJEM NA POVIŠENIM
TEMPERATURAMA

MACHINABILITY OF HIGH MANGANESE STEEL AT ELEVATED TEMPERATURES

S. Trajkovski

Mašinski fakultet - Skopje, Univerzitet "Kiril i Metodij"
91000 Skopje, Jugoslavija

Ključne riječi:

Manganesni čelici,
obradljivost reza-
njem, obrada na po-
višenim temperatura-
ma, hrapavost obra-
đene površine

Key words:

Manganese steel,
Machinability, Hot
Machining, Surface
finish

SAŽETAK: U radu su prikazani rezultati istraživanja obra-
dljivosti austenitnih manganskih čelika na povišenim tempe-
raturama, zagrevanjem obradka, propuštanjem električne stru-
je kroz rezni alat.

Rezultati istraživanja pokazuju da postoji određena gusti-
na struje kod koje se može postići najveći priraštaj trajno-
sti reznog alata u odnosu na konvencionalnu obradu. Isto ta-
ko prikazan je i uticaj gustine struje na hrapavost obradjene
površine, kao i smanjenje uticaja posmaka na hrapavost sa po-
rastom gustine struje.

ABSTRACT: In this paper, resultates of a Research work on
machinibility of austenitic manganese steel at elevated tem-
peratures, using electric current heating are presented.

The resultates obtained from the experiments, show the exis-
tance of an optimal current density in which a maximal in-
crease of the Tool-Life, related to the conventional machi-
ning is recieved. The influence of current desity on surfa-
ce finish and the deaccrease of the influence of feed on sur-
face roughneses are also presented.

1. UVOD

Osnovna ideja za obradu metala rezanjem na povišenim temperaturama proizašla je iz želje da se smanji čvrstoća materijala obradjivanog komada i na taj način olakša proces rezanja teškoobradljivih metala i legura.

Brzi razvitak avionske, raketne i nuklearne tehnike i industrije u SAD i SSSR-u, posle II Svetskog rata, zahtevao je sve intenzivnije korišćenje novih materijala sa posebnim svojstvima. U ovom periodu stvorene su i nove legure koje se odlikuju velikom čvrstoću, toplootpornošću i tvrdoćom, koje su našle primenu i u širem području mašinnogradnje.

Izrada delova od ovakvih materijala konvencionalnim postupcima obrade rezanjem je vrlo teško, pa ponekad i nemoguće. Kao što je poznato sa povećanjem čvrstoće i žilavosti materijala, opada ekonomska brzina rezanja, tako da se laki metali i legure mogu obradljivati brzinama rezanja od preko 25 m/s, a visokotvrđi materijali uspešno se mogu obradljivati samo sa vrlo niskim reznim brzinama reda veličine od 0,2 m/s. Zato naporedo sa istraživanjima na polju stvaranja novih materijala, vršena su i istraživanja

za poboljšanje i razvoj novih materijala za rezne alate, usavršavanje postojećih metoda obrade i razvoj novih metoda obrade od kojih neke baziraju na sasvim novim principima rada.

Medju novorazvijenim metodama obrade rezanjem, posebno mesto zauzima obrada metala u zagrejanom stanju. Obrada metala rezanjem u zagrejanom stanju po prvi put primenjena je za vreme II svetskog rata u zavodima Krupp-a na obradi čeličnih blastova /1/. Pre obrade čelični blastovi zagrevani su na temperaturi od oko 1272 K, pri čemu je dobivena znatna ušteda u vremenu obrade, potrošnji energije i alata. Prva sistematska istraživanja vršena su 1946 god. od strane Dayton-a, a zatim od strane Shmidt-a i Roubik-a /1/, koji su za zagrevanje koristili acetilenski plamenik. U periodu od 1949 - 1951 god. publikovana je serija radova iz ove oblasti, pri čemu su vršena istraživanja obradljivosti kobaltnih legura i legura na bazi nikla. Sva istraživanja su pokazala da se primenom obrade rezanjem sa zagrevanjem obradljivog komada, za pojedine legure visoke otpornosti može postići veća trajnost reznog alata, odnosno veća brzina rezanja za određenu trajnost reznog alata.

Kasnijih godina, brojni autori vršili su istraživanja obradljivosti metala rezanjem na povišenim temperaturama, primenom različitih tehnika zagrevanja. Sva istraživanja vršena su uglavnom sa nerđajućim čelicima (austenitne i martenzitne klase) i toplootpornim čelicima i legurama na bazi nikla, kobalta i titana. Za obradljivost visokomanganskih čelika kako u hladnom, tako i u zagrejanom stanju postoje vrlo oskudni podaci u kojima se konstatira da se zagrevanjem radnog komada može postići povećanje trajnosti reznog alata i do 10 puta. Sva objašnjenja za povećanu trajnost reznog alata svode se na smanjenje čvrstoće materijala (do dva puta), što nemože da da puno objašnjenje za povećanu trajnost reznog alata kod austenitnih manganskih čelika.

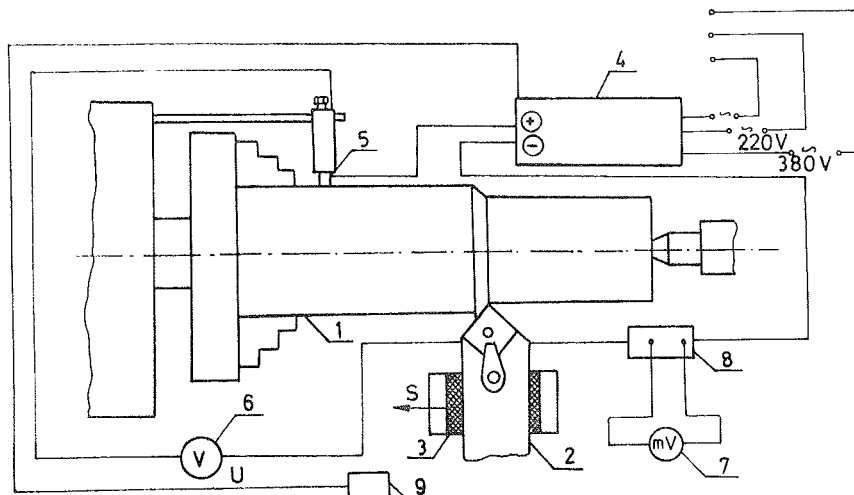
Austenitni manganski čelici odlikuju se visokom otpornošću na abrazivno habanje i ne naročito velikom tvrdoćom (HB = 1800 - 2700 MPa) i jačinom na kidanje kao i ugljenični čelici sa sličnom tvrdoćom, koji u odnosu na austenitne manganske čelike imaju nekoliko puta bolju obradljivost, pa smanjenje tvrdoće nemože biti glavni razlog povećanja trajnosti reznog alata.

2. EKSPERIMENTALNA TEHNIKA I USLOVI ISTRAŽIVANJA

U ovim istraživanjima primenjeno je lokalno zagrevanje obradka (zagrevanje zone rezanja), propuštanjem istosmerne električne struje niskog napona kroz rezni alat (sl.1). Kao izvor energije korišćeni su zavarivački transformatori sa ispravljačem "Rade Končar" tip C-21 i C3, sa karakteristikama prikazanim na sl.2.

Kod elektrokontaktnog zagrevanja za razliku od električnog zavarivanja, transformator radi u uslovima kratkog spoja pa je napon vrlo nizak (cca 2 - 3 V), pa se mogu dobiti veće jačine struje od nominalnih (sl.2). Jačina struje merena je preko kalibriranog šanta - povezanog sa milivoltmetrom (600 A/60 mV). Povezivanje obratka sa izvorom električne struje izvršeno je bakarno-grafitnom četkicom. Rezni alat je električki izoliran od njegovog nosača. Svi eksperimenti vršeni su na univerzalnom strugu "Prvomajska" - Niles - tip TVP-250. Za obradu korišćene su rezne pločice od tvrdog metala oblika SNMA-120408 i SPUN-120308 ne-

obložene kvaliteta K20 i P20 i obložene kvaliteta TNC-H^{Plus}. Posle postavljanja reznih pločica na držače dobijeni su sledeći uglovi reznog alata: $\gamma = -6^\circ$ i $\gamma = +6^\circ$, $\kappa = 75^\circ$, $\kappa_1 = 15^\circ$ i $\alpha = 5^\circ$. Materijal obradka bio je liveni visokomanganski čelik ČL 3461 proizvod Livni-
ce "Mačkatica" sa sledećim sastavom: 1,12 - 1,2%C, 11,74 - 11,82%Mn, 0,61 - 0,66%Cr, 0,93-
0,96%Si i 0,041 - 0,06%P. Pre obrade rezanjem obradci su termički obradjeni gašenjem u vo-
di, posle zagrevanja po posebnom režimu do 1323 K. Posle termičke obrade izmerene su slede-
će mehaničke karakteristike materijala: $\sigma_m = 583$ MPa, $\sigma_R = 325$ MPa, $\delta = 31\%$, $\psi = 24,5\%$, HB =
1990 - 2200 MPa. Sa obradka predhodno je skinuta kora i obradci su bili grubo obradjeni na
D = 110 mm i L = 400 mm.



Sl.1. Šema instalacije za elektrokontaktno zagrevanje istosmernom strujom. 1-obradak, 2-
rezni alat, 3-izolacija, 4-izivor el.struje (ispravljač), 5-bakarno-grafitna četki-
ca, 6-V metar za merenje napona, 7- mV metar za merenje jačine struje, 8-šant, 9-
sklopka za daljinsko uključivanje i isključivanje el.struje.

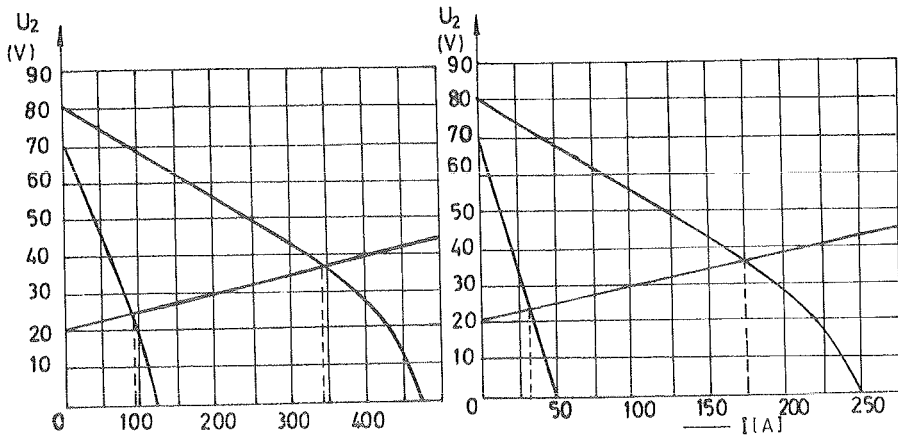
Za merenje otpora rezanja korišćen je trokomponentni induktivni merač otpora, sa posebnim
dodatkom za preobrazbu izlaznog signala za pisač. Merenje temperature rezanja vršeno je po-
moću radijacionog termometra - Infrascopie MARK-I. Hrapavost površine merena je pomoću Hom-
mel - Tester-a.

3. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

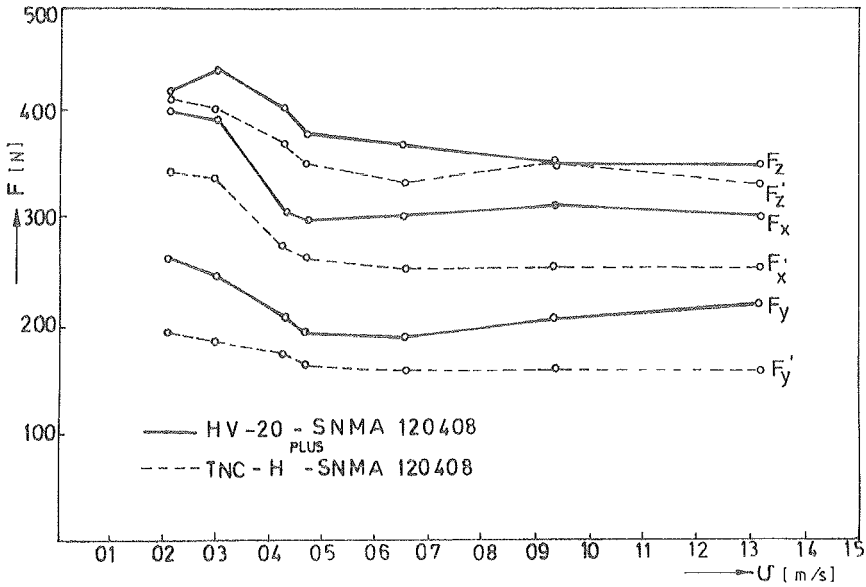
Eksperimenti su vršeni sa ciljem da se odredi efekat glavnih parametara rezanja kao što su
rezna brzina (v), posmak (s), dubina rezanja (δ), napadni ugao (κ) i gustina struje (q_{eo})
na otpore rezanja (F), trajnost reznog alata (T) i hrapavost obradjene površine (R_a, R_z).
Na sl.3. prikazana je promena otpora rezanja sa reznom brzinom, a na sl.4 promena otpora
rezanja sa promenom jačine struje (I), odnosno gustine (q_{eo}).

Iz dijagrama na sl.3 i 4 može se uočiti izvesan pad otpora rezanja sa povećanjem gustine
struje, što je uslovljeno porastom temperature u zoni rezanja. Iz dijagrama na sl.3 i 4 is-
to tako se može uočiti da obrada sa obloženim pločicama uslovljava manje otpore rezanja,

što je uslovljeno manjim koeficijentom trenja obloženih pločica.



Sl.2. Statičke karakteristike ispravljača. a) tip C3, b) tip C21

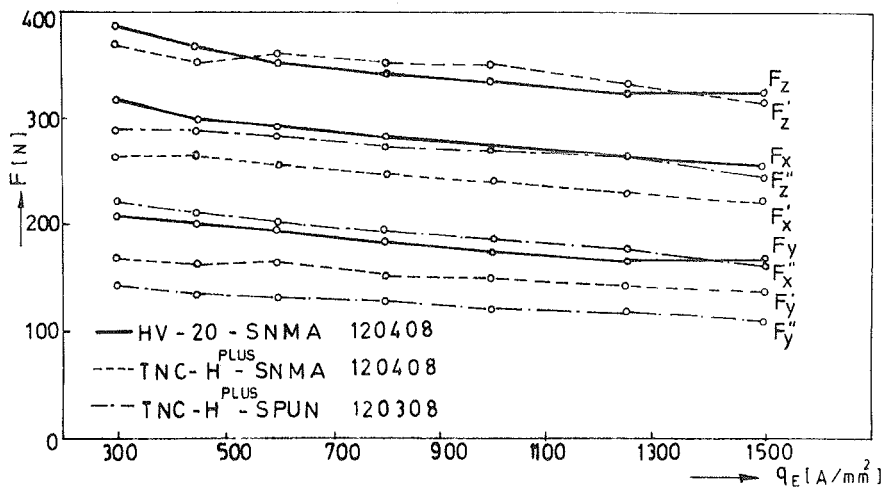


Sl.3. Promena otpora rezanja sa promenom brzine

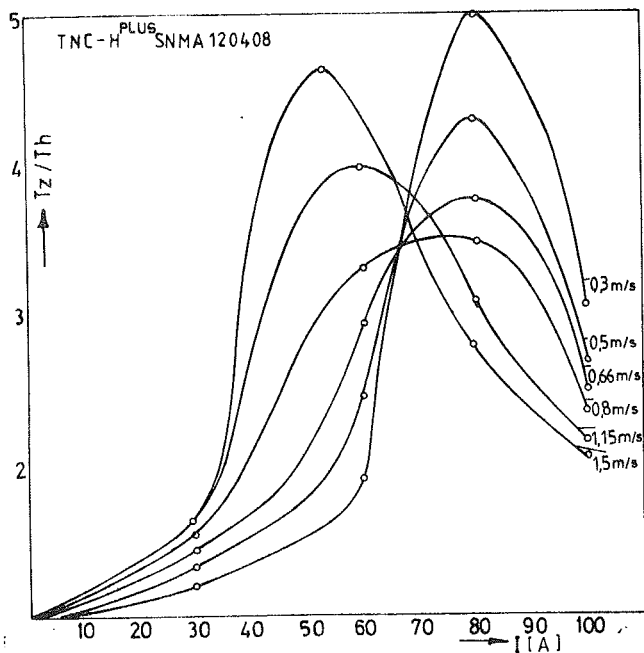
Ispitivanje trajnosti alata, vršeno je koristeći metodu promene intenziteta habanja sa reznom brzinom /2/, koja dozvoljava korišćenje univerzalnog struga i skraćuje postupak ispitivanja. Dobiveni rezultati ispitivanja prikazani su na sl.5,6 i 7 kao odnos trajnosti reznog alata pri obradi u zagrejanom stanju u odnosu na obradu bez elektrokontaktneog zagrevanja, a za različite rezne materijale.

Iz dijagrama na sl.5 i 6 može se videti da se primenom elektrokontaktneog zagrevanja može

poboljšati trajnost reznog alata u relativno širokom području primenjenih jačina električne struje i režima obrade.



Sl.4. Promena otpora rezanja sa promenom gustine električne struje



Sl.5. Uricaj jačine struje na trajnost reznog alata pri različitim brzinama rezanja

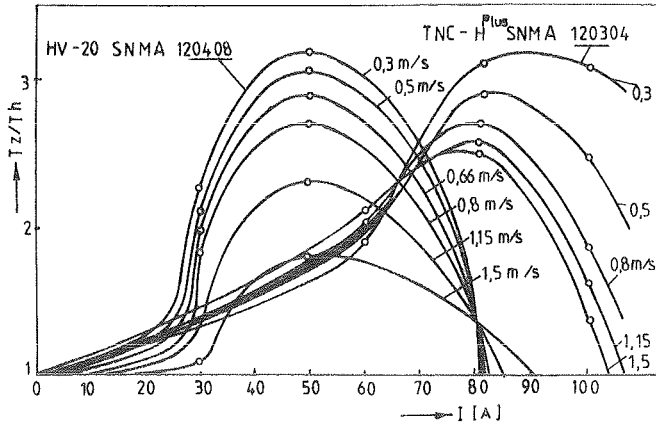
Iz ovih dijagrama isto tako se može videti da se odnos T_z/Th povećava sa smanjenjem brzine rezanja. Sa porastom jačine struje odnos T_z/Th se povećava do postizanja određenog maksimuma, a zatim počinje da opada, kao rezultat zagrevanja reznog alata preko određene kritične temperature.

Primenom električnog zagrevanja smanjuje se i hrapavost obradjene površine. Na sl.7. prikazana je promena hrapavosti od posmaka pri obradi bez zagrevanja (1) i sa zagrevanjem (2 i 3), a na sl.8 promena hrapavosti (R_a) sa promenom jačine struje za različite brzine rezanja.

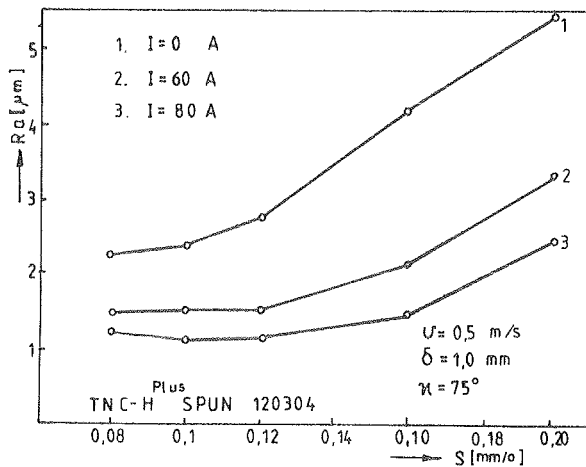
Iz dijagrama na sl.7 može se uočiti da je uticaj posmaka na hrapavost znatno veći pri obradi "na hladno" u odnosu na obradu sa zagrevanjem zone rezanja i da sa povećanjem jačine struje ovaj uticaj opada.

Iz dijagrama na sl.8 može se uočiti da se minimalna hrapavost dobija pri manjim jačina-

ma struje za obradu većim brzinama rezanja, što govori o postojanju optimalne temperature

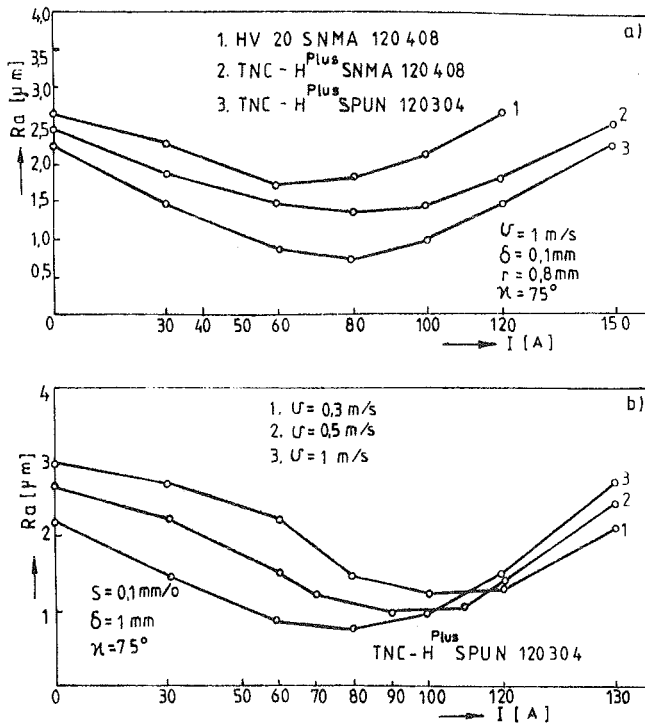


Sl.6. Uticaj jačine struje na trajnost reznog alata pri različitim brzinama rezanja



Sl.7. Uticaj posmaka na hrapavost obradjene površine za različite jačine struje

rezanja pri kojoj se dobija minimalna hrapavost. Naime pri obradi većim brzinama rezanja, da bi se postigla određena temperatura u zoni rezanja nužno je manje dopunsko zagrevanje obradivanog materijala.



Sl.8. Uticaj jačine struje na hrapavost obradjene površine. a) za različite vrste reznih pločica; b) za različite rezne brzine

4. ZAKLJUČCI

Iz napred izloženog jasno proizilazi da se primenom elektrokontaktne zagrevanja može postići bolja obradljivost visokomanganskih čelika. Pri ovome se uočava postojanje optimalne gustine struje pri kojoj se može postići najveća relativna trajnost reznog alata, koja može da dostigne i do pet puta.

Povećanje trajnosti reznog alata prema našem mišljenju, kod obrade visokomanganskih čelika predominantno je rezultat smanjivanja sposobnosti materijala za ojačanje u procesu rezanja, usled lokalnog porasta temperature na kontaktnim površinama, a ne usled smanjenja jačine materijala. Iz dijagrama na sl.4 može se uočiti da pad otpora rezanja sa porastom jačine struje nije tako izražen da bi uslovio značajnije povećanje trajnosti.

Lokalno omekšanje materijala u kontaktnim zonama gde imamo i najintenzivnije generiranje Jul-ove toplote smanjuje i efekat abrazivnog habanja, koje je jako izraženo kod obrade ovih materijala, gde izlučeni karbidi deluju brusno na rezni alat.

Porast temperature u zoni kontakta reznog alata sa obradjivanim materijalom i strugotinom, povoljno utiče i na smanjenje hrapavosti obradjene površine koja se smanjuje i do

2,5 puta.

Smanjenjem uticaja posmaka na hrapavost obradjene površine omogućuje primenu znatno većih posmaka i kod završne obrade, čime je omogućeno znatno povećanje produktivnosti obrade.

Kao i kod obrade bez zagrevanja i kod obrade zagrevanjem bolji rezultati dobijaju se primenom obloženih pločica sa TiC i TiN.

LITERATURA

- /1/ Schmidt A.O., Roubik J.R., Milling hot workpieces. Iron-Age, 1969 (separat)
- /2/ Трајковски С., Определување на обработливоста со режење врз база на промената на интензитетот на излижувањето на резачкиот алат, Зборник радова, XIV Југословенско саветовање производног машинства, Вања Лука, 1979.
- /3/ Трајковски С., Истражување на обработливоста на високоманганските австенитни челици со стружење на повисени температури. Истражувачки проект, Машински факултет, Скопје, 1983.

ŠTUDIJ OBRABNIH PROCESOV NA ORODJIH IZ KARBIDNIH TRDIN
STUDY OF WEAR PROCESSES ON CEMENTED CARBIDE TOOLS

J. Grum
P. Leskovar

Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo,
61000 Ljubljana, Jugoslavija

Ključne besede: POVZETEK: Prispevek prinaša značilne rezultate raziskav o obrabnih procesih na orodjih iz karbidnih trdin. Zasledovali smo obrabne procese pri obdelavi jekel za avtomate legiranih z žveplom in svincem. Izkazalo se je, da imajo omenjeni dodatki zaznaven vpliv na generiranje odrezka in enako pomemben vpliv na vrsto in velikost obrabe rezalnega orodja. Stanje površine orodja smo analizirali s posebno topografsko tehniko in elektronskim mikroskopom.

Rezalna orodja
Obrabni procesi
Karbidne trdine
Jekla za avtomate
Nekovinski vključki

Key words: ABSTRACT: The contribution presents some characteristic results of the investigation about the wear processes on cemented carbide tools. Wear processes were followed during machining free cutting steels alloyed by sulphur and lead. The results show that these inclusions have a considerable effect on chip generation and an equally important effect on the type and rate of wear on the cutting tool. The surface state was analysed with a special topographical method and an electronic microscope.

Cutting tools
Wear processes
Cemented carbides
Free cutting steels
Nonmetallic
inclusions

1. Uvod

Zahteve po daljši obratovalni dobi orodja ali konstrukcijskega elementa pogojujejo razvoj novih in kvalitetnejših materialov, ter za njih prirejene obdelovalne tehnologije. Zato je zelo pomembno, da v sklopu obdelovalne tehnologije čim boljše poznamo obdelovalne procese, s katerimi moramo obdelati surovec do izdelka s predpisanimi lastnostmi. To pa pomeni, da moramo z ozirom na funkcijo posameznih izdelkov izbrati ustrezne materiale in zanj tudi ustrezne obdelovalne tehnologije. Pri tem ne gre le za izbiro ustreznega obdelovalnega stroja, temveč tudi za izbiro kinematičnih pogojev za dano kombinacijo material obdelovanca in material orodja. Zato so raziskave usmerjene tako, da omogočajo napovedati čimboljše izkoriščenje stroja in orodja pri čim manjši porabi energije. Materiali za orodja, ki imajo višjo temperaturno obstojnost (HRC-T) omogočajo intenzivnejšo obdelavo istega materiala obdelovanca, kot v primerih, če uporabimo material orodja

z nižjo temperaturno obstojnostjo. Prav tako pa lahko močno vplivamo na razmere v obdelovalnem procesu s spreminjanjem geometrije orodja ter z uporabo hladilnega in/ali mazalnega sredstva. Toplotne razmere pri odrezavanju nastanejo zaradi deformacijskega dela v strižni coni, kjer moramo premagati notranje trenje in trenje zaradi drsenja obdelovanca oziroma odrezka ob orodje. Količina nastale toplote je močno odvisna od obdelovalnih pogojev in se odvaža v odrezek, obdelovanec ter orodje. Segrevanje odrezka ne povzroča posebnih težav, dočim pa segrevanje površine obdelovanca lahko pušča določene nezaželene učinke. Povišana količina nastale toplote na orodju pa intenzivira različne obrabne procese, kar vpliva na zmanjševanje obratovalne dobe orodja.

V razpravi želimo posvetiti posebno pozornost nekovinskim vključkom, ki se nahajajo v jeklu in se s procesom odrezavanja nanašajo tudi na cepilno ploskev orodja. Nekovinski vključki nastanejo v jeklu zaradi namensko dodanih legirnih elementov ali pa z uporabo primerne dezoksidacijskega sredstva pri pridobivanju jekla. Nekovinske sestavine na cepilni ploskvi orodja ustvarijo želeni zaščitni sloj pred difuzijskimi in obrabnimi procesi.

2. Zasnova raziskav

Za izvedbo preskusov s struženjem smo izbrali orodje iz karbidnih trdin domačega proizvajalca SINTAL iz Zagreba z oznako SPUN-SV 08 in kvalitete P10. Geometrijo orodja in pogoje rezanja smo določili na osnovi predhodnih raziskav opravljenih v laboratorijih LAKOS-a in LATEM-a na Fakulteti za strojništvo.

Geometrija orodja je definirana z geometrijo rezalne ploščice in geometrijo držala firme SANDVIK COROMANT z oznako SBPR-16M nr 1742-2525 M. Ploščica iz karbidne trdine je mehansko pritrjena na držalo.

Geometrija orodja:

α	γ	λ	κ	ε	r
5°	6°	0°	75°	90°	0,8 mm

Za analizo obrabnih procesov na orodjih smo izbrali za obdelavo tri vrste jekel, poznana kot jekla za avtomate. V tabeli 1 imamo prikazane kemijske sestave in mehanske lastnosti omenjenih jekel, od katerih sta dva z visokim indeksom obdelovalnosti č.3990 oziroma ATJ 100 Pb in jeklo za cementacijo ATJ 50C. Jekla z visokim indeksom obdelovalnosti imajo odstopanje v sestavi na drugem ali tretjem decimalnem mestu, le jeklo ATJ 100 Pb vsebuje 0,24 % Pb, dočim jeklo č.3990 le tega nima. Jeklo ATJ 50C se pa po sestavi močneje razlikuje in sicer ima večjo vsebnost ogljika, mangana in silicija ter manjšo vsebnost fosfora. Dane spremembe v koncentraciji posameznih elementov povečujejo obrabne učinke v tem jeklu. Ker pa je tudi količina žvepla in svinca v tem jeklu nižja, lahko pričakujemo najizrazitejše naraščanje obrabe. Mehanske lastnosti prikazane prav tako v tabeli 1 so z ozirom na kemijsko sestavo pričakovane pri predpostavki, da prisotnost svinca v jeklu na njih ne vpliva izraziteje.

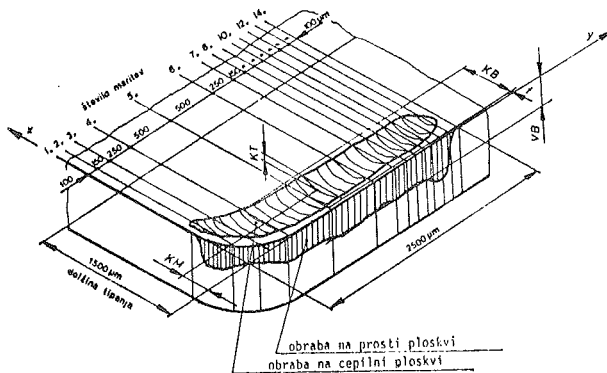
OZNAKA JEKLA ZA AVTOMATE		KEMIJSKA SESTAVA						MEHANSKE LASTNOSTI			
		C	Mn	Si	P	S	Pb	σ_M	$\sigma_{0,2}$	δ_5	HB
		%	%	%	%	%	%	N/mm ²	N/mm ²	%	-
jeklo z visokim indeksom obdelovalnosti	Č. 3990	0,10	1,05	0,06	0,09	0,30	-	500	310	9	155
	ATJ 100 Pb	0,12	1,06	0,05	0,084	0,30	0,24	585	310	9	175
jeklo za cementiranje	ATJ 50 C	0,15	1,31	0,30	0,018	0,106	0,21	622	290	17	175

Tabela 1 Kemijska sestava in mehanske lastnosti analiziranih jekel za avtomate

3. Eksperimentalni rezultati in analiza

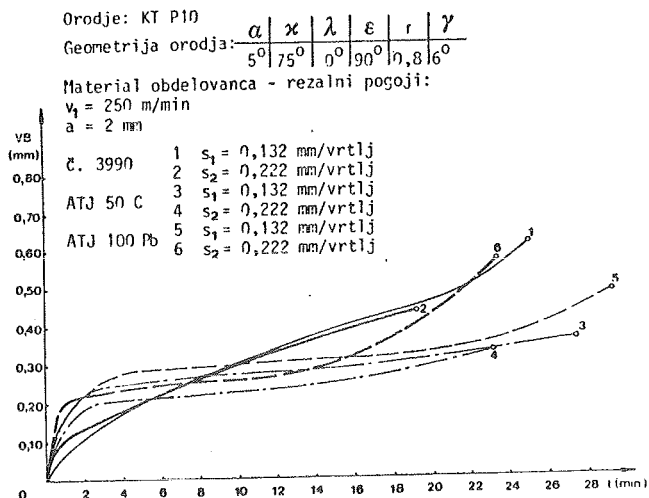
3.1. časovni potek obrabe na prosti in cepilni ploskvi

Slika 1 prikazuje značilne veličine, ki opisujejo obrabo rezalnega robu na prosti in cepilni ploskvi. Znano je, da se pojavi kotanjasta obraba v oddaljenosti "f" od rezalnega

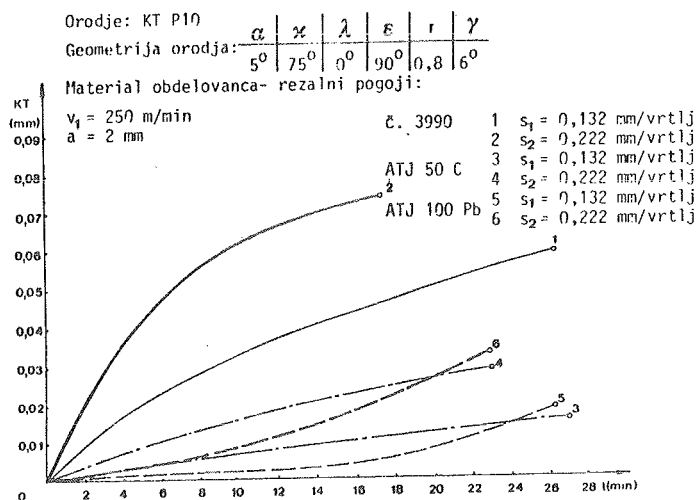


Slika 1 Karakteristike obrabe na rezalnem robu in potek meritev kotanjaste obrabe

robu. Medtem ko obraba orodja narašča, se kotanja približuje rezalnemu robu, kar povzroča slabšanje trdnostnih lastnosti. Pri tem se v začetni fazi naglo povečuje širina kotanje KB, dočim je njena globina KT bolj izrazita funkcija časa. Obraba na prosti ploskvi VB zaradi enostavnosti merjenja pogostokrat služi kot kriterij za zamenjavo orodja. Primerjava časovnega poteka obrabe na prosti ploskvi je prikazana na slikah 2 in 3 za vse tri vrste jekel pri rezalni hitrosti $v_1 = 250$ m/min ter obeh podajalnih hitrostih $f_1 = 0,132$ mm/vrt. in $f_2 = 0,222$ mm/vrt. V splošnem lahko ugotovimo, da imajo vse krivulje obrabe na prosti ploskvi podobno tendenco naraščanja. Obrabo na prosti ploskvi lahko razdelimo v tri faze: v začetku narašča obraba močno, pozneje komaj zaznavno in



Slika 2 Primerjava časovnega poteka obrabe na prosti ploskvi VB pri obdelavi danih jekel z različnimi rezalnimi pogoji



Slika 3 Primerjava časovnega poteka največje globine kotanje KT pri obdelavi danih jekel z različnimi rezalnimi pogoji

na koncu zopet zelo močno. V zadnji fazi lahko pride tudi do zloma orodja. Kdaj pride do zloma rezalnega roba je v tesni povezavi z naraščanjem globine kotanje KT na cepilni ploskvi oziroma od hitrosti zmanjševanja nosilnega roba na orodju.

Pri zasledovanju obrabe na prosti ploskvi pri rezalni hitrosti $v_f = 250 \text{ m/min}$ in obeh podajanjih f_1 in f_2 , kakor je prikazano na sliki 2, lahko povzamemo naslednje:

- Na orodjih s katerimi smo obdelovali jekli ATJ 50C in ATJ 100 Pb lahko zaznamo vsa tri značilna področja obrabe.
- Na orodju s katerim smo obdelovali jeklo č.3990 lahko zaznamo, da se prvo in tretje področje obrabe zlijeta z bolj ali manj intenzivno naraščajočo obrabo. V tem primeru ne opazimo značilnega drugega področja s stabilno obrabo, ki je nujno potrebna za zagotavljanje primerne obratovalne dobe orodja.
- Najugodnejše obrabne razmere v danem primeru zaznamo na orodju s katerim smo obdelovali jeklo ATJ 50 C, saj po skoraj 30 minutah obratovanja ne zaznamo prehoda v tretje področje; to je področje intenzivne obrabe orodja, ki vodi v porušitev.
- Obraba na prosti ploskvi orodja je skoraj neodvisna od podajanja, očitnejša pa je razlika v globini po istih časih rezanja.

Pri zasledovanju obrabe na cepilni ploskvi lahko iz slike 3 povzamemo naslednje:

- časovno naraščanje obrabe na cepilni ploskvi orodja s katerim smo obdelovali jekli ATJ 50 C in ATJ 100 Pb je zelo počasno. Pri zasledovanju obrabe lahko šele po daljšem času rezanja opazimo ugodnejši potek pri obdelavi jekla ATJ 50 C.
- Obraba na cepilni ploskvi je znatno intenzivnejša na rezalnem robu s katerim smo obdelovali jeklo č.3990. Na tem orodju zaznamo obrabo cepilne ploskve $KT = 15 \dots 30 \mu\text{m}$ po 2 ... 4 minutah rezanja, kar dosežemo pri obdelavi jekel ATJ šele med 28 ... 30 minutah rezanja.

Navedeni podatki nam potrjujejo, da je zelo pomembno istočasno zasledovanje spreminjanja obrabe na prosti ploskvi VB in naraščanje globine kotanje KT na cepilni ploskvi pri enakih pogojih rezanja. Globina kotanje najhitreje narašča pri jeklu č.3990, ki vsebuje kot legirni element samo žveplo, dočim pri drugih dveh jeklih nekoliko močnejše narašča kotanja pri podajanju f_2 , kakor pri podajanju f_1 . Jekli ATJ 100 Pb in ATJ 50 C imata kljub različnim vsebnostim legirnih elementov (žveplo, svinec) precej podoben in pričakovan potek naraščanja globine kotanje KT. Globina kotanje je na orodju pri obdelavi jekla ATJ 100 Pb le nekoliko večja, kakor na orodju pri obdelavi jekla ATJ 50 C. Globina kotanje pa je zelo izrazita pri jeklu č.3990 in je skoraj 4 x večja kot pri ostalih dveh jeklih.

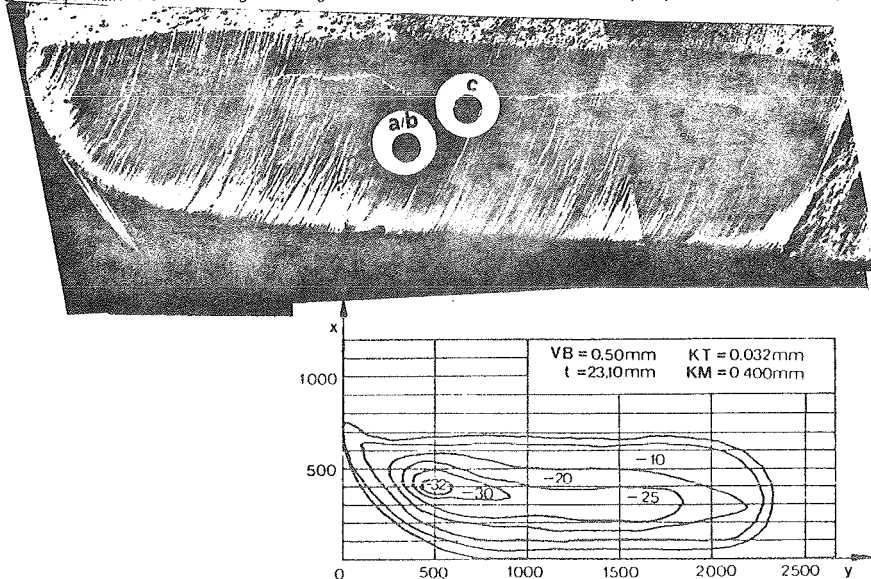
3.2. Zasledovanje nalepkov na prosti in cepilni ploskvi z elektronsko mikroskopijo

Posamezne rezalne robove smo pregledali na elektronskem mikroskopu z mikroanalizatorjem. Izmed množice posnetkov smo izbrali nekaj značilnih primerov, ki pojasnjujejo različne procese med odrezavanjem. Zanimivosti na katere smo naleteli so zelo pomembne za tolmačenje obrabnih procesov na prosti in cepilni ploskvi orodja in so naslednje:

- obraba na prosti in cepilni ploskvi orodja z gladko zglačeno površino;
- obraba na cepilni ploskvi z enakomerno oziroma neenakomerno nalepljenimi nekovinskimi sestavinami;
- lokalne porušitve rezalnega robu, ki dopuščajo nemoteno nadaljno obdelavo;
- zajede na koncu kotanjaste obrabe;

- močnejše poškodbe rezalnega robu, ki otežkočajo nadaljno obdelavo;
- porušitev rezalnega robu, ki onemogoča nadaljno obdelavo.

Na sliki 4 je prikazana prosta in cepilna ploskev rezalnega robu, s katerim smo obdelovali jeklo ATJ 100 Pb z naslednjimi rezalnimi pogoji: $v_1 = 250$ m/min, $f_2 = 0,222$ mm/vrt. in $a = 2,0$ mm. Posnetek je narejen na elektronskem mikroskopu pri 100 kratni povečavi.



Slika 4 Rezalni rob orodja iz karbidne trdine P10 (povečava 100 x) s topografijo kotanjaste obrabe

Rezalni pogoji: $v_1 = 250$ m/min; $f_2 = 0,222$ mm/vrt.; $a = 2,0$ mm
 Material obdelovanca: ATJ 100 Pb

Topografski podatki so prikazani na paralelni sliki, ki smo jo pridobili s 14-timi linijskimi prerezi po koordinatni osi y. Slika dane površine rezalnega robu je nastala po obratovalnem času $t = 23,10$ min z obrabo na prosti ploskvi $VB = 0,50$ mm, dočim obrabo cepilne ploskve popišemo z najglobljo točko kotanje $KT = 32 \mu\text{m}$. Le-ta je oddaljena od rezalnega robu $KM = 400 \mu\text{m}$ pri dani širini kotanje $KB = 700 \mu\text{m}$. Najgloblja točka kotanje $KT = 32 \mu\text{m}$ se nahaja na koordinatah $x = 400 \mu\text{m}$ in $y = 500 \mu\text{m}$, kar je razvidno tudi iz posnetka na elektronskem mikroskopu. Tako prosta kot cepilna ploskev rezalnega robu sta gladko oblikovani. V danem primeru lahko opazimo na cepilni ploskvi rezalnega robu nekaj zanimivih detajlov in sicer:

- V oddaljenosti $650 \mu\text{m}$ od rezalnega robu je na dolžini $450 \mu\text{m}$ izraziteje nagnetenena nekovinska sestavina, ki jo v pretežni meri sestavlja mangan sulfid. Nato ob prekinitvi $200 \mu\text{m}$ sledi naslednji pas enako nagnetenega mangan sulfida v dolžini $750 \mu\text{m}$, ki je prekinjen tik ob izteku kotanje.

- Druga značilnost sorazpoke na cepilni ploskvi, ki so izrazitejše v predelih močnejše nagnetenega mangan sulfida in so zelo lepo vidne že pri razmeroma majhnih povečavah.
- V drugem delu nagnetenega mangan sulfida pa se vidijo tudi manjše odtrganine, ki potekajo vzdolž brazd v kotanji.

Na sliki 5 je prikazan detajl kotanje, ki je označen na sliki 6 tudi za Da. Opazovano mesto je v sredini med predeloma z močnejše nagnetenim mangan sulfidom. Na detajlu so v sredini kotanje razpoke velikostnega razreda do $100\ \mu\text{m}$ in se zmanjšujejo proti začetku in koncu širine kotanje na velikost do $40\ \mu\text{m}$. Detajl kaže tudi na nekaterih mestih močno poudarjene sence ob razpokah mangan sulfida. Iz tega bi lahko sklenili dvoje:

- na popolno odluščeni segment razpokanega mangan sulfida, ki ga je odrezek že odnesel;
- ali pa na delno odluščeni in dvignjeni segment razpokanega mangan sulfida.

To je še bolj nazorno vidno iz detajla Db na sliki 6. Označeni izsek na detajlu predstavlja razpoko pri kateri je en del še odluščen, drugi desni del pa je še zlepljen z osnovno



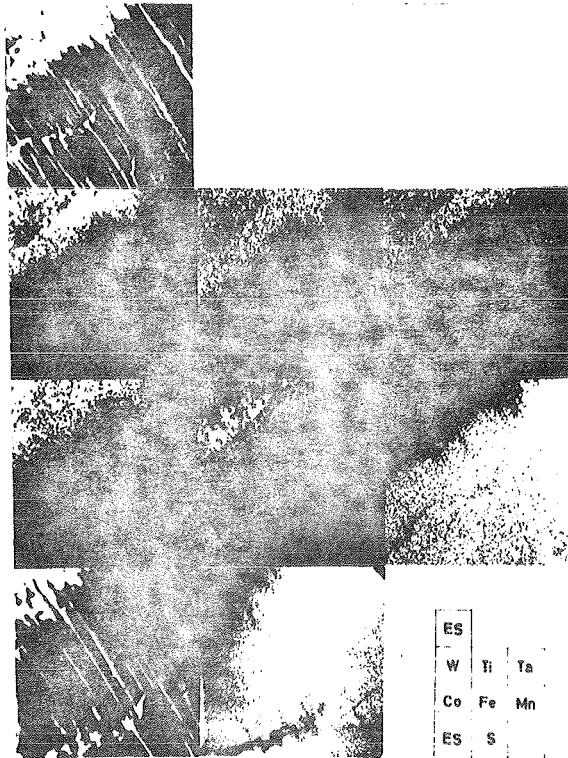
Slika 5 Detajl rezalnega robu iz karbidne trdine P10 (pov. 300 x)
Material obdelovanja: ATJ 100 Pb
Rezalni pogoji: $v_1 = 250\ \text{m/min}$
 $f_2 = 0,222\ \text{mm/vrt.}$
 $a = 2,0\ \text{mm}$



Slika 6 Detajl rezalnega robu iz karbidne trdine P10 (pov. 1000 x)
Material obdelovanja: ATJ 100 Pb
Rezalni pogoji: $v_1 = 250\ \text{m/min}$
 $f_2 = 0,222\ \text{mm/vrt.}$
 $a = 2,0\ \text{mm}$

matico karbidne trdine. Zanimiva je okolica te razpoke predvsem na mestu odluščenega mangan sulfida na levem delu detajla. Pojavlja se močnejše izražena plastična deformacija mangan sulfida z manj izrazito in relativno tanko debelino tega dela. Z natančnejšim pregledom poteka brazd, ki jih pušča odrezek, kot posledica plastične deformacije v sloju mangan sulfida pa lahko ugotovimo, da so brazdi usmerjeni pod kotoma ϵ_1 in ϵ_2 , ki pa se rahlo razlikujeta med seboj. To pomeni, da brazdanje ni produkt trenutnega ampak večkratnega tečenja odrezka s pomembnim vplivom razlik v debelini MnS. Ta razlika pospeši efekt gnetenja MnS na nižjih delih kotanje. Na isti sliki so poudarjeno nakazane tudi širine razpok na sloju MnS. Širina razpok je največja na spodnjem levem delu, kar je posledica tečenja odrezka in lege vseh sosednjih razpok. Opazne pa so tudi odtrganine in rahlo nagnete brazde, predvsem na predelu kotanje z največjo globino.

Na sliki 7 je prikazana točkovna mikroanaliza elementov glede na detajl Dc po sliki 6. Slika 7 kaže v zgornjem desnem vogalu analizirani detajl, ki se nahaja v srednjem delu kotanje pri koordinatah $x = 500 \mu\text{m}$ in $y = 750 \mu\text{m}$. Naslednja skupina slik v drugi vrsti predstavlja prisotne elemente, ki tvorijo z ogljikom karbide. V rezalni ploščici W-Co. Posnetki pojasnjujejo, da je kotanja skoraj brez sledu W, Ti, Ta in Co, prekrivajo pa jih elementi, ki izvirajo iz obdelovanca. To so Fe, Mn in S. Železo se nahaja v največji koncentraciji ob izteku kotanje, postopoma pa koncentracija železa pada proti sredini kotanje. Kotanja pa je predvsem prekrita z Mn in S, ki tvorita MnS in se nahajata v kemično vezanem stanju že v jeklu.



Slika 7 Koncentracija elementov v kotanji rezalnega robu (detajl Dc)

Rezalni pogoji: $v_1 = 250 \text{ m/min}$

$f_2 = 0,222 \text{ min/vrt.}$

$a = 2,0 \text{ mm}$

Material obdelovanca: ATJ 100 Pb

4. Sklepi

Iz analize rezultatov lahko sklenemo naslednje:

- Obraba na prosti ploskvi rezalnega robu ne daje realne slike o stanju orodja. Obraba na prosti ploskvi in globina kotanje ne naraščata sorazmerno. Vzrok za takšne

razmere je nastajanje bolj ali manj učinkovite zaščitne plasti na cepilni ploskvi orodja.

- V našem primeru smo ugotovili, da ima na nastanek zaščitnega sloja občuten vpliv razmerje mangana in žvepla v jeklu. Pogostost in velikost vključkov mangan sulfida v jeklu mora v stiku z orodjem pri odrezavanju zagotoviti vzdrževanje zaščitnega sloja na kotanji. Omehčani mangan sulfid se nagne na dnu kotanje po kateri teče odrezek in ščiti orodje pred abrazivnimi in difuzijskimi procesi. Mangan sulfid ima zelo dobre mazalne sposobnosti (manjši koeficient trenja) in je v tankih slojih zelo prožen. Ko pa plast mangan sulfida na dnu kotanje preide kritično debelino, se prožnost močno zmanjša in ne prenese napetosti, ki se pojavljajo pri ohlajanju, kot rezultat različnih razteznostnih koeficientov osnove in povrhnje plasti kotanje. Posledice takšnega stanja so razpoke v površinskem sloju kotanje velikostnega razreda $20 - 40 \cdot 10^{-3}$ mm. Večje debeline mangan sulfida zasledimo le pri manjših hitrostih v_1 , z naraščajočo hitrostjo pa se debelina plasti zmanjšuje in celo izgine.
- Razmerje med dolžino in debelino vključkov mangan sulfida je zelo pomembno. Najugodnejša oblika je tista, pri kateri je razmerje od 1 do 4, nato pa učinek nastajanja zaščitne plasti postopoma upada. To pa pomeni, da moremo poleg ustrezne kemične sestave mangana in žvepla zagotoviti tudi ustrezno velikost nastalih vključkov mangan sulfida, kar vpliva na nastanek bolj ali manj učinkovitega zaščitnega sloja na orodju.

5. Literatura

- /1/ Leskovar P., Grum J.: The Metallurgical Aspects of Machining, Annals of the CIRP, vol. 35, no. 2, 1986, 537 - 550.
- /2/ Leskovar P., Grum J.: Characteristics of the Wear Process in the Cutting of Free Cutting Steels, Int. J. Prod. Res., vol. 21, no. 5, 1983, 691 - 712.
- /3/ Grum J., Leskovar P.: Analysis of the Wear Process in the Cutting of Free Cutting Steels, XX. Yugoslav Conference on Production Engineering, Beograd, 1986, 83-89.
- /4/ Mathew P., Oxley P.L.B.: Predicting the Cutting Conditions at which Built - Up-Edge Disappears when Machining Plain Carbon Steels, Annals of the CIRP, vol. 29, no. 1, 1980, 11 - 14.
- /5/ Trent F.M.: Metal Cutting, Second Edition, Butterworths, London, 1984.
- /6/ Opitz H.: Moderne Produktions technik - Stand und Tendenzen, 3. Auflage, Verlag W. Girardet, Essen, 1971.
- /7/ Joseph R.A., Tipnis V.A.: The Influence of Non-Metallic Inclusion on the Machinability of Free - Machining Steels, American Society for Metals, No. 7, 1975, 55 - 71.
- /8/ Tosaka K., Akasowa T., Kuroiwa K.: Effect of Oxides and Sulfides on Machinability of Steels, American Society for Metals, No. 7, 1975, 130 - 142.

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

ANALIZA UTICAJNIH PARAMETARA NA HRAPAVOST OBRADJENE
POVRŠINE KOD RAVNOG BRUŠENJA

THE ANALYSIS OF INFLUENTIAL PARAMETREERS ON THE ROUGHNESS OF
WORKED SURFACE AT PLANE GRINDING

D. Randjić Tehnički fakultet, Čačak, Univerzitet "Svetozar Marković"
R. Ječmenica 32000 Čačak, Jugoslavija
B. Kršljak

Ključne reči:

Čelik
Hrapavost
Tocilo
Brušenje

SAŽETAK: Da bi se obezbedila neophodna eksploataciona osobina brušenih delova, potrebno je postići što manju hrapavost. U radu je analizirana hrapavost površine pri ravnom brušenju zavisna od mnogih uticajnih parametara kao što su osobine materijala koji se obradjuje, vrsta tocila i oština njegovih reznih zrna, režimi brušenja, athezija, vibracije u sistemu radni komad-mašina-tocilo i dr. Sva razmatranja i zaključivanja su eksperimentalno ob-razložena i potvrđena za slučaj ravnog brušenja.

Key words:

Steel
Roughness
Grindstone
Grinding

ABSTRACT: In order to provide the necessary exploiting characteristic of the ground parts, the less roughness is achieved the better. Surface roughness at plane grinding dependent on a number of influential parameters such as working material properties, a kind of grind stone and the sharpness of its cutting angles, grinding regime, adhesion, vibration in the system workpiece-machine-grindstone, is analyzed in the paper. All investigations and conclusions are experimentally explained and confirmed for the case of plane grinding.

1. Uvod

Proces brušenja je medju najstarijim postupcima obrade koji je našao veliku primenu u proizvodnom mašinstvu. S obzirom na složenost geometrije alata za obradu brušenjem, sa slučajnim rasporedom reznih zrna, i samog procesa brušenja u odnosu na ostale postupke obrade, ovaj proces se počeo intenzivnije proučavati zadnje dve do tri decenije.

Kako razvoj savremene tehnike zavisi od eksploatacionih osobina delova, veka trajanja i drugih pokazatelja, to je potrebno obezbediti visoki

kvalitet površine. Zato se primenjuju završne metode obrade. Jedna od tih metoda najrasprostranjenija u mašinskoj obradi je proces brušenja kojim se može postići visoki kvalitet i dimenzionalna tačnost. Zato se nameće potreba stalnog usavršavanja procesa brušenja pa u tom cilju mnoge visokoindustrijske zemlje imaju uradjene programe ispitivanja iz oblasti brušenja za duži period vremena.

U radu analizirani uticajni parametri na kvalitet obrade pri brušenju čelika Č.4750 okaljen na $62^{+0,5}$ HRC sa kolutastim točilom 2B 54 K8V, znači točilom odredjene zrnatosti pri čemu su varirani režimi rezanja, odnosno vršeno je menjanje brzine radnog stola, poprečnog koraka i dubine rezanja.

2. Uticajni parametri na kvalitet obrade pri brušenju

Da bi se obezbedila neophodna eksploataciona osobina brušenih delova, potrebno je postići što manju hrapavost. Hrapavost površine zavisi od osobina materijala radnog komada koji se obradjuje, od vrste točila i oštirine njegovih reznih zrna, režima brušenja, vrste brušenja, odnosno načina brušenja, od athezije, vibracija u sistemu radni komad - mašina - točilo i dr.

Geometrijsku šemu obrazovanja hrapavosti svi istraživači su posmatrali uzimajući u obzir izvesna ograničenja. Tako na primer u radu /4/ je pri izvodenju formule za proračun preseka skinute strugotine uzeto da se abrazivna zrna nalaze na jednakom rastojanju od ose okretanja točila i slede jedna drugo. Po P.I. Jašćericiu /4/, ako se projektuju sva zrna na radnom delu točila na jednu ravan obrazovana rezna kontura, kopira svoje neravnine prisutne u zoni kontakta na obradjivanu površinu. Znači, da što je manja neravnina rezne konture, manja je i hrapavost.

Profesor A.A.Matalin je razmatrajući obrazovanje hrapavosti uzimao u obzir plastičnu deformaciju, geometrijske faktore i vibracije koje se javljaju. On je dokazao da usled visokih temperatura metal skinut sa strugotinom kao i obradjivana površina se omekšavaju i pokrivaju formirane riseve. Ova pojava nekada može povećati hrapavost, a pri jačem toplotnom delovanju umanjiti.

Uzimanjem u obzir najuticajnijih parametara na hrapavost u procesu brušenja, može se dati zavisnost srednjeg aritmetičkog odstupanja profila Ra u obliku:

$$Ra = A \cdot v^a \cdot s^b \cdot t^c$$

gde je:

A - konstanta koja uzima u obzir sve ostale uticaje,

a,b,c - konstante koje je neophodno odrediti,

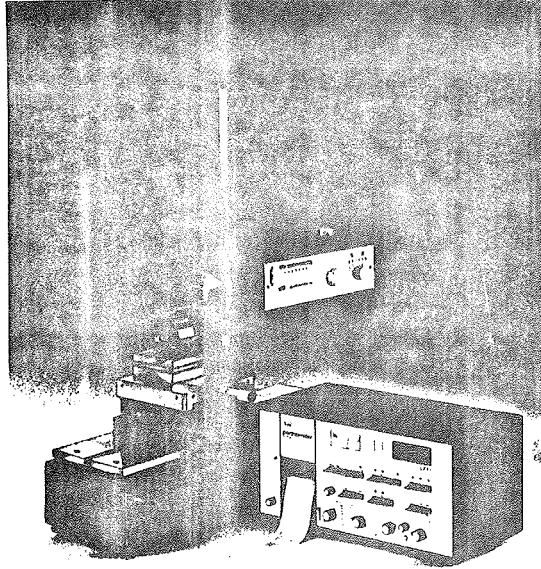
v - brzina stola,

s - poprečni korak,

t - dubina rezanja.

Eksperimentalno merenje hrapavosti vršeno je na PERTHOMETRU S5P Fabrike

reznog alata u Čačku. Posmatrana je hrapavost u uzdužnom i poprečnom pravcu kretanja alata i radnog komada. Uredjaj za merenje hrapavosti prikazan je na slici 1.

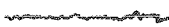





Sl.1. Perthometar S5P za merenje hrapavosti

Perthometar S5P je električni merni uredjaj za registrovanje profila i pokazivanja mernih vrednosti. Radi na principu opipavanja - tastovanja, gde merni taster svojim vrhom opipava oblik površine duž deonice i signal se prenosi na električni pretvarač merne vrednosti.

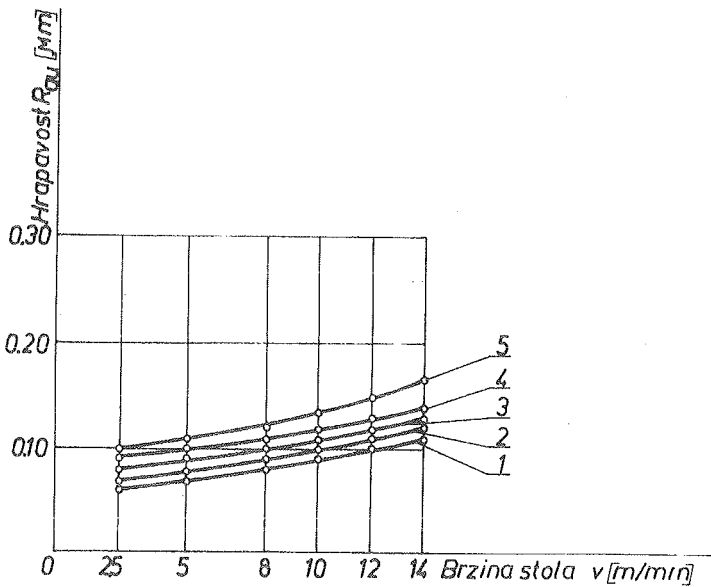
Radi ilustracije dat je na slici 2. zapis hrapavosti u uzdužnom i poprečnom pravcu pri brušenju čelika Č.4750 za proizvoljno izabrane režime. Na slikama 3,4,5. i 6. prikazana je zavisnost hrapavosti R_{au} u uzdužnom pravcu i R_{ap} u poprečnom pravcu u μm od brzine $v/m/min/$ pri brušenju čelika Č.4750 sa tocilom 2B54KBV, za poprečni korak $s = 0,5; 1,5 mm/h$ i dubinom t u mm. Može se zaključiti da sa porastom brzine stola v raste hrapavost i to dosta naglije u zonama većih brzina.

Ako su ostali parametri ostali nepromenjeni, sa povećanjem brzine stola smanjuje se broj susreta zrna tocila sa radnim komadom, raste skidanje metala u jedinici vremena, verovatno se povećavaju i vibracije u sistemu, što sveobuhvatno dovodi do povećanja hrapavosti obradjivane površine. Naročito je to izraženo kod većih brzina stola reda veličine od 10 m/min pa nadalje.

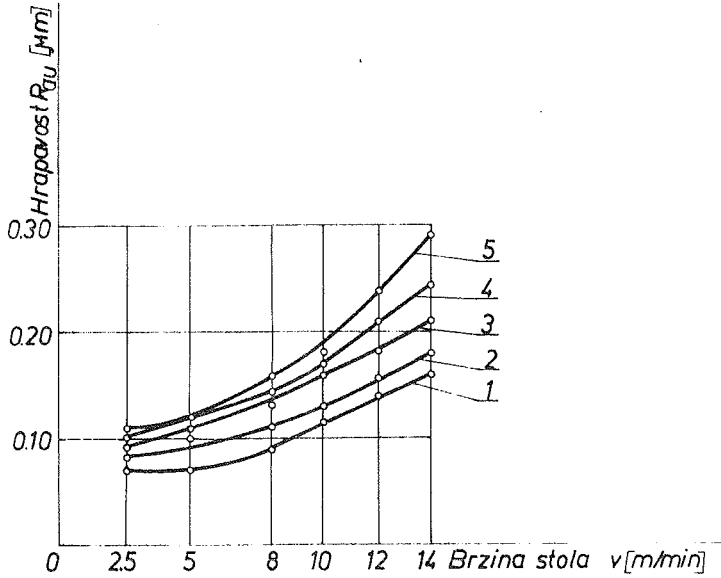
	RMAX 0,73 μm	RZ 0,51 μm	RA 0,06 μm	RT 0,73 μm		RMAX 0,77 μm	RZ 0,50 μm	RA 0,06 μm	RT 0,77 μm
---	-------------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	---	-------------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------

	RMAX 2,05 μm	RZ 1,88 μm	RA 0,34 μm	RT 2,25 μm		RMAX 2,16 μm	RZ 1,70 μm	RA 0,27 μm	RT 2,19 μm
---	-------------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	---	-------------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------

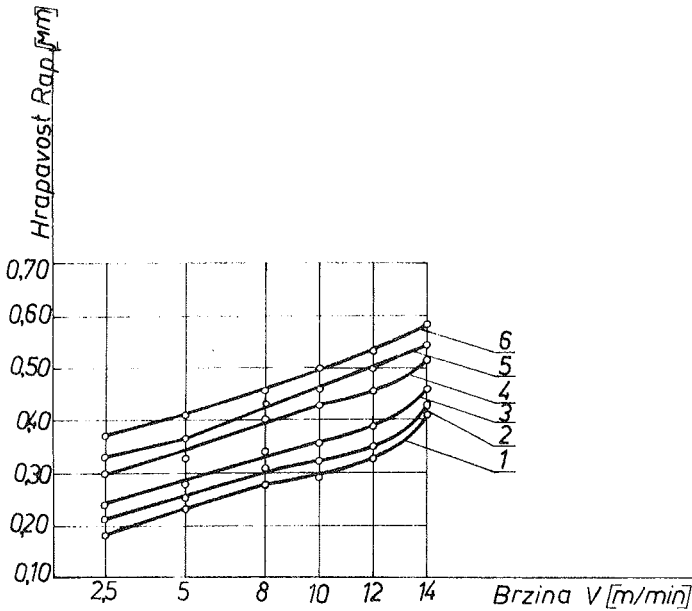
Sl.2. Zapisji hrapavosti u poprečnom i uzdužnom pravcu



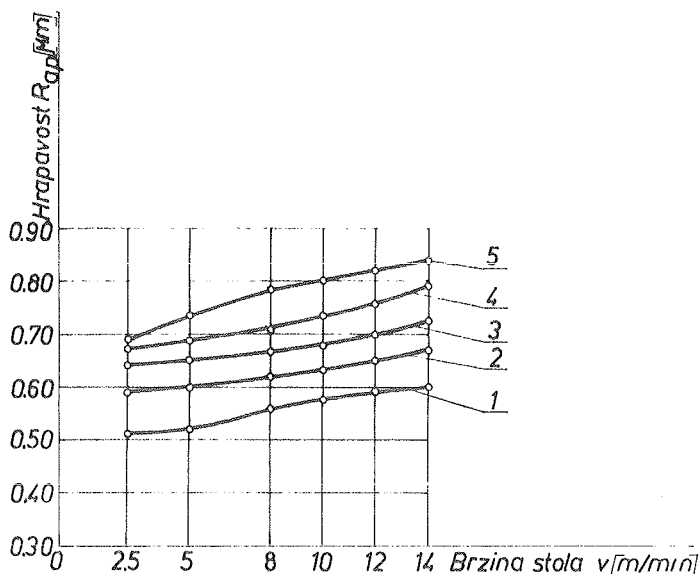
Sl.3. Zavisnost hrapavosti R_{au} od brzine stola v za poprečni korak $s=0,5$ i dubine t , 1 - 0,01
2 - 0,02 3 - 0,04 4 - 0,06 5 - 0,08



Sl.4. Zavisnost hrapavosti R_{au} od brzine stola v za poprečni korak $s = 1,5$ i dubine t , 1 - 0,01
2 - 0,02 3 - 0,04 4 - 0,06 5 - 0,08



Sl.5. Zavisnost hrapavosti R_{ap} od brzine stola pri brušenju čelika Č.4750 sa točilom 2B54K8V sa poprečnim korakom $s = 0,5$ i dubinom t , 1 - 0,01
2 - 0,02 3 - 0,04 4 - 0,06 5 - 0,08



Sl.6. Zavisnost hrapavosti R_a od brzine stola pri brušenju čelika Č.4750 sa točilom 2B54K8V sa poprečnim korakom $s = 1,5$ i dubinom t , 1 - 0,01
2 - 0,02 3 - 0,04 4 - 0,06 5 - 0,08

Sa povećanjem dubine brušenja povećava specifični rad svakog zrna, a to dovodi do povećanja količine skinutog materijala sa radnog komada. Samim tim raste sila rezanja, javljaju se visoke kontaktne temperature, dolazi do elastičnih deformacija u sistemu, a takodje i do vibracija, što neminovno dovodi do povećanja hrapavosti.

Sa porastom poprečnog koraka pri ostalim nepromenjenim uslovima dolazi do povećanja hrapavosti. To je naročito izraženo kod većih brzina radnog stola, odnosno radnog komada, gde je povećanje hrapavosti mnogo izraženije kod poprečnog koraka $s = 1,5$ mm/h nego što je to kod koraka $s = 0,5$ mm/h. U izvedenom eksperimentu nije posmatran uticaj zatupljenja točila i njegov uticaj na hrapavost, već je, da bi se to izbeglo, vršeno oštrenje dijamantom posle brušenja svakog uzorka.

Da bi se odredila zavisnost hrapavosti od najuticajnijih parametara, tj. $R_a = A \cdot v^a \cdot s^b \cdot t^c$ može se koristiti metoda najmanjih kvadrata. Ovom metodom prikazanoj u radu /1/ dolazi se do sistema linearnih jednačina:

$$\begin{aligned}
 a_{11}x_1 + \dots + a_{1n}x_n &= a_{1,n+1} \\
 a_{21}x_1 + \dots + a_{2n}x_n &= a_{2,n+1} \\
 \dots & \\
 a_{n1}x_1 + \dots + a_{nn}x_n &= a_{n,n+1}
 \end{aligned}$$

koji se može rešiti Gausovom metodom eliminacije /2/ koja se ovde neće navoditi.

Na osnovu navedenog može se uraditi algoritamska šema i odgovarajući program.

Rezultati dobijeni metodom najmanjih kvadrata nisu u radu dati, ali se može konstatovati /1/ da se oni nisu razlikovali od rezultata, dobijenih eksperimentalnim putem za više od 8% što se može smatrati zadovoljavajuće.

3. Zaključak

Ravno brušenje je složen proces obrade na koga utiču mnogi parametri vezani za mašinu, materijal radnog predmeta, prethodni termički tretman, vrsta i kvalitet tocila, režimi brušenja i drugo.

Radi potpunijeg sagledavanja kvaliteta radnog predmeta, merena je hrapavost u uzdužnom i poprečnom pravcu i konstatovano da su najuticajniji parametri na hrapavost korad s , dubina t i brzina v . Koristeći metod najmanjih kvadrata i metodu Gausove eliminacije, može se uraditi program, odnosno algoritam i algoritamska šema za određivanje hrapavosti R_a od najuticajnijih parametara.

4. Literatura

- /1/ Randjić D., Razvoj metode optimalnog upravljanja procesa brušenja preko temperaturnih polja nastalih u zoni rezanja, doktorska disertacija, Kragujevac, 1983.
- /2/ Parezanović N., Računske mašine i programiranje, Beograd, 1974.
- /3/ А.А. Икимов, Оптимизация процесса шлифования, Машиностроение, Москва, 1975.
- /4/ Н.И. Яцерицин, А.К. Цокур, М.Л. Еременко, Тепловые явления при шлифовании и свойства обработанных поверхностей, Издательство Наука и техника, Минск, 1973.

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

UTICAJ SREDSTAVA ZA HLADJENJE I PODMAZIVANJE NA KARAKTERISTIKE BRUŠENIH
POVRŠINA

THE EFFEKTS OF CUTTING FLUID ON SURFACE QUALITY IN PLANE GRINDING

M. Babić Mašinski fakultet Kragujevac, Univerzitet "S. Marković"
B. Vasiljević 34 000 Kragujevac, Jugoslavija

Ključne reči: REZIME: U radu se daju i analiziraju rezultati eksperimentalnog istraživanja uticaja sredstava za hlađenje i podmazivanje (SHP) na kvalitet površina obradjenih ravnim brušenjem u širokom rasponu variranih parametara režima obrade. Pri tome se pod pojmom "kvalitet obradjenе površine podrazumevaju kako mikrogeometrijske, tako i fizičko-mehaničke karakteristike površinskog sloja. Za izražavanje stanja mikrogeometrije korišćeni su osnovni visinski (R_a , R_p , R_{max}) i strukturni (t_p , b ,) parametri hrapavosti, dok je stanje obradjenih površinskih slojeva izraženo mikrotvrdocom materijala.

Keywords: ABSTRACT: Presented in the paper is an analysis of the results of an experimental investigation of the effects of cutting fluid on surface quality in plane grinding, within a wide range of machining parameters varied. The term "surface quality" is meant here to encompass both the characteristics of the microgeometry, and the physico-mechanical properties of the machined surface. The state of the microgeometry is described by means of basic height (R_a , R_p , R_{max}), and structural (t_p , b ,) roughness parameters, whereas the state of the machined surface layers is expressed by means of the material micro-hardness.

UVODNO RAZMATRANJE

Brušena površina nastaje u uslovima velikih specifičnih mehaničkih i toplotnih naprezanja i njen kvalitet se izražava geometrijskim i fizičko-mehaničkim pokazateljima.

Mikrogeometrija brušene površine ne predstavlja, kako se to često u literaturi sreće, tačnu geometrijsku reprodukciju kretanja abrazivnih zrna, uslovljenu kinematskim parametrima obrade. Za potpunije razumevanje

mehanizma obrazovanja mikrogeometrije neophodno je uzeti u obzir uticaj plastičnog deformisanja površinskog sloja materijala u zoni kontakta. Naime, proces rezanja pri brušenju, razmatran na nivou pojedinačnih abrazivnih zrna (nivo mikrorezanja), odvija se postupno kroz faze elastičnog frikcionog kontakta, plastičnog deformisanja obradljivog materijala i stvaranja strugotine. Pri tome treba imati u vidu da od ukupnog broja abrazivnih zrna, koja dolaze u kontakt sa obradljivom površinom, strugotinu formiraju samo ona koja imaju pogodniju geometriju i dovoljnu dubinu prodiranja u materijal (koja dostižu kritični odnos dubine rezanja i radijusa zaobljenja abrazivnog zrna). Ostala abrazivna zrna u kontaktu obavljaju rad trenja i elastično-plastično deformisanje površinskog sloja, bez formiranja strugotine.

Mehanička energija obrade brušenjem, utrošena na elastično i plastično deformisanje i trenje abrazivnih zrna i veziva sa obradljivom površinom skoro u potpunosti se pretvara u toplotu. Samo neznatan deo mehaničke energije ostaje "zarobljen" u obliku skrivene energije kristalne rešetke obradljivog materijala. Ovo uslovljava pojavu visokih temperatura rezanja, koje na nivou kontakta pojedinačnih zrna dostižu trenutne vrednosti temperatura topljenja materijala.

Združeno delovanje intenzivnih procesa plastičnog deformisanja, zagrevanja do visokih temperatura i hladjenja, lokalizovano na veoma tanke površinske slojeve predmeta obrade izaziva u njima promenu strukture, procese ojačanja i slabljenja materijala, specifičnu termičku obradu (praćenu faznim transformacijama pa i pojavama defekata površine u obliku pregorelih mesta i mikropukotina) i stvaranje složenog polja zaostalih unutrašnjih napona.

Na taj način usled toplotno-mehaničkog opterećenja formira se posebno stanje materijala u površinskim slojevima brušenih elemenata koje pokazuje presudan uticaj na proticanje kontaktnih procesa (u prvom redu trenja i habanja) u toku njihove eksploatacije.

Opisane procese, koji se odvijaju u obradi brušenjem, karakteriše niz parametara uslova obrade (svojstva materijala obrade, karakteristike alata, parametri režima obrade, karakteristike mašine i krutost sistema obrade i uslovi hladjenja i podmazivanja), koji opredeljuju izlazne parametre obrade (postojanost alata, mikrogeometrijske i fizičko-mehaničke karakteristike obradjene površine, tačnost obrade, energija utrošena na brušenje itd.).

Sredstvo za hladjenje predstavlja jedan od najbitnijih promenljivih faktora uslova obrade jer svojim učešćem u raspodeli ukupne količine toplote generisane u zoni rezanja, podmazujućim, dispergujućim i spirajućim dejstvom neposredno utiče na toplotno-mehanički režim obrade, odnosno, na sve izlazne parametre procesa obrade brušenjem. Pri tome posebnu pažnju zaslužuje mogućnost upravljanja procesom obrade sa aspekta kvaliteta brušenih površina na račun pravilnog izbora i primene sredstava za hladjenje

1 podmazivanje.

EKSPERIMENT

Program i uslovi ispitivanja

Program ispitivanja obuhvata tri varijante uslova hladjenja i podmazivanja:

- * bez SHP,
- * SHP-A,
- * SHP-B,

pri svim kombinacijama četiri nivoa brzina predmeta obrade (vr):

- * 4 m/min,
- * 7.3 m/min,
- * 13.8 m/min,
- * 20 m/min,

i tri nivoa dubine brušenja:

- * 0.01 mm,
- * 0.03 mm,
- * 0.06 mm.

Pun program ispitivanja izveden je za grupu konstruktivnih čelika, dok se u radu prezentiraju tipični rezultati koji se odnose na čelik Č.1730 u poboljšanom stanju, tvrdoće 55 RC.

U eksperimentalnim operacijama obrade korišćena je standardna brusna ploča 4B60N6V dimenzija 250X25X76 mm. Da bi se eliminisao uticaj zatupljenosti točila na rezultate merenja pri svim variranim uslovima obrade brušena površina formirana je točilom preoštranim pod nepromenjenim uslovima.

Prvo sredstvo za hladjenje i podmazivanje (SHP-A) predstavlja vodeni rastvor, sa koncentracijom $k = 3\%$, sintetičkog koncentrata, koji ne sadrži mineralna ulja, već je sačinjen od organskih jedinjenja dobro rastvorljivih u vodi.

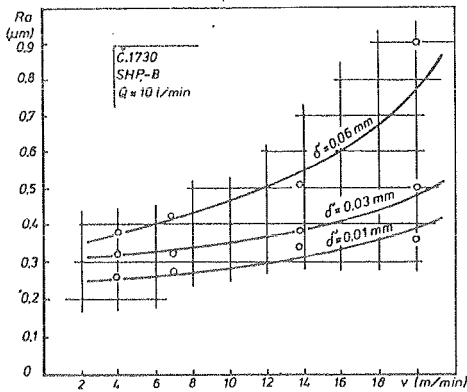
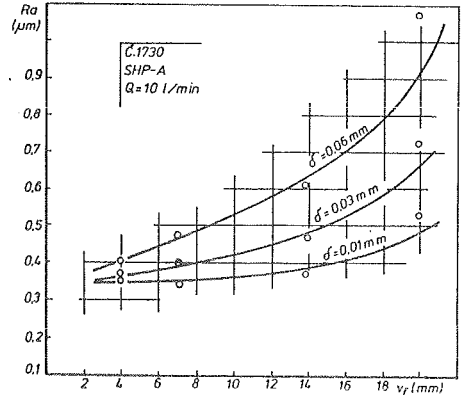
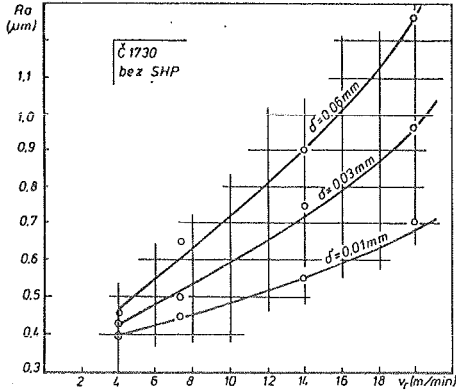
Kao drugo sredstvo za hladjenje i podmazivanje korišćena je emulzija, koncentracije $k = 3\%$, mineralnog emulgirajućeg ulja.

Rezultati ispitivanja

Hrapavost površine

U oceni uticaja uslova obrade ravnim brušenjem na hrapavost površine izabrani su parametri visine mikroneravnina R_a , R_p i R_{max} i relativna dužina nošenja $tp-na$ osnovu koje su formirane krive nošenja profila površine. Merenje izabranih parametara vršeno je na profilometru/profilografu tipa TALYSURF - 5M-120.

Neki od dobijenih rezultata prikazani su dijagramski na slikama 1 i 2. Pri tome treba imati u vidu da svaka eksperimentalna tačka predstavlja srednju aritmetičku vrednost rezultata merenja na više mesta po obradjenoj površini.



Sl. 1. Primeri zavisnosti Ra od parametara režima brušenja za uslove obrade bez SHP i sa korišćenjem SHP-A i SHP-B

Analičkom obradom dobijenih rezultata određene su relacije između parametara režima brušenja, za ispitivane uslove hlađenja i podmazivanja, i parametara hrapavosti, na osnovu kojih je moguće vršiti izbor uslova obrade u zavisnosti od željene hrapavosti površina.

Da bi se analitički izrazila promena relativne dužine nošenja u funkciji režima brušenja prethodno su na osnovu dobijenih rezultata regresionom analizom definisani početni oblici krivih nošenja u obliku:

u

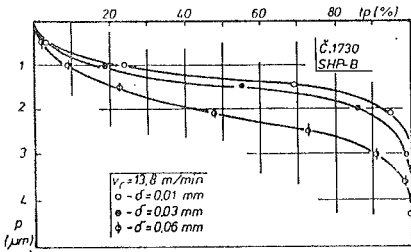
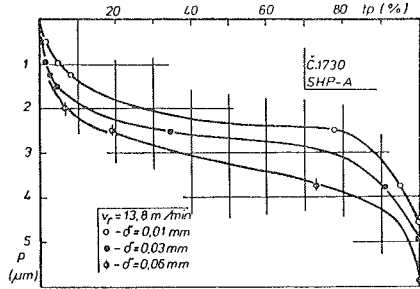
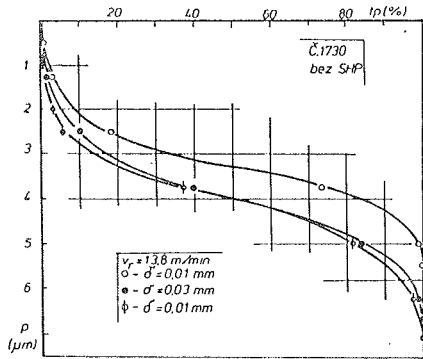
$t_p = K_p (\%)$ - za krive nošenja u apsolutnim koordinatama

$t_p = b(p/R_{max})^y$ - za krive nošenja u relativnim koordinatama.

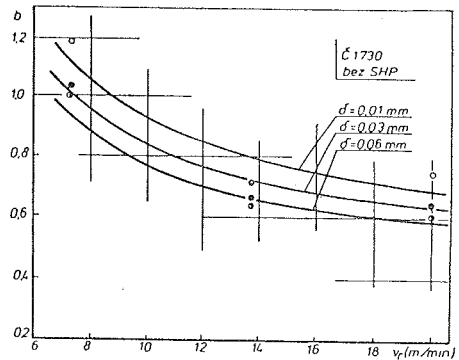
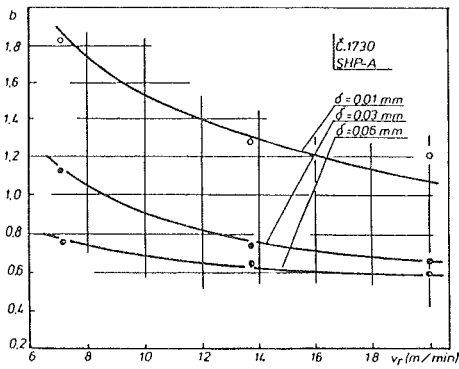
Dobijene jednačine prikazane su tabeli 1. Na osnovu njih se može zaključiti da promena relativne dužine nošenja t_p (u funkciji p ili $x = p/R_{max}$), koja nastaje promenom parametara režima brušenja izražava se promenom vrednosti konstante K , odnosno b (primer je dat na sl.3), dok se

eksponent $u = \sqrt[3]{\quad}$ menja u veoma uskim granicama. S obzirom na to, može se smatrati da je:

- * $\sqrt[3]{\quad} = 1.99$ u uslovima obrade bez SHP,
- * $\sqrt[3]{\quad} = 2.16$ u uslovima obrade uz upotrebu SHP-A,
- * $\sqrt[3]{\quad} = 2.29$ u uslovima obrade uz upotrebu SHP-B.



Sl. 2. Primeri krivih nošenja površina dobijenih u različitim uslovima obrade



Sl. 3. Zavisnost konstante b krive nošenja od uslova obrade

Prema tome, za analizu uticaja variranih uslova ravnog brušenja na veličinu t_p dovoljno je odrediti analitičku zavisnost koeficijenta K , od-

Tabela 1. Analitičke zavisnosti krivih nošenja

SHP	$\frac{v_r}{p}$	7,3 m/min	13,8 m/min	20 m/min
bez SHP	0,01 mm	$t_p=5,11p^{1,95}$ $t_p=1,19x^{1,95}$	$t_p=2,2p^{2,0}$ $t_p=0,71x^{2,0}$	$t_p=20p^{1,99}$ $t_p=0,75x^{1,99}$
	0,03 mm	$t_p=4,5p^{1,95}$ $t_p=1,04x^{1,95}$	$t_p=1,4p^{1,99}$ $t_p=0,67x^{1,99}$	$t_p=0,8p^{2,06}$ $t_p=0,65x^{2,06}$
	0,06 mm	$t_p=3,2p^{1,97}$ $t_p=1,0x^{1,97}$	$t_p=0,77p^{2,05}$ $t_p=0,65x^{2,05}$	$t_p=0,55p^{1,95}$ $t_p=0,63x^{1,95}$
SHP-A	0,01 mm	$t_p=12p^{2,05}$ $t_p=1,84x^{2,05}$	$t_p=4,95p^{2,11}$ $t_p=1,28x^{2,11}$	$t_p=1,7p^{2,26}$ $t_p=1,3x^{2,26}$
	0,03 mm	$t_p=7,5p^{2,09}$ $t_p=1,14x^{2,09}$	$t_p=1,52p^{2,2}$ $t_p=0,74x^{2,2}$	$t_p=1,12p^{2,25}$ $t_p=0,66x^{2,25}$
	0,06 mm	$t_p=1,5p^{2,2}$ $t_p=0,76x^{2,2}$	$t_p=1,33p^{2,2}$ $t_p=0,66x^{2,2}$	$t_p=0,94p^{2,09}$ $t_p=0,65x^{2,09}$
SHP-B	0,01 mm	$t_p=26,6p^{2,35}$ $t_p=5,31x^{2,35}$	$t_p=19,9p^{2,41}$ $t_p=2,9x^{2,41}$	$t_p=10,1p^{2,40}$ $t_p=2,0x^{2,40}$
	0,03 mm	$t_p=15p^{2,39}$ $t_p=3,7x^{2,39}$	$t_p=14p^{2,40}$ $t_p=2,2x^{2,40}$	$t_p=3,61^{1,95}$ $t_p=1,0x^{1,95}$
	0,06 mm	$t_p=10p^{2,30}$ $t_p=3,0x^{2,30}$	$t_p=9,3p^{2,30}$ $t_p=1,9x^{2,30}$	$t_p=1,1p^{2,15}$ $t_p=0,9x^{2,15}$

Tabela 2. Analitičke zavisnosti parametara hrapavosti od uslova obrade brušenjem

Param. hrap.	ANALITIČKI IZRAZI		
	bez SHP	SHP-A	SHP-B
Ra	$0,36+0,1v_r^{1,27} \delta^{0,57}$ ($x = 0,99$)	$0,34+0,1v_r^{1,52} \delta^{0,98}$ ($x = 0,96$)	$0,23+0,39v_r^{1,70} \delta^{0,77}$ ($x = 0,97$)
Rp	$2,0+0,04v_r^{1,8} \delta^{0,26}$ ($x = 0,99$)	$1,6+0,14v_r^{1,88} \delta^{0,82}$ ($x = 0,98$)	$1,3+2,3v_r^{1,5} \delta^{1,55}$ ($x = 0,97$)
Rmax	$4,8+0,2v_r^{2,4} \delta^{0,6}$ ($x = 0,99$)	$3,0+0,41v_r^{1,3} \delta^{0,45}$ ($x = 0,97$)	$2,8+3,5v_r^{1,06} \delta^{1,03}$ ($x = 0,97$)
$t_p(1)$	$11,9v_r^{-1,5} \delta^{-0,5}$ ($r = 0,96$)	$0,8+4,7v_r^{-2,3} \delta^{-1,22}$ ($r = 0,95$)	$21,5v_r^{-1,38} \delta^{-0,7}$ ($r = 0,85$)
b	$0,7+4,2v_r^{-2,1} \delta^{-0,5}$ ($r = 0,92$)	$0,5+0,1v_r^{-0,8} \delta^{-0,9}$ ($r = 0,97$)	$10,9v_r^{-1,1} \delta^{-0,3}$ ($r = 0,97$)

nosno b , od brzine predmeta obrade (v_r) i dubine brušenja (δ). Treba imati u vidu da konstanta K fizički predstavlja procentualno izraženu relativnu dužinu nošenja na nivou sečenja $p = 1 \mu m$, tj $K = t_p(1)$.

Analitičke zavisnosti parametara hrapavosti od parametara režima brušenja, prikazane u tabeli 2, dobijene su polazeći od zavisnosti opšteg

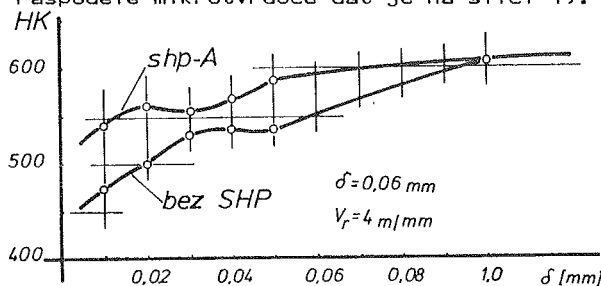
oblika

$$R = C_0 + C_1 \sqrt[3]{V_r}, \quad (\text{gde je } R = R_a, R_p, R_{\max} \text{ i } t_p).$$

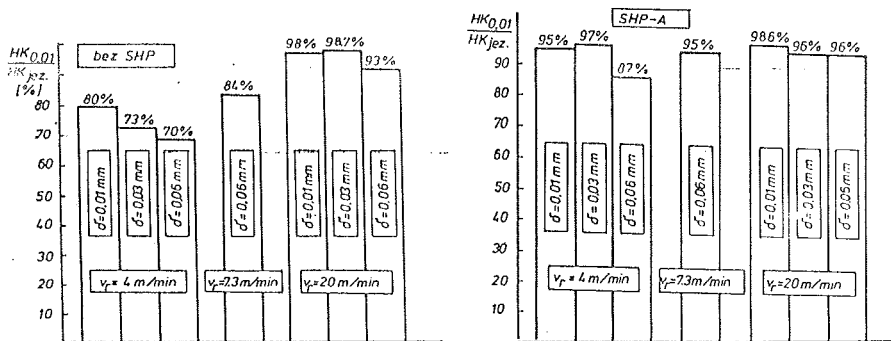
Mikrotvrdoća površinskog sloja

Za merenje mikrotvrdoće izabrana je Knoop-ova metoda, koja zahvaljujući pogodnom obliku otiska i malim opterećenjima utiskivača pruža mogućnost ispitivanja veoma tankih površinskih slojeva.

Rezultati merenja ukazuju na više ili manje izraženu pojavu otpuštanja materijala u površinskim slojevima, izazvanu toplotnim režimom brušenja (primer raspodele mikrotvrdoće dat je na slici 4).



Sl. 4. Primer raspodele mikrotvrdoće po dubini površinskog sloja



Sl. 5. Koeficijent smanjenja mikrotvrdoće u funkciji uslova obrade

Da bi se očiglednije iskazao uticaj variranih uslova brušenja na promenu mikrotvrdoće površinskog sloja određen je procentualni pad mikrotvrdoće na dubini 0.01 mm u odnosu na mikrotvrdoću osnovnog materijala $HK(0.01)/HK_{jez}$ (sl.5).

Komentar dobijenih rezultata

Površinama formiranim u uslovima primene sredstava za hlađenje i podmazivanje u odnosu na obradu bez njih odgovaraju znatno niže vrednosti

parametara visine mikroneravnina pri svim kombinacijama parametara režima obrade. Osim toga, delovanje ispitivanih SHP rezultira povoljnijom raspodelom materijala po dubini hrapavosti, odnosno većom sposobnošću nošenja.

Delovanjem SHP ne utiče se samo na sniženje nivoa parametara visine mikroneravnina i povećanje nivoa relativne dužine nošenja, već se smanjuje i stepen uticaja parametara režima obrade, o čemu svedoči promena eksponenata u analitičkim zavisnostima. Zbog toga, bilo bi pogrešno formirati korekcijske faktore koji bi iskazivali ovakvo dejstvo SHP za celo područje režima obrade.

Sa aspekta visine i strukture hrapavosti sredstvo SHP-B je većeg kvaliteta u odnosu na SHP-A.

Brzina kretanja predmeta obrade i dubina brušenja ne pokazuju jednoznačan uticaj na stanje mikrotvrdoće u površinskim slojevima. Dok povećanje dubine brušenja povećava stepen otpuštanja materijala, povećanje brzine predmeta obrade ima suprotan efekat. Ovakav uticaj proističe iz prirode njihovog dejstva na oplotni režim obrade (snagu toplotnog izvora u zoni rezanja i vreme njegovog delovanja).

Korišćenjem SHP u procesu brušenja deluje se na smanjenje intenziteta toplotnih pojava, čime se pojava otpuštanja materijala u površinskom sloju ispoljava u znatno manjoj meri.

ZAKLJUČAK

Rezultati eksperimentalnog istraživanja nesumnjivo pokazuju veliki potencijal kvalitetnih sredstava za hladjenje i podmazivanje sa aspekta poboljšanja karakteristika brušenih površina, kako u pogledu visinskih i strukturnih parametara hrapavosti, tako i u pogledu fizičko-mehaničkih svojstava materijala u površinskim slojevima.

Imajući u vidu da su eksploatacijske karakteristike elemenata tribo-mehaničkih sistema uslovljene svojstvima kontaktnih slojeva, značaj SHP mora se posmatrati i sa aspekta povećanja pouzdanosti i veka trajanja tribo-mehaničkih sistema i disipacije energije u njima.

LITERATURA

1. B. Miroslav; Uticaj SHP na toplotno opterećenje predmeta obrade i hrapavost površine u obradi metala ravnim brušenjem, Tribologija u Industriji, No 1, 1983.
2. B. Miroslav; Tribological characteristics of surfaces in the conditions of planar grinding, Intertribo 84, Zbornik radova
3. M. Damir; Characterization of the bearing length curve, Wear, 63, 1980.

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

POKAZATELJI OBRADLJIVOSTI BRZOREZNOG ČELIKA PRI BRUŠENJU KONVENCIONALNIM TOCILOM I TOCILOM SA KUBNIM NITRIDOM BORA

HIGHSPEED STEEL WORKABILITY INDICATORS AT GRINDING BY A CONVENTIONAL WHETSTONE AND BY A WHETSTONE WITH A CUBE BORON NITRIDE

B. Kršljak
R. Ječmenica

Tehnički fakultet Čačak, Univerzitet "S.Marković"
34000 Kragujevac, Jugoslavija

Ključne riječi:
Hrapavost
Obradljivost
Tocilo
Trošenje
Brzorezni čelik

SAŽETAK: U radu su određivane dve funkcije obradljivosti; funkcija srednje aritmetičke hrapavosti obradjene površine, kao jedan od pokazatelja kvaliteta brušene površine i funkcija trošenja tocila, kao pokazatelj ekonomike obrade. Brušen je brzorezni čelik Č.9780 elektrokorundnim točilom B100K6V i točilom sa kubnim nitridom bora E100/80-100-B1-C2 (oznaka po GOST-u) na brusilici za ravno brušenje variranjem elemenata režima brušenja.

Key words:
Roughness
Workability
Whetstone
Wear
Highspeed steel

ABSTRACT: Two functions of workability are given in the paper: mean arithmetic roughness function of the processend surface, as one of the indicators of the ground surface quality, and a function of whetstone wear, as indicator of process economy. Highspeed steel S.9780 is ground by electrocorrund whetstone B100K6V and by whetstone with a cube boron nitride E100/80-100-B1-C2 (mark by GOST) on a grinder for plane grinding by varying grinding regime elements.

1. Uvod

Pri brušenju, kao i kod drugih postupaka obrade rezanjem, ne postoji jedinstvena veličina za ocenu obradljivosti već se to vrši preko više pokazatelja obradljivosti (kriterijuma obradljivosti, funkcija obradljivosti). Pokazatelji obradljivosti-funkcije obradljivosti, posmatrane u ovom radu, (srednja aritmetička hrapavost brušene površine R_{as} i trošenje tocila V_t), u zavisnosti od elemenata režima brušenja (v_u , s_p , a) su određivane metodom parcijalnog ortogonalnog plana tj. polureplike $2^k/2$ sa brojem eksperimenata $N=2^k/2 + n_0$, gde je k-broj promenljivih parametara a $n_0=2$.

2. Metodologija i uslovi izvodjenja ispitivanja

Za ispitivanje je korišćena brusilica za ravno brušenje sa pravougaonim radnim stolom tip 3G71 koja je proizvedena u SSSR 1975.godine. Brušenje je vršeno obimom koturastih tocila: elektrokorundnog B100K6V i točilom sa kubnim nitridom bora E100/80-100-B1-C2 (oznaka po GOST-u), dimenzija 200x76x10 mm variranjem elemenata režima brušenja.

Uzorci za ispitivanje su bili od brzoreznog čelika Č.9780 prizmatičnog oblika dimenzija 100x42x20 mm, tvrdoće 64H_{RC}.

Kod svih eksperimenata korišćeno je ulje za hladjenje "Castrol ilogrind 483". Količina rashladnog sredstva je regulisana.

Režim brušenja: brzina stola $v_u=(1,2 \text{ i } 4) \text{ m/min}$, poprečni pomak $s_p=(0,2; 0,4 \text{ i } 0,8) \text{ mm/h}$ i dubina brušenja $a=(0,005; 0,01 \text{ i } 0,02) \text{ mm}$.

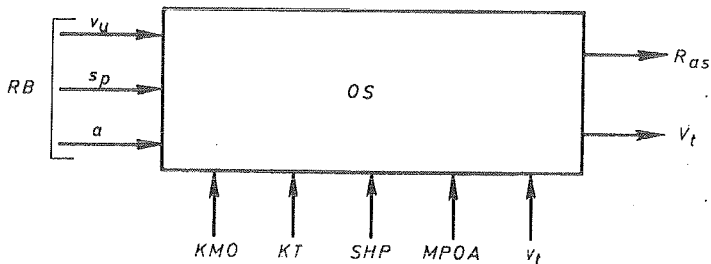
U toku ispitivanja merena je srednja aritmetička hrapavost brušene površine i određivana je zapremina trošenja tocila brušenjem.

Veličina srednje aritmetičke hrapavosti brušene površine R_{as} je merena pomoću tehnološkog mernog sistema Perth-o-metar W5A.

Zapremina trošenja tocila je računata prema smanjenju poluprečnika tocila ΔR , koje je registrovano pomoću pribora za snimanje profila tocila i tehnološkog mernog sistema /1/.

Ulazni parametri u obradni sistem (sl.1) su:

- režim brušenja (brzina stola - v_u , poprečni pomak- s_p , dubina brušenja- a) (RB).



Sl.1. Šema ulaznih, stalnih i izlaznih parametara obradnog sistema

Stalni parametri posmatranog sistema (sl.1) su:

- karakteristike materijala obratka (KMO),
- karakteristike tocila (KT),
- sredstvo za hladjenje i podmazivanje (SHP),
- dinamičko stanje obradnog sistema (mašine-M, pribora-P, obratka -O, alata -A) (MPOA) i
- obimna brzina tocila (v_t).

Izlazni parametri iz obradnog sistema (sl.1) su:

- srednja aritmetička hrapavost (R_{as}) i

- zapremina trošenja tocila brušenjem po komadu (V_t).

3. Rezultati ispitivanja

Zavisnosti izlaznih parametara od ulaznih mogu se izraziti u obliku stepenih funkcija:

$$R_{as} = B_1 v_u^{p1} s_p^{p2} a^{p3} \quad (1)$$

$$V_t = B_2 v_u^{q1} s_p^{q2} a^{q3} \quad (2)$$

Navedene zavisnosti (1) i (2) mogu se transformisati na linearan oblik (model prvog reda /2/.

$$\hat{Y}_1 = b_1 + p_1 x_1 + p_2 x_2 + p_3 x_3 \quad (1.1)$$

$$\hat{Y}_2 = b_2 + q_1 x_1 + q_2 x_2 + q_3 x_3 \quad (2.1)$$

Plan matrica parcijalnog ortogonalnog plana (polureplike) sa brojem eksperimenata $N=2^{k-1} + n_0=2^{3-1}+2=6$, za srednju aritmetičku hrapavost brušene površine i trošenje tocila po komadu data je u tabeli 1.

Tabela 1.

Red. broj	Vrednosti faktora (režima)			Plan matrica				Izmerene vrednosti			
	$x_1 (v_u)$ m/min	$x_2 (s_p)$ mm/h	$x_3 (a)$ mm	x_0	x_1	x_2	x_3	BLOOK6V		E100/80	
								R_{as} μm	V_t mm ³	R_{as} μm	V_t mm ³
1	4	0,8	0,005	+1	+1	+1	-1	0,13	27,1751	0,18	3,8620
2	1	0,2	0,005	+1	-1	-1	-1	0,08	7,4588	0,115	2,5914
3	4	0,2	0,02	+1	+1	-1	+1	0,12	13,6508	0,13	3,6605
4	1	0,8	0,02	+1	-1	+1	+1	0,18	18,7028	0,16	3,5630
5	2	0,4	0,01	+1	0	0	0	0,10	23,2159	0,18	3,2393
6	2	0,4	0,01	+1	0	0	0	0,09	24,7341	0,17	2,9156

Na osnovu izmerenih veličina (tabela 1) a polazeći od osnovnih oblika jednačina (1) i (2) i linearizovanih oblika (1.1) i (2.1) određuju se koeficijenti postupkom /2/ i dobijanju funkcije izlaznih parametara procesa brušenja u obliku:

a) za rad točilom BLOOK6V,

$$R_{as} = 0,4978 v_u^{0,0288} s_p^{0,3219} a^{0,2636} \quad (3)$$

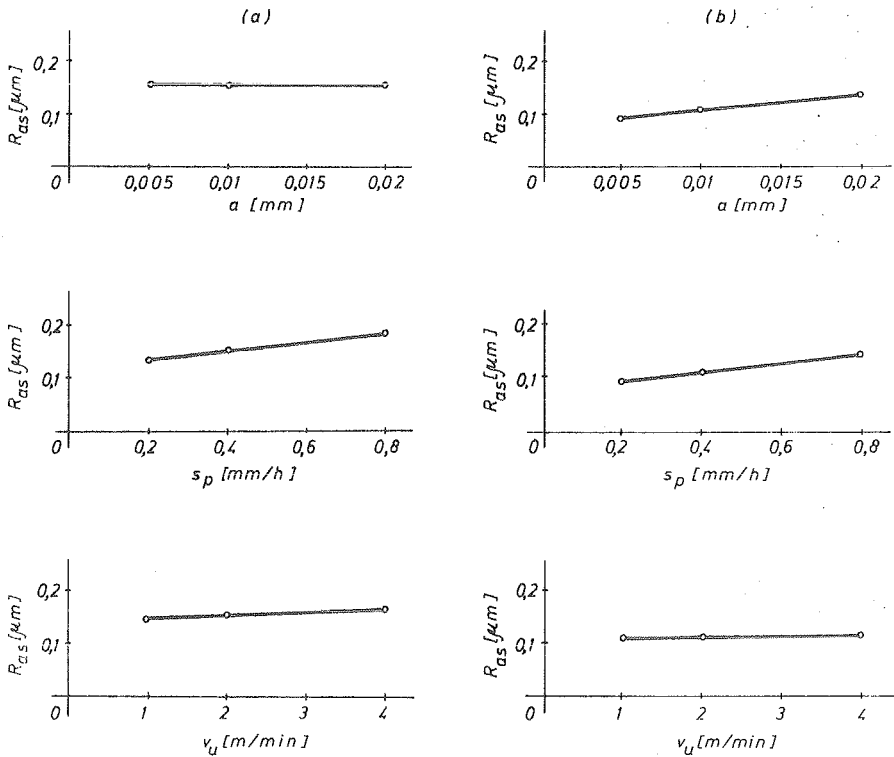
$$v_t = 34,398 v_u^{0,3527} s_p^{0,5798} a^{0,0832} \quad (4)$$

b) za rad točilom Eloo/8o,

$$R_{as} = 0,1812 v_u^{0,0867} s_p^{0,2364} a^{0,0017} \quad (5)$$

$$v_t = 5,2273 v_u^{0,1536} s_p^{0,1342} a^{0,0955} \quad (6)$$

Funkcije srednje aritmetičke hrapavosti (3) i (5) u zavisnosti od elementa režima brušenja prikazane su na sl. 2. Dijagrami promena R_{as} od jednog parametra su dobijeni za srednje vrednosti ostala dva.



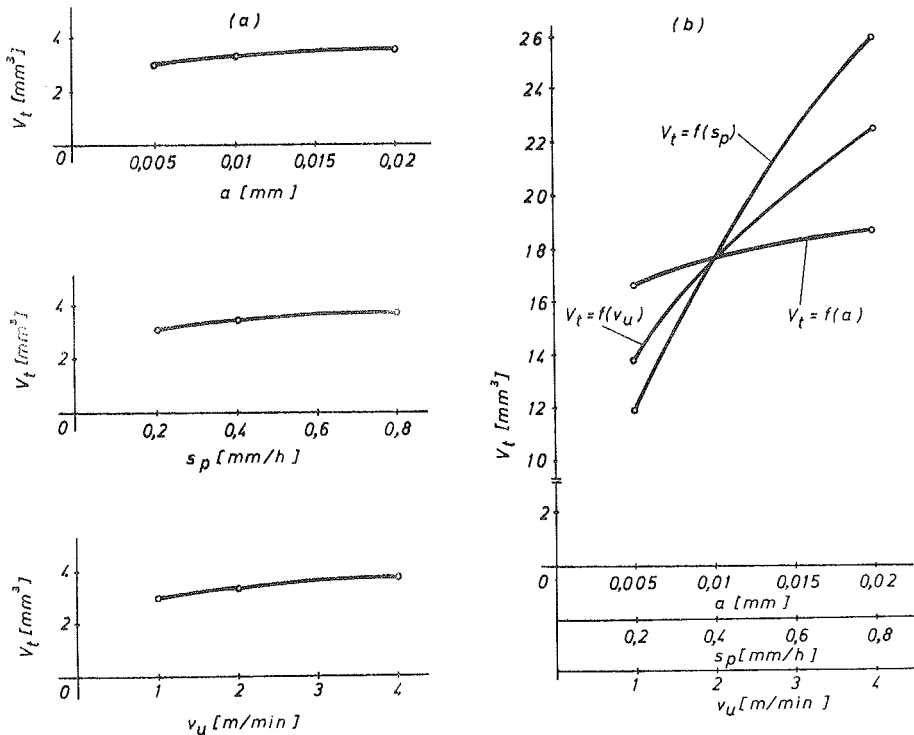
Sl. 2. Funkcije srednje aritmetičke hrapavosti R_{as} u zavisnosti od elementa režima brušenja pri brušenju brzo-reznog čelika Č.978o točilom E100/80 (a) i B100K6V (b)

Sa slike se može uočiti da pri brušenju sa oba posmatrana tocila najveći uticaj na hrapavost ima poprečni pomak, dok je uticaj ostala dva elementa režima brušenja na hrapavost različit.

Pri brušenju tocilom sa kubnim nitridom bora uticaj dubine brušenja, u posmatranom intervalu varijacije, je neznatan dok je uticaj brzine stola značajniji.

Pri brušenju tocilom od elektrokorunda znatniji uticaj na veličinu hrapavosti ima dubina brušenja od brzine stola.

Na sl.3 su prikazane funkcije trošenja tocila (4) i (6) u zavisnosti od elemenata režima brušenja. Promene trošenja tocila V_t od jednog parametra su posmatrane pri srednjim vrednostima ostala dva.



Sl.3. Funkcije trošenja tocila V_t u zavisnosti od elemenata režima brušenja pri brušenju brzočeznog želika Č.9780 tocilom F100/80 (a) i B100K6V (b)

Pri brušenju sa oba posmatrana tocila, na njihovo trošenje najmanji uticaj ima dubina brušenja a uticaj ostala dva elementa je različit.

Najveći uticaj na trošenje tocila kod tocila sa kubnim nitridom bora ima brzina stola (uzdužni pomak) a kod elektrokorundnog tocila poprečni pomak.

4. Zaključci

Pri brušenju brzoreznog čelika konvencionalnim točilom i točilom sa kubnim nitridom bora, sa povećanjem elemenata režima brušenja raste hrapavost brušene površine i trošenje točila.

Za posmatrana točila, uticaj elemenata režima brušenja na veličinu hrapavosti i trošenje točila je različit.

Manje veličine hrapavosti su dobijene pri brušenju elektrokorundnim točilom u odnosu na brušenje točilom sa kubnim nitridom bora.

Trošenje točila B100K6V je oko 6,5 puta veće u odnosu na trošenje točila E100/80-100-B1-C2.

Literatura

- /1/ Kršljak B., Optimizacija procesa ravnog brušenja alatnih čelika sa stanovišta uticaja karakteristika točila i uslova obrade. Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd, 1981.
- /2/ Stanić J., Metod inženjerskih merenja osnove matematičke teorije eksperimenata, Mašinski fakultet, Beograd, 1981.

21. SAVETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

ANALIZA IZBORA VARIJANTE MATEMATIČKOG MODELA U OBLASTI ISPITIVANJA OBRADLJIVOSTI METALA REZANJEM

AUSWAHLANALYSE DER VARIANTE DES MATEMATISCHEN MODELS IM GEBIET DER METALLZERSPANNBARKEITS

P. Dašić: Industrija "14.oktobar", OOUR Razvoj proizvoda i proizvodnih procesa, 37000 Kruševac, Jugoslavija

REZIME: U radu je data analiza izbora varijante matematičkog modela u oblasti ispitivanja obradljivosti metala rezanjem i primer izbora varijante hrapavosti obradjene površine pri ponavljanju eksperimenta u centralnoj tački plana n_0 puta i u svakoj tački plana isti broj ponavljanja m puta.

ZUSAMMENFASSUNG: In der Arbeit ist die Auswahlanalyse der Variante des mathematischen Modells im Gebiet der Versuchsausführung der Metallzerspanbarkeit und ein Beispiel der Variantenauswahl von Rauigkeit der Bearbeiteten Flächen bei Experimentwiederholung n mal im Planzentralpunkt und im selben Planpunkt dieselbe Anzahl der n_0 Wiederholung m mal angegeben.

1. UVOD

Funkcija:

$$F = F(f_1, f_2, f_3, \dots, f_k) \quad (1.1)$$

koja je izlaz istraživanja i koja karakteriše svaki proces istraživanja, naziva se funkcijom odziva. Stvarni analitički oblik funkcije odziva je, ustvari, nepoznat, a matematički oblik je samo više ili manje njena tačna aproksimacija.

Nezavisno promenljive: f_1, f_2, \dots, f_k , to jest argumenti funkcije odziva, nazivaju se faktori procesa istraživanja. Za proces istraživanja obradljivosti metala rezanjem, odabiraju se faktori za koje se smatra da imaju najveći uticaj (režimi rezanja, geometrija alata, sredstvo za hladjenje, krutost sistema, temperaturne promene nastale u procesu rezanja) i za jednu odredjenu vrstu materijala.

Potreba da se dobije neka opštija zavisnost koja bi pouzdanije opisivala funkcije obradljivosti metala rezanjem vezana je neposredno za razvoj i usavršavanje proračuna režima rezanja kod višeealatne obrade, pojavu automatskih alatnih mašina i fleksibilnih tehnoloških sistema i primenu savremenih reznih alata.

U radu su prikazane zavisnosti funkcija obradljivosti pri obradi struganjem od elemenata režima rezanja i praktični primeri izbora varijantehrapavosti obradjene površine pri finom struganju za oba sistema ponavljanja **eksperimentata**.

2. MATEMATIČKI MODELI U OBLASTI ISPITIVANJA OBRADLJIVOSTI METALA REZANJEM

Savremene metode određivanja optimalnih režima rezanja primenom računara ukazuju na potrebu da se utvrdi zavisnost funkcija obradljivosti metala rezanjem od svih uticajnih veličina. Na sl. 2.1 prikazane su zavisnosti funkcija obradljivosti pri obradi struganjem od elemenata režima rezanja (brzina rezanja V, korak S i dubina rezanja a).

Naziv funkcije	Izrazi za funkcije obradljivosti pri obradi struganjem
Brzina rezanja	$V = \frac{C_v}{T^m \cdot a^x \cdot s^y}$
Komponente sile rezanja	$F_i = C_{F_i} \cdot a^{x_i} \cdot s^{y_i}$
Hrapavost obradljene površine	$R_a = C_R \cdot \frac{a^{x_R} \cdot s^{y_R}}{v^{m_R} \cdot r^{z_R}}$
Temperatura rezanja	$\theta = C_\theta \cdot v^p \cdot a^q \cdot s^n$

Sl. 2.1 Izrazi za funkcije obradljivosti pri obradi struganjem.

U ovom slučaju funkcija odziva se logaritmovanjem obično predstavlja u obliku polinoma sa linijskim efektima faktora:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i \cdot X_i \quad (2.1)$$

Razvojem i primenom savremenih reznih alata [7] ukazuje se potreba za utvrđivanje funkcije odziva u obliku polinoma sa medjudejstvom (interakcijom) pojedinih faktora.

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i \cdot X_i + \sum_{i < j}^k b_{ij} \cdot X_i \cdot X_j + \sum_{i < j < u}^k b_{iju} \cdot X_i \cdot X_j \cdot X_u + \dots \quad (2.2)$$

gde je:

- b_i - linijski efekat,
- b_{ij} - dvofaktorno medjudejstvo,
- b_{iju} - trofaktorno medjudejstvo.

U oblasti ispitivanja i optimizacije geometrije reznog alata funkcija odziva se modelira polinomom drugog reda /2/.

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i \cdot x_i + \sum_{i < j}^k b_{ij} \cdot x_i \cdot x_j + \sum_{i < j < u}^k b_{iju} \cdot x_i \cdot x_j \cdot x_u + \dots + \sum_{i=1}^k b_{ii} \cdot x_i^2 \quad (2.3)$$

gde je :

b_{ii} - kvadratni efekat.

3. MATEMATIČKA TEORIJA EKSPERIMENTATA

U osnovi savremeni metod eksperimentalnog istraživanja, temelji na kibernet-skom principu "crne kutije", kojom se na jednostavan način modelira složeni realni više-faktorni proces /2/.

Pri primeni teorije planiranja eksperimenata možemo uočiti sledeće osnovne etape istraživanja /1,3/:

- formulacija celine i zadatka istraživanja lsticanjem osnovnih hipoteza, po-dložnih proverri ;
- izbor objekta istraživanja sa svojim parametrima, i faktora koje aktivno menjamo u procesu istraživanja;
- izbor intervala variranja faktora u eksperimentu ;
- sastavljanje plan matrice za objekat istraživanja ;
- izbor poretka realizacije eksperimenata ;
- odredjivanje homogenosti disperzija (ponovljivosti eksperimenta);
- matematička obrada rezultata istraživanja ;
- izbor varijante matematičkog modela i njegova analiza.

Plan prvog reda koristi se pri statističkoj identifikaciji matematičkog mo-dela prvog reda kojima se matematički opisuje cilj istraživanja u jedno, dva i višedi-menzionalnom prostoru.

Za pojednostavljenje proračuna matrica primenjuje se kodiranje faktora, na tri nivoa: +1;0;-1 preko jednačina transformacije /2,4/.

U oblasti obrade metala rezanjem najčešće se primenjuju dva načina sistema ponavljanja eksperimenata:

- I Sistem ponavljanja : u tačkama nultog nivoa (centralna tačka plana) vrši se ponavljanje n_0 puta,
- II Sistem ponavljanja : u svakoj tački plana isti broj ponavljanja m puta.

Za proveru homogenosti disperzija, za slučaj istog broja ponavljanja u tač-kama plana često se koristi Cohren-ov, G-kriterijum /1,3/.

Ocena signifikantnosti bilo kog parametra matematičkog modela prvog reda iz-vodi se nezavisno od ostalih. Cilj ocene je provera nulte hipoteze. To znači da se gru-pa nesignifikantnih parametara modela može isključiti iz modela ne korigujući pri tome vrednosti ostalih signifikantnih parametara koji ostaju u modelu.

Pri oceni signifikantnosti parametara stoje na raspolaganju dva poznata kri-terijuma :

- F kriterijum /1,2,4/ 1
- t kriterijum /1,2,3,4/.

Adekvatnost matematičkog modela proverava se Fisher-ovim kriterijumom [2,3,4].

Za sagledavanje veze izmedju funkcije odziva i nezavisno promenljivih i za ocenju kvaliteta veličina, koje karakterišu udeo koeficijenata regresije u jednačini matematičkog modela, primenjuje se koeficijent višestruke regresije, čije se značenje određuje po formuli [1,6]:

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (3.1)$$

gde je:

- Y_i - eksperimentalna vrednost,
- \hat{Y}_i - računski vrednost i
- \bar{Y} - srednja vrednost eksperimentalnih rezultata.

Veličina koeficijenta višestruke regresije R nalazi se u granicama:

$$0 \leq R \leq +1 \quad (3.2)$$

Ako postoji potpuna medjuzavisnost izmedju promenljivih, onda se njihova veza izjednačuje s funkcionalnom, to jest jednačina regresije potpuno opisuje rezultate eksperimenata. U takvoj situaciji koeficijent višestruke regresije je $R=1$ što je jedna teorijska mogućnost.

U potpunom odsustvu medjuzavisnosti, to jest koeficijenti regresije nemaju udela u izučavanju zavisnosti, koeficijent višestruke regresije je $R=0$.

4. ANALIZA IZBORA VARIJANTE MATEMATIČKOG MODELA U OBLASTI ISPITIVANJA OBRADLJIVOSTI METALA REZANJEM

Izbor varijante matematičkog modela izvodi se na osnovu sledećih kriterijuma [1]:

- koeficijenta višestruke regresije,
- rezidualne sume,
- adekvatnosti modela i
- broja članova aproksimirajućeg polinoma.

Za izbor varijante matematičkog modela uradjen je programski paket VE (Višefaktorni Eksperiment) u Industriji "14. oktobar" na računarskom sistemu PDP-8.

Organizacija računarskog programa je tako koncipirana da omogućava [1], kompletnu matematičku obradu rezultata istraživanja za sistem ponavljanja eksperimenata u tačkama multog nivoa, gde se vrši ponavljanje n_0 puta i za sistem ponavljanja eksperimenata u svakoj tački plana, isti broj ponavljanja m puta, za eksponencijalne i linearne funkcije za sledeće vrste prezentovanja matematičkog modela:

- matematički model sa linijskim efektima faktora,
- matematički model sa linijskim efektima signifikantnih faktora i
- matematički model sa interakcijom (medjudejstvo) signifikantnih faktora.

Na osnovu gore navedenih kriterijuma vrši se izbor varijante matematičkog modela. Pri izboru varijante matematičkog modela vodi se računa, da se prvo izabere matematički model sa linijskim efektima signifikantnih faktora, ako je on zadovoljio kriterijume: da su koeficijent višestruke regresije i rezidualna suma približno iste, a matematički model adekvatan kao kod matematičkog modela sa interakcijom signifikantnih faktora, zbog olakšane optimizacije elemenata režima rezanja. U slučaju da ovo nije ispunjeno bira se matematički model sa interakcijom signifikantnih faktora [1].

5. NEKI PRAKTIČNI PRIMERI IZBORA VARIJANTE MATEMATIČKOG MODELA U OBLASTI ISPITIVANJA OBRADLJIVOSTI METALA REZANJEM

Kao praktični primeri izbora varijante matematičkog modela uzeto je ispitivanje hrapavosti obradjene površine pri finom struganju, za oba sistema ponavljanja eksperimenata u zavisnosti od elemenata režima rezanja /1,3,5/:

- V- brzina rezanja,
- S- korak,
- a- dubina rezanja.

Pri čemu su ostali faktori posmatrani kao konstantni: geometrija alata, krutost sistema, temperaturne promene nastale u procesu rezanja, sredstvo za hladjenje i podmazivanje.

Ovim ispitivanjem je neophodno ustanoviti optimalni značaj elemenata režima rezanja, obezbeđujući pri tom minimalno srednje aritmetičko odstupanje profila R_a , koje je funkcija :

$$R_a = f(v, s, a) \quad (5.1)$$

Pri I sistemu ponavljanja eksperimenta u tačkama nultog nivoa gde je izvedeno ponavljanje eksperimenta $n_0=4$ puta, uslovi ispitivanja su bili sledeći /5/:

- Materijal : Č.4721 žaren,
- Mašina alatka: KNU strug MD 5S,
- Sredstvo za hladjenje i podmazivanje: emulzija sa količinom protoka tečnosti $Q=4,5$ (l/min) i pritiskom protoka $P=1,8$ (bar),
- Držač pločice : PDJNL 2525 M15,
- Izmenljiva pločica od tvrdog metala: DNMM 150608-71 GC 415 sa poluprečnikom zaobljenja vrha alata $r=0,8$ mm i
- Uredjaj za merenje hrapavosti obradjene površine: digitalni instrument HOMMEL-TESTER tip T20.

Na osnovu analize sve tri varijante matematičkog modela sl. 5.1, može se uočiti da ne postoje veće razlike koeficijenta višestruke regresije i rezidualne sume kod sva tri modela i da su isti adekvatni. Iz analize treće varijante matematičkog modela uočava se da ni jedan parametar medjudejstva nije signifikantan.

ANALIZA IZBORA VARIJANTE MATEMATIČKOG MODELA:

VRSTA MATEMAT. MODELA	BR. CIJAN POLINOMA I	ADEKVAT. MODELA FAPAC	ADERKVAL. MODELA FATABL	REZIDUALNA SUMA SR	GRESKA EKSPERIM. SE	KOEFIC. REGRES. R
LINIJSKI EFEKTI FAKTORA	4	4.267	9.010	0.2144	0.0264	0.9840
LIN EFER SIGNIFIK FAKTORA	2	3.147	8.890	0.2206	0.0264	0.9840
INTERAK. SIGNIFIK FAKTORA	2	3.147	8.890	0.2206	0.0264	0.9840

Sl.5.1 Analiza izbora varijante hrapavosti obradjene površine pri ponavljanju eksperimenta u centralnoj tački plana

Ocena signifikantnosti parametara i adekvatnosti modela izvedena je prema F-kriterijumu. Na osnovu izvršene obrade podataka na računaru formiran je skup ulazno-izlaznih informacija sl.5.2 i disperziona analiza sl.5.3 /1/.

HRPAVOST OBRAD POVR SA INTERAKCIJOM SIGNIFIKANTNIH FAKTOFA:

KORELACIJA ULAZNO - IZLAZNIH INFORMACIJA:

BR! EK!	KOD PROMEN! N!X0!X1!X2!X3!	NEZAVISNO PROMENLJIVE			IZMERENE VREDNOSTI		RACUNSE (GRESKA!)	
		V	S	A	RAEKS	BARAC	ALFA(%)	
1!	1! 1! 1! 1!	250.000!	0.300!	0.900!	3.750!	3.399!	9.37!	
2!	1! -1! 1! 1!	160.000!	0.300!	0.900!	3.650!	3.399!	11.72!	
3!	1! 1! -1! 1!	250.000!	0.100!	0.900!	0.600!	0.538!	10.39!	
4!	1! -1! -1! 1!	160.000!	0.100!	0.900!	0.600!	0.538!	10.39!	
5!	1! 1! 1! -1!	250.000!	0.300!	0.200!	3.600!	3.399!	5.59!	
6!	1! -1! -1! -1!	160.000!	0.300!	0.200!	3.650!	3.399!	6.89!	
7!	1! 1! -1! -1!	250.000!	0.100!	0.200!	0.550!	0.538!	2.25!	
8!	1! -1! -1! -1!	160.000!	0.100!	0.200!	0.600!	0.538!	10.39!	
9!	1! 0! 0! 0!	200.000!	0.173!	0.425!	1.300!	1.352!	-3.98!	
10!	1! 0! 0! 0!	200.000!	0.173!	0.425!	1.100!	1.352!	-22.89!	
11!	1! 0! 0! 0!	200.000!	0.173!	0.425!	1.050!	1.352!	-28.74!	
12!	1! 0! 0! 0!	200.000!	0.173!	0.425!	1.100!	1.352!	-22.89!	

Sl. 5.2 Korelacija ulazno-izlaznih informacija pri ponavljanju eksperimenta u centralnoj tački plana

Za parametre b_0 i b_2 uslov F- kriterijuma je ispunjen, pa su oni signifikantni. Za sve ostale parametre uslov F-kriterijuma nije ispunjen, pa su oni nesignifikantni i mogu se isključiti iz modela. Znači da najveći uticaj na funkciju srednje aritmetičkog odstupanja profila R_a ima korak. Ovo se može objasniti time, da je eksperiment obavljen u odsustvu koncentrisanog habanja alata, to jest obavljen je pri obradi sa teoretski oštrim alatom /5/.

Na osnovu dobijenih koeficijenata matematičkog modela zavisnost srednje aritmetičkog odstupanja profila R_a od elemenata režima rezanja pri finom struganju č.4721 sa dovoljnom tačnošću se analitički opisuje:

- matematičkim modelom sa linijskim efektima faktora:

$$R_a = 38,371 \cdot \frac{s^{1,678} \cdot a^{0,03}}{\sqrt{0,071}} \quad (5.2)$$

- matematičkim modelom sa linijskim efektima signifikantnih faktora:

$$R_a = 25,641 \cdot s^{1,678} \quad (5.3)$$

Pošto je u oba slučaja koeficijent višestruke regresije dosta velik $R_1 = 0,9846$ i $R_2 = R_3 = 0,9842$ to znači da oba matematička modela (5.2) i (5.3) praktično u potpunosti opisuju rezultate eksperimenta.

Medjutim zbog pogodnije optimizacije elemenata režima rezanja, tojest zbog manjeg broja članova aproksimirajućeg polinoma biramo matematički model (5.3).

DISPERZIONA ANALIZA:

IZVOR VARIJACIJE	KOEFICIJEN. MODELA	STEP. SLOB.	SUMA KVADRATA	DISPERZ. S2	DISPERZ. ODNOSI	TABLIC. UREDNI.	OCENA OCENA
B(I)	Q(I)	F	S		FR	FI	
B0= 0.301	Q0= 25.641	F0= 1	1.090	1.090	123.70	10.13	SIGNIF
B1= -0.016	-	F1= 1	0.002	0.002	0.23	10.13	NESIGN
B2= 0.922	Q2= 1.678	F2= 1	6.800	6.800	771.62	10.13	SIGNIF
B3= 0.023	-	F3= 1	0.004	0.004	0.47	10.13	NESIGN
B12= 0.006	-	F12=1	0.000	0.000	0.03	10.13	NESIGN
B13= 0.009	-	F13=1	0.001	0.001	0.02	10.13	NESIGN
B23= 0.001	-	F23=1	0.000	0.000	0.00	10.13	NESIGN
B123= -0.012	-	F = 1	0.001	0.001	0.14	10.13	NESIGN
REZIDUALNA SUMA	-	FR=10	0.2206	0.0221	-	-	-
GRESKA EKSPERIMEN.	-	FE= 3	0.0264	0.0088	-	-	-
ADEKVATNOST MODELA	-	FA= 7	0.1941	0.0277	3.15	8.89	ADEKV.
KOEFIKIJENT VISESTRUKE REGRESIJE:				R = 0.9842			

Sl.5.3 Disperziona analiza pri ponavljanju eksperimenata u centralnoj tački plana

Pri II sistemu ponavljanja eksperimenata u svakoj tački plana isti broj ponavljanja eksperimenata m=2 puta uslovi ispitivanja su bili sledeći /3/: fino struganje osovine od čelika na univerzalnom strugu sa izmenljivom pločicom od tvrdog metala grupa primene po ISO P.

Na osnovu analize sve tri varijante matematičkog modela sl.5.4, može se uočiti da treća varijanta matematičkog modela sa interakcijom signifikantnih faktora najbolje opisuje rezultate eksperimenata. Medjutim, i prve dve varijante matematičkog modela sa linijskim efektima faktora dobro opisuju rezultate eksperimenata, a pogodnije su za optimizaciju elemenata režima rezanja.

Ocena signifikantnosti parametara izvedena je prema t-kriterijumu, provera homogenosti disperzija prema G- kriterijumu a ocena adekvatnosti modela prema F-kriterijumu. Na osnovu izvršene obrade podataka na računaru formiran je skup ulazno-izlaznih informacija sl.5.5. i disperziona analiza sl.5.6 /1/.

Za parametre b_0, b_2, b_3 i b_{23} uslov t-kriterijuma je ispunjen, pa su oni signifikantni. Za sve ostale parametre uslov t-kriterijuma nije ispunjen, pa su oni nesigifikantni i mogu se isključiti iz modela.

ANALIZA IZBORA VARIJANTE MATEMATICKOG MODELA:

VRSTA MATEMAT. MODELA	BR. CLANOVA POLINOMA I	ADEKVAT. MODELA FARAC	ADEKVAT. MODELA FATABL	REZIDUALNA SUMA SK	GRUPNA ERORNA SE	KOEFICIJENT REGRESIJE P
LINIJSKI EFEKTI FAKTORA	4	1,664	3,840	0,1190	0,2381	0,9530
LIN EFEKTI SIGNIFIKANTNI FAKTORA	3	1,396	3,690	0,1248	0,2381	0,9560
INTERAKCIJE SIGNIFIKANTNE FAKTORA	4	0,420	3,840	0,0301	0,2861	0,9606

Sl.5.4 Analiza izbora varijante hrapavosti obradjene površine pri ponavljanju eksperimenta u svakoj tački plana isti broj ponavljanja

HRAPAVOST OBRAD FOUR SA INTERAKCIJOM SIGNIFIKANTNIH FAKTORA:

KORELACIJA ULAZNO - IZLAZNIH INFORMACIJA:

KOD PROMENI X1 X2 X3	NEZAVISNO PROMENI JIVE			IZMERENE VREDNOSTI RAERS	PROSJEKNE VREDNOSTI RAERS	
	V	S	A		RAERS	RAERS (%)
1 1 1	161,000	0,198	0,500	1,140	1,022	3,57
2 1 -1	64,500	0,198	0,500	1,060	1,022	-3,70
3 1 1 -1	161,000	0,064	0,500	0,390	0,400	2,53
4 1 -1 -1	64,500	0,064	0,500	0,410	0,400	2,47
5 1 1 1 -1	161,000	0,198	0,050	1,185	1,058	10,70
6 1 -1 1 -1	64,500	0,198	0,050	0,945	1,058	11,28
7 1 1 -1 -1	161,000	0,064	0,050	0,585	0,595	-1,19
8 1 -1 -1 -1	64,500	0,064	0,050	0,605	0,595	1,47

Sl.5.5 Korelacija ulazno-izlaznih informacija pri ponavljanju eksperimenata u svakoj tački plana isti broj ponavljanja

Na osnovu dobijenih koeficijenata matematičkog modela, zavisnost srednje aritmetičkog odstupanja R_d od elemenata režima rezanja sa dovoljnom tačnošću se analitički opisuje:

- matematičkim modelom sa linijskim efektima faktora:

$$R_d = 2,22 \cdot \frac{\sqrt{0,059 \cdot s_{0,703}}}{d^{0,078}} \quad (5.4)$$

- matematičkim modelom sa linijskim efektima signifikantnih faktora:

$$R_a = 2,915 \cdot \frac{s^{0,703}}{a^{0,078}} \quad (5.5)$$

- matematičkim modelom sa interakcijom signifikantnih faktora:

$$R_a = 5,721 \cdot s^{1,011} \cdot a^{0,288} \cdot e^{0,167 \cdot \ln s \cdot \ln a} \quad (5.6)$$

Pošto je u sva tri slučaja koeficijent višestruke regresije dosta velik $R_1 = 0,9580$, $R_2 = 0,9560$ i $R_3 = 0,9896$, to znači da sva tri matematička modela (5.4), (5.5) i (5.6) praktično u potpunosti opisuju rezultate eksperimenta i možemo izabrati bilo koji. Međutim, zbog najvećeg koeficijenta višestruke regresije i zbog adekvatnijeg matematičkog modela biramo matematički model (5.6).

DISPERZIONA ANALIZA:

IZVOR VARIJACIJE	KOEFICIJEN. MODELA	STEP. SLOB. F	SUMA KVADRATA S	DISPERZ. S2	DISPERZ. ODNOSI TR(FR)	TABLICA	UREDN. PLENA
B(I)	Q(I)	F	S	S2	TR(FR)	TT(FR)	
B0=	-0.321	Q0= 5.721	F0= 1	0.0473	0.0022	6.7935	1.8600 SIGNIF
B1=	0.027	--	F1= 1	0.0473	0.0022	0.5696	1.8600 NESIGN
B2=	0.397	Q2= 1.011	F2= 1	0.0473	0.0022	8.3929	1.8600 SIGNIF
B3=	-0.090	Q3= 0.288	F3= 1	0.0473	0.0022	1.8995	1.8600 SIGNIF
B12=	0.048	--	F12= 1	0.0473	0.0022	1.0118	1.8600 NESIGN
B13=	-0.021	--	F13= 1	0.0473	0.0022	0.4493	1.8600 NESIGN
B23=	0.109	Q23= 0.167	F23= 1	0.0473	0.0022	2.3020	1.8600 SIGNIF
B123=	-0.017	--	F = 1	0.0473	0.0022	0.3627	1.8600 NESIGN
GRANICE POUZDANOSTI PARRAMETARA MODELA:					DELTA B = 0.0879		
HOMOGENOST DISPERZIJA	--	IF6= 1	0.0792	0.0792	0.2768	0.6793	1.8600 HOMOG.
REZIDUALNA SUMA	--	IFR= 4	0.0301	0.0075	--	--	--
GRESKA EKSPERIMEN.	--	IFE= 8	0.2861	0.0358	--	--	--
ADEKVATNOST MODELA	--	IFA= 4	0.0601	0.0150	0.42	3.84	1.8600 ADEKV.
KOEFICIJENT VISESTRUKE REGRESIJE:				R = 0.9896			

Sl.5.6. Disperziona analiza pri ponavljanju eksperimenta u svakoj tački plana isti broj ponavljanja

6. ZAKLJUČAK

Iz izloženog slede osnovni zaključci:

- Razvojem novih tehnologija i procesa obrade i pojavom novih materijala alata i obradaka ukazuje se potreba za utvrđivanje funkcije odziva u obliku polinoma sa interakcijom pojedinih faktora, to jest za analizom više varijanti matematičkog modela i izborom odgovarajućeg,
- Pri izboru varijante matematičkog modela pri ispunjenju napred navedenih kriterijuma treba voditi računa da se izabere matematički model sa najmanjim brojem članova aproksimirajućeg polinoma zbog pogodnije optimizacije elemenata režima rezanja,
- Uvodjenje koeficijenta višestruke regresije kao jednog od najznačajnijih kriterijuma izbora varijante matematičkog modela pokazalo se kao opravdano u dosta primera /1/, a to je potvrdio i primer sa II sistemom ponavljanja eksperimenta, jer je u istom primeru za sve tri varijante matematički model bio adekvatan, pa se odluka o prioritetu donosila na osnovu ovog koeficijenta,
- Zbog svoje opravdanosti, na osnovu koeficijenta višestruke regresije kao dopunskog faktora trebalo bi odredjivati i adekvatnost matematičkog modela, naročito u ekstremnim primerima, kada je rasturanje rezultata eksperimenata u centralnoj tački plana ili dosta veliko ili dosta malo pa se na osnovu F-testa nemože doneti odluka o adekvatnosti ili neadekvatnosti matematičkog modela.

LITERATURA

- /1/ Dašić P.: Primena računara u matematičkoj teoriji eksperimenata, stručni rad, Kruševac, 1987.
- /2/ Stanić J.: Metod inženjerskog merenja, Osnove matematičke teorije eksperimenata, Mašinski fakultet, Beograd, 1981.
- /3/ Pljaskin I.: Optimizacija tehničkih rešenjij v mašinstroenii, Mašinstroenie, Moskva, 1982.
- /4/ Stankov J.: Osnove merne tehnike, Metode planiranja eksperimenata, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1982.
- /5/ Dašić P., Ispitivanje funkcije srednje aritmetičkog odstupanja profila u pogon-Filipović Đ.: skim uslovima, X JUPITER - Konferencija, Cavtat, 1984. 81-105.
- /6/ Hadživuković S., Regresiona analiza, Privredni pregled, Beograd, 1982.
Zegnal R. i
Čobanović K.:
- /7/ Dašić P., Uvodjenje u primenu reznih alata od keramike pri obradi rezanjem Milošević S., u proizvodnim pogonima Industrije "14. oktobar", naučno-istraživački Todorović Lj., projekat, Kruševac, 1987- 1990.
Brkić D. i dr:

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

ODREĐJIVANJE ZAKONITOSTI PROMJENE
TEMPERATURNOG POLJA NA PREDNJOJ POVRŠINI ALATA
EVALUATION OF TEMPERATURE FIELD IN TOOL RAKE FACE

Lj. Jurić Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje,
R. Deželić Sveučilište u Splitu, 58000 Split, R. Boškovića bb,
Yugoslavia

Ključne riječi: SAŽETAK: U ovom radu se istražuje raspored temperaturnog polja na prednjoj površini pri različitim režimima obrade. Pokusi rezanja provedeni su tokarenjem aluminijske slitine AlMgSi 0,5 sa zakaljenim pločicama od Č.1741. Nakon rezanja izmjerena je tvrdoća na pojedinoj pločici i dobijen je uvid u strukturne promjene. Pomoću baždarnе krivulje izvršena je transformacija polja tvrdoća u temperaturno polje. Numeričkom obradom rezultata dobivena je slika temperaturnog polja za pojedini odabrani režim.

Key words: ABSTRACT: Temperature field in tool rake face was investigated. Cutting tests were conducted in lathe machining AlMgSi 0,5 alloy with fully quenched tool from carbon steel Č.1741 at various conditions of cutting speed and feed. After cutting tests hardness in tool rake face was measured. Transformation of hardness to temperature field was carried out by Hollomon-Jaffe curve for tempering fully quenched carbon tool steel used in these tests. Temperature field in each cutting condition was analysed by numerical method.

1. UVOD

Intenzitet trošenja alata u procesu obrade skidanjem strugotine zavisi o brojnim utjecajnim faktorima i njihovim interakcijama. Istraživanja obavljena u tom pravcu dovela su do spoznaje da je temperatura na površini i u unutrašnjosti reznog klina bitno utjecajna na trajnost alata. Postojanost ošttrice prvenstveno zavisi o maksimalnoj temperaturi i o gradijentu temperaturnog polja u području ošttrice |1|, |2|.

Dosadašnja istraživanja na tom području bila su uglavnom obavljena pri obradi čelika. Budući da značaj aluminijske slitine zadnjih godina raste zbog masovne primjene u industriji, optici, elektrotehnici, nameće se potreba što boljeg poznavanja pojava pri obradi tih materijala. Stoga u literaturi nailazimo već i na rezultate u tom području |3|.

U prethodnim istraživačkim radovima pri Zavodu za strojarsku tehnologiju FESB-a u Splitu, testirana je i prihvaćena metoda mjerenja temperature prednje površine alata preko strukturnih promjena u njoj |4|. Koristeći ovu metodu, u ovom radu se istražuje raspored temperaturnog polja na prednjoj površini pri različitim režimima obrade. Pokusi rezanja provedeni su

tokarenjem aluminijeve slitine AlMgSi 0,5 sa zakaljenim pločicama od Č.1741.

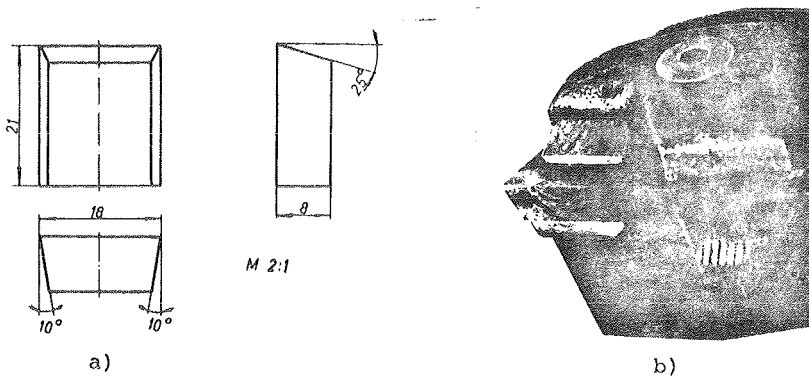
2. EKSPERIMENTALNI DIO RADA

2.1 Izbor geometrije oštrice

U cilju mogućnosti izmjene pločica korišten je držač švedske firme SANDVIK COROMANT tipa SBPR-20M čija konstrukcija utječe na radnu geometriju oštrice. Uzevši to u obzir, a na temelju podataka prema [5], [6], kao konačne veličine radne geometrije oštice alata usvojene su:

- stražnji ili slobodni kut oštrice $\alpha = 10^{\circ}$
- prednji kut oštrice $\gamma = 15^{\circ}$
- kut klina $\beta = 65^{\circ}$
- prisloni kut oštrice $\kappa = 75^{\circ}$
- kut nagiba oštrice $\lambda = 0^{\circ}$
- vršni kut oštrice $\epsilon = 90^{\circ}$

Prednji kut γ je usvojen nešto manji od preporučenog u cilju postizanja viših temperatura prigodom rezanja. Da bi se zadovoljilo usvojene veličine, izrađene su rezne pločice od Č.1741, prema sl. 2.1.



Sl. 2.1 Rezni alat
a) geometrija izmjenjivih reznih pločica
b) rezna pločica u držaču

2.2 Toplinska obrada reznih pločica od Č.1741

Pravilna toplinska obrada reznih pločica najvažnija je pripremna radnja za uspješno izvodjenje naknadnog pokusa rezanja. Prije provodjenja toplinske obrade je potrebno razmotriti zahtjeve kojima moraju udovoljiti rezne pločice na kojima će se mjerenjem tvrdoće indirektno snimiti temperaturno polje. Izborom materijala Č.1741 za rezne pločice želi se udovoljiti zahtjevu da materijal alata bude u zakaljenom stanju potpuno martenzitne strukture, tj. bez ostatnog austenita. Cilj ovog zahtjeva odnosi se na želju za što pouzdanijim registriranjem i manjih strukturnih promjena izazvanih indirektnim

popuštanjem topline razvijenom u procesu rezanja.

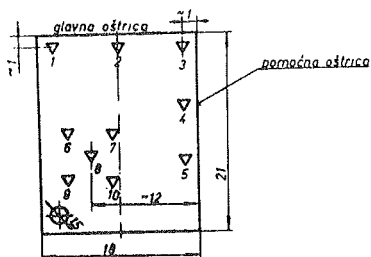
Da bi se postigao navedeni cilj, istodobno je kaljeno 20 komada pločica, međusobno razmaknuto povezanih žicom provučenom kroz provrt $\varnothing 1,5$ mm u donjem lijevom kutu nasuprot oštrice. Na taj način su prigodom toplinske obrade sve pločice bile u istim uvjetima.

Broj relativno visokog $C_{ekv} = 0,748$, prethodno je poduzeto predgrijavanje pri temperaturi od 450°C u trajanju od 30 minuta u komornoj peći tipa LP 0206 Zlatarne - Celje. Austenitizacija je izvršena u dvokomornoj peći tipa 2-DKP 1350/950 $^{\circ}\text{C}$ R. Končar - Zagreb, sa zaštitnom atmosferom (metanol). Temp. austenitizacije iznosila je $t_A = 810^{\circ}\text{C}$, a trajanje $\tau = 10$ min.

Hladjenje je obavljeno u vodi s dodatkom 10% NaCl do sobne temp. uz intenzivno miješanje unutar 5 sek, a zatim je produženo do cca -50°C u mješavini alkohola i suhog leda plina CO_2 uz zadržavanje od 20 min. Na taj način je izvršeno tzv. duboko hladjenje.

2.3 Mjerenje prosječne tvrdoće zakaljenih reznih pločica

Planom utvrđenim u radu [4] izmjerena je prosječna vrijednost tvrdoće zakaljenih reznih pločica od č.1741, nakon poliranja prednje površine. Mjerenje je izvršeno na 10 odabranih mjernih mjesta, prema rasporedu na sl. 2.2, uz pomoć mikrotvrdomjera apliciranog na metalografskom mikroskopu ZEISS NEOPHOT 2-DDR. Srednja vrijednost tvrdoće nakon kaljenja iznosila je $\text{HV}=990$.



Sl. 2.2 Raspored mjernih mjesta za određivanje prosječne tvrdoće zakaljenih pločica

2.4 Izbor režima obrade slitine AlMgSi 0,5

Za izvodjenje tokarenja poslužila je tokarilica MAVAG - Diosgyör, tip MVE 280/3000, te su parametri pri obradi bili unutar funkcionalnih mogućnosti stroja. Uvažavajući postavljeni zahtjev pojave što više temperature pri rezanju i razvijanju veće površine temperaturnog polja, odabrani su slijedeći režimi:

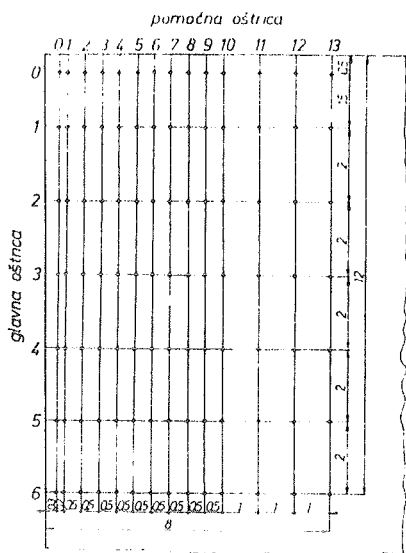
REŽIM I (rezna pločica br. 3)	$a = 8$ mm	$s = 0,33$ mm/okr.	$v = 222$ m/min
REŽIM II (rezna pločica br. 4)	$a = 8$ mm	$s = 0,33$ mm/okr.	$v = 110$ m/min

REŽIM III
(reзна pločica br. 5) $a = 8 \text{ mm}$ $s = 0,66 \text{ mm/okr.}$ $v = 222 \text{ m/min}$

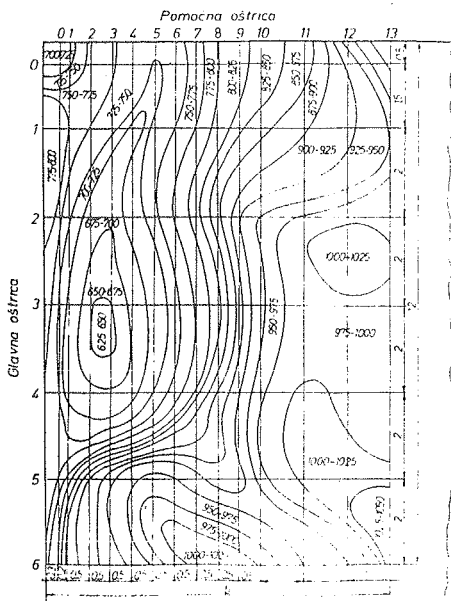
Tokaren je uzdužno trupac od AlMgSi 0,5 dimenzija $\emptyset 147 \times 440 \text{ mm}$, a u svakom režimu je trajanje obrade bilo jednako i iznosilo je 30 sek. Rezanje je izvršeno bez podmazivanja i hladjenja u cilju postizanja što izrazitijeg efekta popuštanja u materijalu alata. U daljnjem izlaganju će se pojedini režimi obrade poistovjetiti s pripadajućim reznim pločicama korištenim u dotičnom režimu, s napomenom da su pločice s rednim br. 1 i 2 poslužile u preliminarnim pokusima.

2.5 Određjivanje polja tvrdoća na prednjoj površini alata

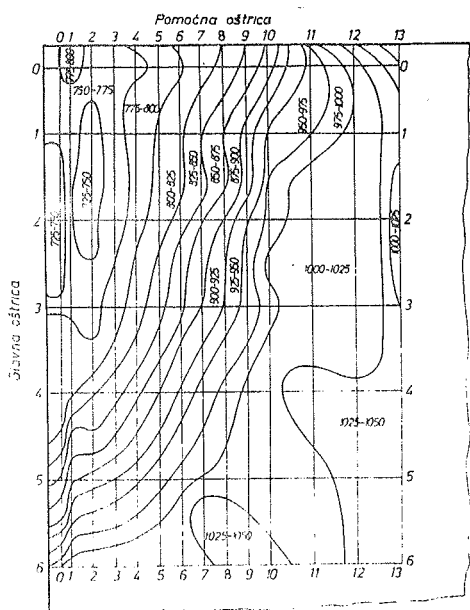
Nakon obrade odabranim režimima, a prije samog mjerenja tvrdoće, prednje površine na reznim pločicama su očišćene dodatnim poliranjem. Da bi se izbjegla subjektivnost mjerioca i u cilju dobivanja što pouzdanijih rezultata, izvršena su po tri mjerenja tvrdoće u okolišu svake pojedine mjerne točke, te je kao rezultat uzeta srednja vrijednost. Prigodom mjerenja korišten je uređaj opisan u pogl. 2.3. Raspored mjernih mjesta prikazan je na sl.2.3, a snimljena polja tvrdoća pri pojedinom režimu prikazuju sl. 2.4, 2.5 i 2.6.



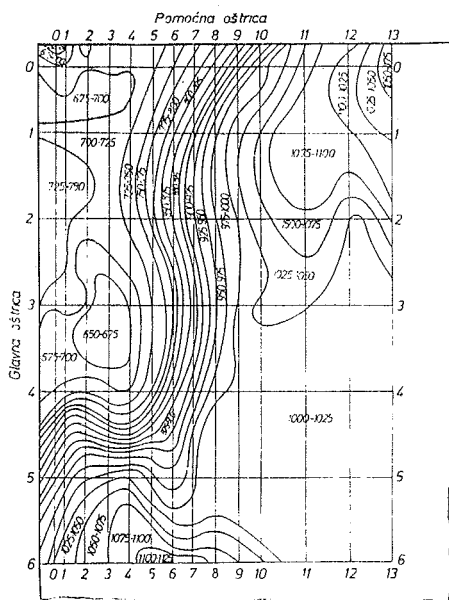
Sl. 2.3 Raspored mjernih mjesta na prednjoj površini rezne pločice



Sl. 2.4 Raspored polja tvrdoća za režim I - reзна pločica br. 3 $a = 8 \text{ mm}$, $s = 0,33 \text{ mm/okr.}$, $v = 222 \text{ m/min}$



Sl. 2.5 Raspored polja tvrdoća za režim II - rezna pločica br. 4 a = 8 mm s = 0,33 mm/okr, v = 110 m/min



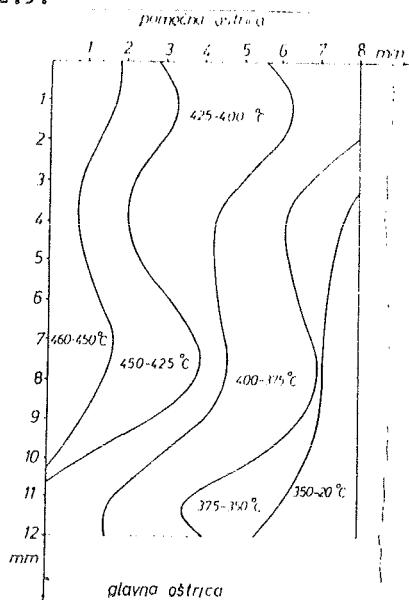
Sl. 2.6 Raspored polja tvrdoća za režim III - rezna pločica br. 5 a = 8 mm s=0,66 mm/okr, v = 222 m/min

2.6. Numerička obrada rezultata i transformacija polja tvrdoća u temperaturno polje

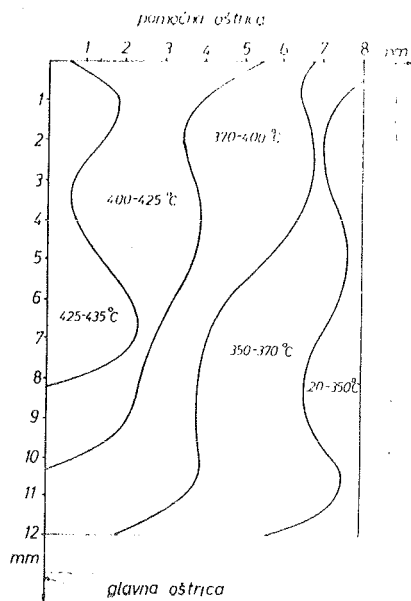
Zavisnost tvrdoće opoložaju mjernih mjesta na prednjoj površini alata napisana u matematičkoj formi glasi $H = f(x,y)$. Prednja površina rezne pločice predstavlja ravninu X-Y, s tim da koordinata X predstavlja glavnu, a Y pomoćnu oštricu. Nakon unosa funkcije $H = f(x,y)$ u obliku matrice u program, pomoću kućnog kompjutora tip SINCLAIR SPECTRUM izvršen je odabir točaka kod kojih je apsolutna razlika tvrdoće u odnosu na izmjerenu minimalna. Kroz tako odabrane točke, metodom minimalnog kvadrata interpolirana je funkcija oblika: $y = C_0 + C_1x + C_2x^2 + \dots C_nx^n$, koja ujedno predstavlja izoduru. Više ovako dobijenih funkcija određuje polje tvrdoća, ograničeno krajnjim veličinama zadanih tvrdoća.

Da bi se odredilo zavisnost temperature o položaju, potrebno je poznavati iznos temperature za pojedina mjesta. Transformacija je u ovom radu napravljena pomoću inverzne funkcije baždarne krivulje $H = f(t, \tau)$ prema [4], koja je sada izražena u formi: $t=0,5492 \cdot 10^{-6}H^3 + 0,1493 \cdot 10^{-2}H^2 - 1,598H + 1021,44$. Rezultat te transformacije je funkcija $t=f(x,y)$ koja predstavlja izotermu. Program korišten kod određivanja izodura može se sada upotrebiti i za određivanje izotermi, s tim da se dopuni naredbom za transformaciju tvrdoća u odgovarajuće temperature za ista mjesta prednje plohe. Ulazni podaci su opet izmjerene tvrdoće $H = f(x,y)$. Raspored temperaturnog polja na pojedinim reznim pločicama i pripadajućim režimima prikazan je na sl. 2.7, 2.8

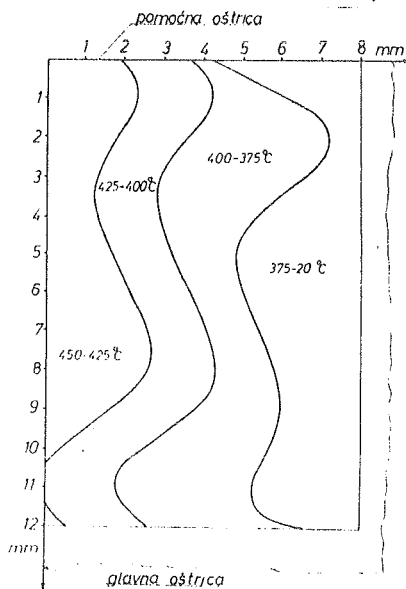
i 2.9.



Sl. 2.7 Temperaturno polje za režim I - rezna pločica br. 3 a = 8 mm, s = 0,33 mm/okr, v=222 m/min



Sl. 2.8 Temperaturno polje za režim II - rezna pločica br. 4 a = 8 mm, s = 0,33 mm/okr, v=110 m/min



Sl. 2.9 Temperaturno polje za režim III - rezna pločica br. 5 a = 8 mm, s = 0,66 mm/okr, v = 222 m/min

3. ZAKLJUČAK

Ovom metodom dobija se uvid u temperaturno polje prednje površine čah i na nepristupačnom mjestu, koje je u procesu rezanja pokriveno odlazećom strugotinom. Može se zaključiti o relativno stacionarnom temperaturnom polju čija se preraspodjela može na ovaj način pratiti ovisno o promjeni režima obrade. Koristeći razradjeni program može se odrediti gradijent temperaturnog polja, kao i mjesto i iznos maksimalne temperature, što je veoma značajno za optimalno korištenje alata.

LITERATURA

- |1| Vukelja, D.: Prilog studiji habanja alata pri obradi rezanjem, Goriva i maziva, No. 6 (1973).
- |2| Vukelja, D.: Temperatura površine rezanja pri obradi metala na strugu, Mašinstvo, No. 2 (1967).
- |3| Kutner, F., Nachtigall, E.: Eigenschaften der Aluminium, 45 Jahrg, (1969), No. 10, s. 621-626.
- |4| Deželić, R.: Indirektna metoda odredjivanja temperature iz promjene strukture odnosno tvrdoće na alatu pri obradi aluminija, Doktorska disertacija, Fakultet strojarstva i brodogradnje - Zagreb, (1980).
- |5| Zdenković, R.: Obrada metala skidanjem, FSB, Zagreb (1965).
- |6| Metals Handbook, Eighth edition, Vol. 3: Machining, ASM, Metals Park, Ohio (1976).

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

PRIJEDLOG PROMJENA U KONCEPTU PRODUKCIONE TOKARILICE

H. Muren

Fakulteta za strojništvo Ljubljana
61000 Ljubljana, Jugoslavija

Ključne riječi:

Tokarilice
Optimizacija
konstrukcije

SAŽETAK: Studija aktualnog koncepta produkcionih tokarilica pokazala je određene slabosti u konstrukciji kojima se dosada nije posvećivala dovoljna pažnja. U radu analizirani su glavni nedostaci i dati prijedlozi za svrsishodniju konstrukciju odgovarajućih dijelova.

Schlüsselwörter:

Drehbänke
Optimierung der
Konstruktion

ZUSAMMENFASSUNG: Eine Studie des aktuellen Konzeptes der Produktionsdrehbänke hat auf bestimmte Schwächen in der Konstruktion, die bis jetzt nicht entsprechend berücksichtigt wurden, gezeigt. In der vorliegenden Arbeit wurden diese zuerst eingehend analysiert, um dann die Vorschläge für die Verbesserungen der betreffenden Teile zu geben.

1. Uvod

Uvodjenjem numerički upravljanih tokarilica pojavili su se za teže izvedbe sasvim novi oblici koji omogućavaju bitno veću krutost od konvencionalnih izvedbi i odgovarajuće velikim učinicima lakše odvođenje strugotine. Tokarilice manjih dimenzija i s manjim snagama pogonskih motora samo iznimno se izrađuju s numeričkim upravljanjem. Suvremena saznanja o potrebnim velikim krutostima nisu dovela praktički do nikakvih promjena kod lakih kao i kod konvencionalnih izvedbi tokarilica, osim u tome da novi strojevi imaju veću masu. U samom konceptu i detaljima konstrukcije nije promjenjeno praktički ništa.

Detaljan studij klasičnog koncepta tokarilica, međutim, pokazuje veći broj nedostataka, i to praktički kod svih glavnih sastavnih sklopova. Neki od tih nedostataka uočeni su već ranije - iz literature poznati su čak pojedini pokusi poboljšanja - ipak se može reći da su tokarilice klasičnog koncepta danas skoro jednake tokarilicama ispred 50 godina, ako zanemarimo veću masu i jače pogonske motore.

Na osnovu sistematskog studija pokazalo se je da su za određeno područje rada tokarilice klasičnog koncepta još dalje svrsishodne i potrebne. Konstrukcija tih strojeva bi se mogla ipak bitno poboljšati. Da bi se ispitala mogućnosti sprovođenja novih ideja u praksu izrađen je idejni projekat za manju tokarilicu s nizom promjenjenih detalja i započeti su pripremni radovi za izradu prototipa.

2. Generalni koncept

Stroj koji bi odgovarao svim suvremenim zahtjevima trebao bi da bude „otvorene” izvedbe ako upotrebimo terminologiju koja je uobičajena na području računala. Osnovna izvedba stroja trebala bi dozvoljavati dopune i dogradjivanja bez ikakvih promjena i naknadnih obrada. Dodavanjem ili zamjenom pojedinih dijelova ili sklopova stroj bi trebao omogućiti da se može upotrebljavati za što više područja rada i za različite stupnjeve automatizacije - od sasvim ručnog upravljanja sve do suvremenog numeričkog upravljanja. Na taj način proizvođač mogao bi imati na skladištu samo određeni dio sklopova iz kojih bi u najkraćem vremenu mogao sastaviti stroj prema željama kupca.

Opisani koncept u gradnji alatnih strojeva nije nikakva novost, ipak se dosada nije upotrebljavao kod univerzalnih i produkcijskih tokarilica klasične izvedbe. Istraživanje pokazalo je, međutim, da se ovom zahtjevu može skoro u potpunosti zadovoljiti. Još više, praktički skoro nisu potrebni sklopovi u dvije izvedbe nego se može raznim zahtjevima zadovoljiti samo dodavanjem odgovarajućih elemenata ili sklopova.

3. Glavni pogon

Tokarilice klasične izvedbe imaju pogotovo sve pogon glavnog vretena od trofaznog asinhronog motora preko mijenjačke kutije sa stupnjevanjem brojeva okretaja. Ako mora biti stroj što jeftiniji još sada dolazi u obzir ovo rješenje unatoč poznatim nedostacima, među kojima ne bi trebalo zaboraviti dinamičke utjecaje, naročito ako treba stroj raditi sa suvremenim visokim brzinama.

Tokarilica suvremene otvorene izvedbe trebala bi omogućiti bez konstrukcijskih promjena upotrebu:

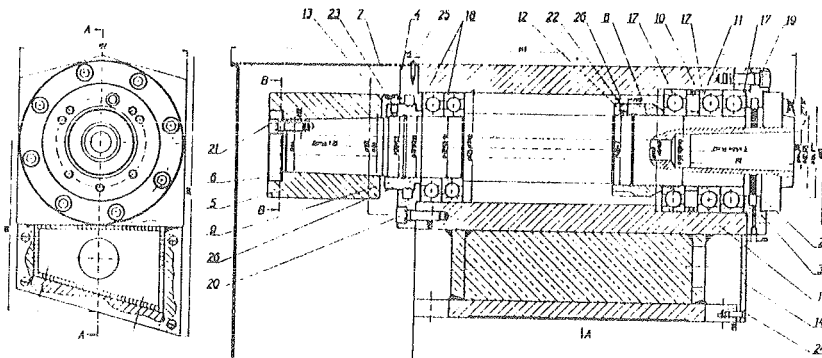
- asinhronog motora i mijenjačke kutije sa stupnjevanjem brojeva okretaja
- asinhronog motora s regulatorom frekvencije
- jednosmjernog servomotora.

Odgovarajuće konstrukcijsko rješenje je veoma jednostavno: u vreteništu se smije nalaziti samo glavno vreteno s ležajevima koje dobiva pogon od pogonskog agregata (motora ili mijenjačke kutije) preko remena. Promjenom dimenzija remenica može se kompletno mijenjačko područje prilagoditi željama kupca.

Od tri spomenuta moguća načina pogona već sada je vrlo interesantan pogon s regulacijom frekvencije. Moguće je naime upotrebiti standardne asinhronne motore koji su relativno jeftini. Momentano je odgovarajući regulator još relativno skup ali se očekuje u najkraće vrijeme dalje snižavanje cijene. Vjerojatno je to pogon koji ima najbolje perspektive u najbližoj budućnosti, pa već sada treba više razmišljati o njegovom uvođenju i kod jednostavnijih strojeva.

Kod projektiranog prototipa upotrebiti će se kod manje izvedbe asinhroni motor s regulacijom frekvencije, budući da se takvi agregati za manje snage već izrađuju u zemlji. Kod teže izvedbe ugrađen će biti jednosmjerni servomotor da bi se mogao prototip ispitati u težim uslovima eksploatacije.

Glavno vreteno kod prototipa biti će uležišteno na četiri specijalna kuglična ležaja da bi se moglo raditi s odgovarajuće visokim brojevima okretaja. Kod drugog, težeg prototipa predviđa se uležištenje na pet kugličnih ležaja (slika 1).



Slika 1. Presjek kroz vretenište (brzohodna izvedba na pet ležaja)

Provrt za uležištenje glavnog vretena omogućava bez ikakvih promjena i druge načine uležištenja da bi se stroj mogao bez problema prilagoditi potrebama eksploatacije.

Sama kutija vreteništa će biti kod prototipa izradjena u zavarenoj čeličnoj konstrukciji. Time će biti omogućeno ispitivanje dinamičkih pojava. Očekuje se naime da jednostavna i vrlo kruta izvedba neće biti nepovoljnija od izvedbe u sivom lijevu. Uporedna ispitivanja na prototipu trebala bi dati odgovor na pitanje o upotreblivosti čeličnih zavarenih konstrukcija kod alatnih strojeva. Već ovdje se može spomenuti da će biti kod prototipa svi bitni dijelovi koji to uopće dozvoljavaju u zavarenoj čeličnoj konstrukciji.

Budući da u vreteništu nema nikakvih pogonskih dijelova osim glavnog vretena s ležajevima, njegove dimenzije u presjeku su neuobičajeno male. Očekuje se da će biti zbog toga stabilnost stroja veća. Dalje takav presjek omogućava povoljniji smještaj prednje staze vodjica za saonice koje mogu biti bez problema vodjene na većoj dužini.

Svakako se time bitno mijenja dizajn stroja na koji se možda treba tek naviknuti. Ocjenu o tome trebalo bi prepustiti arhitektima.

U slučaju da bi bio glavni pogon sa stupnjevanjem brojeva okretaja odgovarajuća mijenjačka kutija mogla bi se smjestiti u lijevu nogu stroja na način koji je već poznat kod nekih ranijih tokarilica.

Kod pogona s regulacijom motorima i vrlo visokim brojevima okretaja najsvrsishodnije je odvojenom pričvršćenje motora da se vibracije istog ne bi prenosile u proces obrade.

Remen za vezu motora ili mijenjačke kutije s glavnim vretenom biti će kod prvog prototipa plosnati beskrajni remen jedne od poznatih suvremenih izvedbi, da bi se mogao ispitati eventualni negativni utjecaj relativno velikih radijalnih opterećenja na glavno vreteno.

U budućnosti bi trebalo ispitati upotreblivost zupčastih remena u pogledu dinamičkih pojava. Remen ovakve izvedbe bi mogao biti vrlo interesantan zbog malih radijalnih opterećenja. Kod našeg koncepta stroja taj remen bi ujedno omogućilo najjednostavnije rješenje rezanja navoja pomoću numeričkog upravljanja.

4. Postelja

Glavna novost u konceptu je posebna izvedba postelje kojom se želi postići maksimalna krutost. Predviđa se postelja u zavarenoj čeličnoj konstrukciji, djelimično punjena betonom radi povećanja sposobnosti prigušivanja.

Iz literature poznat je pokus zavarene izvedbe kod koje su na čeličnu cijev zavareni kutnici na kojima se nalaze staze vodjica za saonice. Tadašnja ispitivanja pokazala su dobre rezultate u pogledu krutosti. Do šire upotrebe ove izvedbe nije došlo zbog lošeg odvođenja strugotine.

Bolji rezultati postignuti su posteljama kutijastog presjeka lijevane izvedbe. Poznate su tokarilice kutijastog presjeka s gornjom površinom nagnutom prema pozadini radi boljeg odvođenja strugotine.

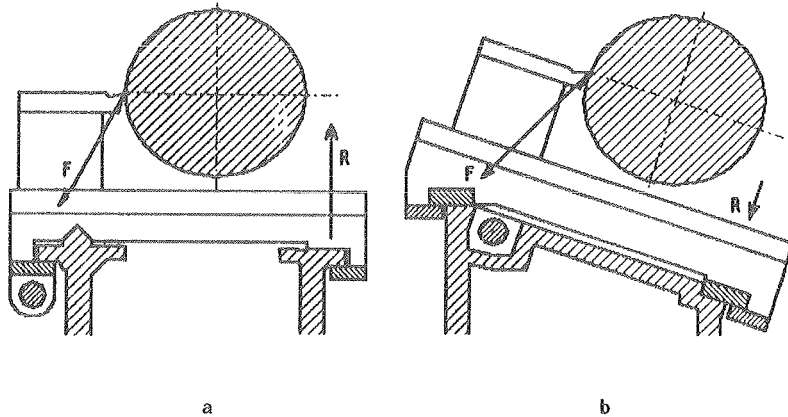
Za spomenuti prototip izradjena je konstrukcija sa sličnim kutijastim presjekom u zavarenoj konstrukciji. Glavna novost je u tome da se u unutrašnjosti ove kutije nalazi čelična cijev relativno jakog presjeka koja se poprečnim rebrima oslanja na vanjsku kutiju. Na taj način postelja je sastavljena od dva nosača, vanjskog s vrlo velikom krutosti na savijanje in unutrašnjog s velikom krutosti na uvijanje (slika 7 u prilogu).

Rebra koja povezuju obadva nosača su sa nosačima samo djelimično zavarena. Tehnološka nemogućnost potpunog zavarivanja iskorištena je da bi se postiglo trenje na nezavarenim spojevima koje bi prigušivalo eventualne vibracije. Ispitivanja na prototipu trebaju još pokazati dali nakon žarenja radi otklanjanja unutarnjih napona zbog zavarivanja ostaje trenje rebara na nezavarenim mjestima još aktivno.

Povećanju prigušivanja bi trebalo dodatno pridonijeti trenje između postelje i vijcima pričvršćenih staza za vodjice (pozicije 12 i 13 na slici 7) kao i jaka lamela na gornjoj površini koja služi za vodjenje i pričvršćivanje konjlica (pozicija 8).

5. Vodjenje saonica na postelji

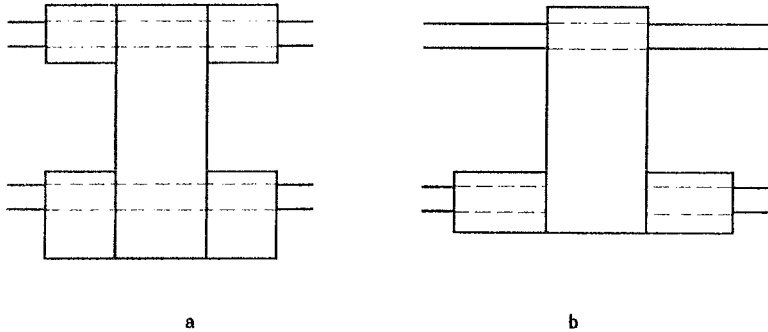
Oblik saonica kao i vodjenje istih na postelji bitno su različiti od dosadašnjih konstrukcija. Jedna od najčešće upotrebljivanih izvedbi kod klasičnih tokarilica prikazana je na slici 2a. Na toj slici se vidi djelovanje sile rezanja kod tokarenja obradaka većih promjera. Rezultirajuća sila rezanja djeluje na saonice u točki koja je izvan prednje vodeće staze. Zbog toga dolazi do podizanja saonica na zadnjoj vodjici i opterećenja sigurnosne letve sa donje strane staze. Zadnja staza opterećena je samo kod tokarenja obradaka s manjim promjerima.



Slika 2. Vodjenje saonica kod klasične izvedbe tokarilice (a) i kod prototipa (b).

Kod prototipa vretenište je pomaknuto unazad i spušteno na niže (slika 2b). Rezultirajuća sila rezanja djeluje zbog toga na saonice uvijek u točki između obadvije vodeće staze. Reakcija ove sile na zadnjoj stazi usmjerena je uvijek prema dole i nikad ne dolazi do podizanja saonica.

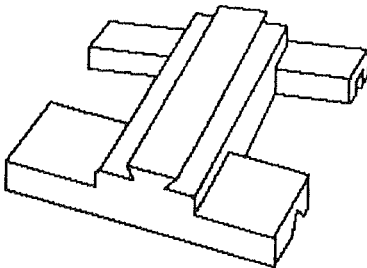
Interesantan je dalje smještaj vodećeg vretena kod nove izvedbe na gornjoj strani postelje između obadvije vodeće staze. Sila s kojom djeluje vreteno na saonice za vrijeme rada zbog takvog rasporeda praktički je u točki zahvata rezultante posmične sile i sila trenja, pa zbog toga ne prouzrokuje moment koji bi zakretao saonice. Budući da će biti upotrebjeno kuglično vreteno s relativno velikim vijekom trajanja, stroj će imati samo ovo vreteno za posmak saonica u uzdužnom smjeru kao i za eventualno rezanje navoja. Utorno vreteno i zupčasta letva nisu potrebni. Jasno je da je vreteno na takvom izloženom mjestu potrebno zaštititi od strugotine.



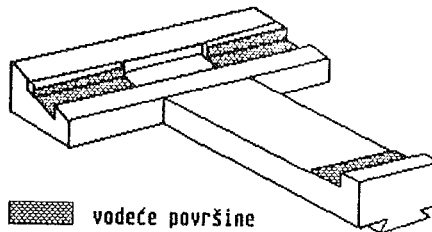
Slika 3. Tlocrt saonica klasične (a) i nove izvedbe (b)

Druga razlika u konstrukciji saonica kod prototipa vidi se šematski iz slike 2. Kod klasične izvedbe (slika 2a) saonica se oslanjaju na prednju i na zadnju stazu na jednakoj dužini. Budući da su sile na zadnjoj strani vrlo malene ako nisu čak i negativne, takva izvedba je potpuno nesvrishodna. Iskustva iz prakse pokazuju da su saonice često izvitoperene (slika 3a). Do toga dolazi obično već kod prve faze obrade zbog ostatka unutarnjih napona, pa je konačna obrada koja bi to trebala otkloniti dosta problematična.

Kod prototipa tlocrt saonica ima oblik velikog slova T okrenutog na glavu (slika 3b). Precizna izrada takvog oblika je mnogo lakša i neproblematična, izvitoperenje zbog ostataka unutarnjih napona lakše je otkloniti kod završne obrade. Pritisci u vodećim površinama su približno jednaki na prednjoj i na zadnjoj strani. Interesantan detalj nove izvedbe vidi se dalje na slici 5 koja prikazuje saonice s donje strane. Noseće površine u prednjoj vodjici podijeljene su u dva razmaknuta dijela. Otsjek između ta dva dijela ne dodiruje vodeću stazu. Odgovarajuće je i klin za podešavanje zračnosti podijeljen u dva nezavisna dijela koji se podešavaju svaki za sebe.



Slika 4. Izvitoperenost saonica



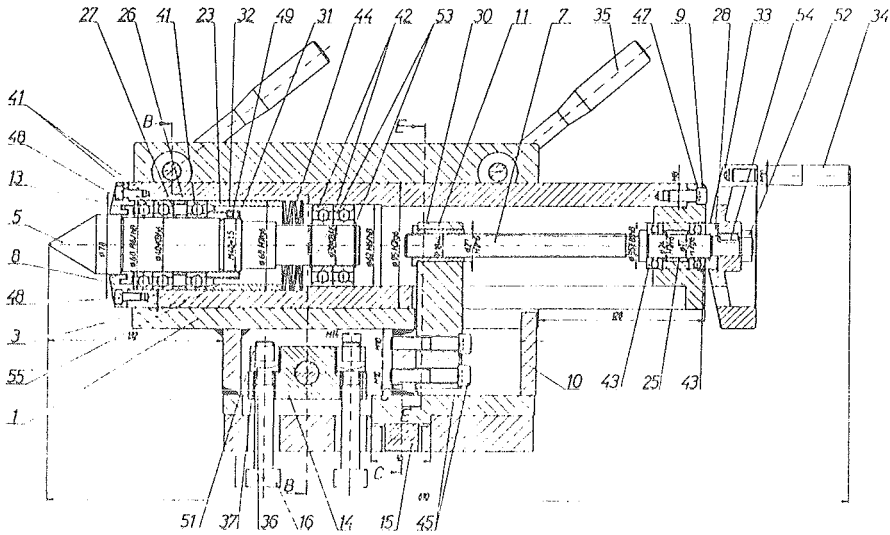
Slika 5. Novi oblik - pogled odozdo

Kod novog oblika saonice se oslanjaju na vodeće staze na tri jasno odvojene površine. Time se postizava statičko određeno nalijeganje saonica koje se i kod većeg istrošenja ili kasnijeg izvitoperenja ne mogu ljuljati. Pored toga se predviđa veća dužina prednjeg vodećeg dijela od dosadašnjih izvedbi i time preciznije vodjenje. Veća dužina je moguća bez problema zbog posebne konstrukcije vreteništa. Budući da je ovo jako pomaknuto unazad, prednja vodeća staza može biti produžena u područje ispred vreteništa. Većom dužinom prednjeg dijela osigurava se istovremeno dovoljna stabilnost unatoč trokutnom obliku tlocrtne površine. Rezultirajuća sila reznja ostaje praktički uvijek unutar tog trokuta.

6. Konjić

Određene promjene - svakako manje revolucionarne - predviđene su i kod konjića. Budući da se predviđa prvo izrada prototipa manje izvedbe, prema predviđanjima trebala bi odgovarati odgovarajuće kruta klasična izvedba sa nekim manjim specifičnostima spomenutim u nastavku.

Prvi problem koji je trebalo riješiti nekonvencionalno bilo je vođenje konjića i povezivanje s posteljom. Rješenje se vidi na slici 6.



Slika 6. Uzdužni presjek kroz konjić

Prednja prizmatična vodjica za konjić nalazi se na već spomenutoj lameli (pozicija 8. slika 7). Kao druga vodjica koristi se zadnja vodjica saonica. Zbog tlocrta saonica u obliku slova T konjić ne smeta saonicama kod kretanja prema desnoj. Pričvršćenje omogućeno je pomoću utora u obliku slova T in dva vijka koji su elementom u obliku vage povezani na ekscentar da bi se dobila potpuno jednaka sila u obadva vijka. Sistem za pričvršćivanje pomaknut je do krajnje mogućnosti prema lijevi strani konjića da bi se dobila što manja reakcija zbog sile stezanja.

Sila stezanja kod upotrebe rotirajućeg šiljka ograničena je elastičnim aksijalnim uležištenjem (tanjurastim oprugama).

Pinola je duža od tijela konjića. Na taj način i kod maksimalno ispruženog šiljka pinola se oslanja na čitavoj dužini konjića.

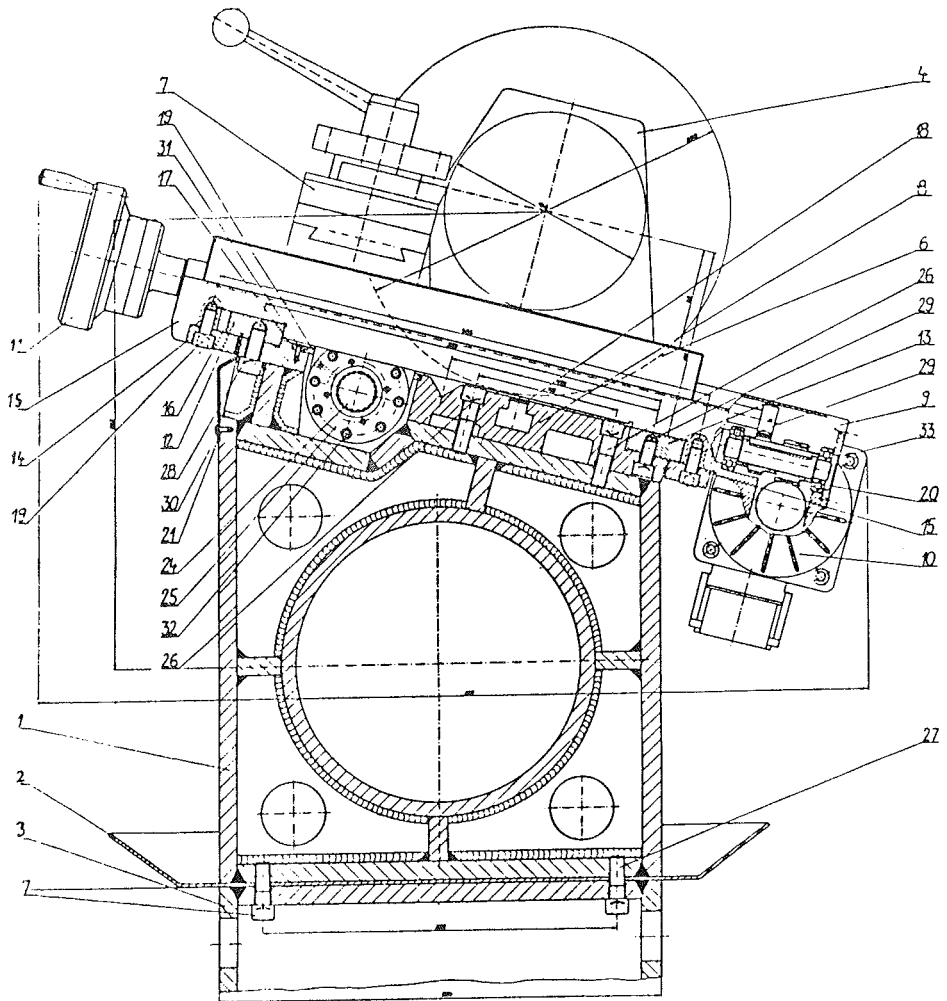
Novost je dvostruko ukrućenje pinole na prednjem i zadnjem dijelu. Elementi za ukrućivanje smješteni su s gornje strane pinole. Zbog toga prilikom ukrućivanja ne dolazi do pomeranja pinole, budući da sila ukrućivanja djeluje u istom smeru kao sila težina pinole. Ukoliko bi zbog elastičnosti ipak došlo do manjeg pomjeranja, obradak bi se pomaknuo prema alatu u tangencijalnom smeru, pa bi taj pomak ostao praktički bez utjecaja na dimenzije obratka.

Kao i svi ostali glavni dijelovi prototipa i tijelo konjića se predviđa u čeličnoj zavarenoj konstrukciji da bi se mogao ispitati eventualni negativni utjecaj na vibracije. Zbog jakih dimenzija ipak se očekuje da istih neće biti - barem u opasnim područjima frekvencija.

7. Zaključak

Na osnovu višegodišnjih Iskustava izradjena je projektna dokumentacija za izradu prototipa tokarilice na kojem bi se trebale ispitati u referatu opisane novosti. Ova ispitivanja bi trebala potvrditi naše pretpostavke.

Kod prototipa predvidjena je čelična zavarena konstrukcija za sve kapitalne dijelove da bi se prilikom ispitivanja dobila iskustva i podaci o ponašanju takve izvedbe kod strojeva koji su iznimno osjetljivi na dinamičke pojave. Podaci u literaturi o tome su nalme jako oskudni.



Slika 7. Poprečni presjek kroz postelju i saonice

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

SISTEM MODULA ZA GRADNJU VERTIKALNIH OBRADNIH CENTARA
THE SYSTEM OF MODULS FOR BUILDING THE VERTICAL
MACHINING CENTERS

M. Rovan

Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje,
58000 Split, Rudjera Boškovića bb

Ključne riječi:
Alatni strojevi
Obradni centri
Moduli
Konstrukcija

SAŽETAK: U cilju da se upotpuni ospeg vertikalnih obradnih centara u ovom radu je izložen razvoj i oblikovanje vertikalnih obradnih centara na modularnom principu, koji se mogu neposredno ukomponirati u fleksibilne proizvodne sisteme.

Key words:
Machine tools
Machining centers
Moduls
Construction

ABSTRACT: In order to complete the range of vertical machining centers in this paper is presented design and development new types of vertical machining centers in modular construction, ready to be link-lined in flexible manufacturing systems.

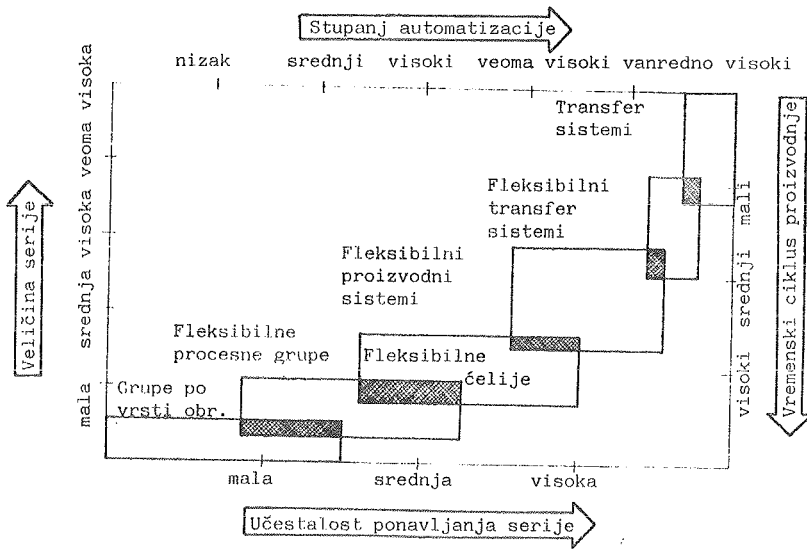
1. UTJECAJ SMJERA RAZVOJA PROIZVODNJE NA KONSTRUKCIJU VERTIKALNIH
OBRADNIH CENTARA

Postojeća proizvodnja odvija se kroz pojedinačni, maloserijski i serijski tip proizvodnje u pretežno procesnim tehnološkim strukturama (tehnološkim strukturama na principu vrsta obrade). Prema prognozama o industrijskom razvoju [1, 2] u budućnosti će se proizvoditi sve veći broj proizvoda sa sve kraćim vremenom korištenja i u sve većem broju varijanti izvođenja, što znači da će se sve više proizvoditi srednje i male količine jednakinah proizvoda.

Efikasna proizvodnja asortimana dijelova u malim i srednjim količinama zahtijeva da se proizvodnja odvija u predmetnim tehnološkim strukturama (grupe po svrsi) [1, 3], što potvrđuje i prikaz proizvodne ravnine u koji su smještene optimalne vrste tehnoloških sistema (Slika 1).

Sadašnji rast i razvoj predmetnih tehnoloških struktura temelji se u najvećoj mjeri na razvoju integralnog koncepta fleksibilnih proizvodnih sistema za novu generaciju automatiziranih visokoproduktivnih tvornica s proizvodima ultrakvaliteta, optimalnim rokovima isporuke i minimiziranim proizvodnim

troškovima. U razvoju fleksibilnih proizvodnih sistema stratešku ulogu ima razvoj nove generacije višeoperacijskih strojeva sposobnih da se ukomponiraju u fleksibilni proizvodni sistem, od kojih se očekuje da razriješe pitanje efikasnosti suvremene serijske proizvodnje s graničnim slučajem kada je veličina serije jednaka jedinici.



Slika 1. Područje primjene pojedinih proizvodnih koncepcija [4,5]

Poznato je da je efikasna proizvodnja moguća samo ako konstrukcija sklopova maksimalno osigurava ispunjavanje traženih funkcija, te kada se pojedini dijelovi mogu automatski proizvoditi, a sklopovi automatski montirati. Ovo predrazvoj višeoperacijskih strojeva postavlja dva osnovna zahtijeva koja treba ispuniti već pri projektiranju i konstruiranju stroja.

Prvi zahtjev odnosi se na izvedbu samog stroja, koja mora biti modularna, na dogradnom principu, te prilagodjena za međusobno povezivanje i automatski rad.

Drugi zahtjev odnosi se na samu proizvodnju, koja se u kontekstu općih kretanja u razvoju industrije, također, mora odvijati unutar fleksibilnog proizvodnog sistema. To znači da module treba oblikovati tako da je njihova proizvodnja moguća u fleksibilnom automatiziranom proizvodnom sistemu.

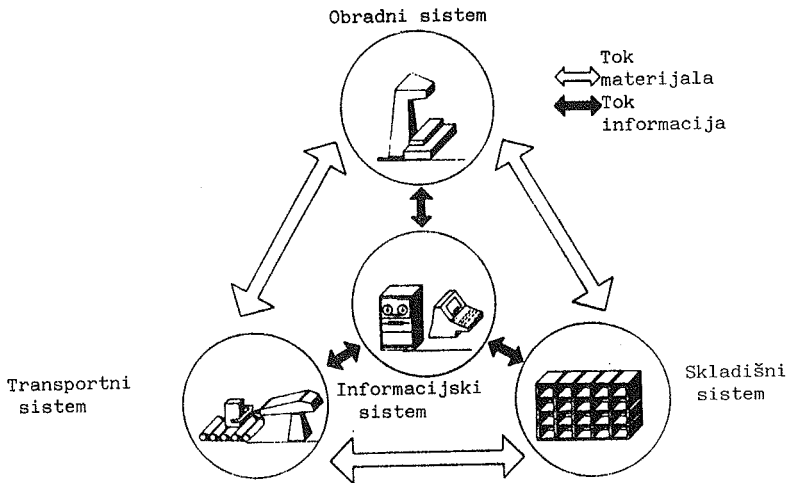
Polazeći od prethodnih tvrdnji potrebno je u domeni vertikalnih obradnih

centara:

- razviti sistem višenamjenskih cjelina (modula) za gradnju različitih struktura vertikalnih obradnih centara prilagodjenih za medjusobno povezivanje u fleksibilni proizvodni sistem; i
- oblikovati višenamjenske cjeline (module) na principu grupne tehnologije, da bi se proizvodnja mogla obavljati sa fleksibilnim predmetnim linijama.

2. OSNOVNI PARAMETRI POTREBNI ZA PROJEKTIRANJE VERTIKALNIH OBRADNIH CENTARA

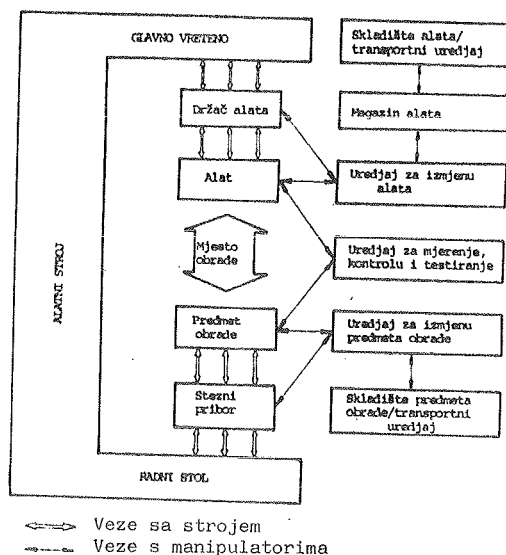
Osnovni parametri potrebni za projektiranje vertikalnih obradnih centara proistječu iz veze stroja s ostalim komponentama fleksibilnog proizvodnog sistema (Slika 2) i veza pojedinih podsistema strojnog sistema (Slika 3).



Slika 2. Komponente fleksibilnog proizvodnog sistema [6]

Utjecaj ovih veza neposredno se održava na osnovne karakteristike funkcionalnih sistema stroja: geometrijskog, automatskog, energetskog i upravljačkog (komunikacijska-informacijsko).

Najveći utjecaj na geometrijski sistem stroja imaju dimenzije predmetne obrade i sistem automatske izmjene predmeta obrade. Ovaj utjecaj se odražava kroz uvjet da radni stol mora biti pomičan u osi Y, uvjet da radni stol u osi X mora biti veći od širine palete i uvjet da visina radne površine stola mora biti prilagodjena visini uređaja za izmjenu ili transport paleta. Posljednja dva uvjeta ograničavajući su faktor primjene postojećih vertikalnih obradnih centara u fleksibilnim proizvodnim sistemima.



Slika 3. Elementi obradnog sistema i njihove veze u opsegu djelovanja alatnog stroja [7]

Na kinematički sistem stroja najveći utjecaj imaju geometrijski oblici površina koji se obradjuju na vertikalnim obradnim centrima i sistem alata kojim se vrši obrada ovih površina. Ovaj utjecaj odražava se kroz uvjet simultanog pravocrtnog gibanja u tri međusobno ortogonalne osi X, Y i Z i u ekstremnom slučaju simultanog gibanja u osima X, Y, Z, A i C.

Na energetski sistem stroja najveći utjecaj imaju materijal predmeta obrade i sistem alata, ali i zahtjev za smanjenje ciklusa proizvodnje. Ovaj utjecaj se odražava kroz povećanje snage motora za glavno gibanje i povećanje vrijednosti brzih hodova, tj. povećanje snage motora za posmično gibanje.

Na upravljački sistem stroja najveći utjecaj ima proizvodni prostor primjene stroja. U ovisnosti o proizvodnom prostoru primjene vertikalnog obradnog centra (Slika 1) upravljanje može biti: programsko, numeričko 2 1/2 D, numeričko 3 D. Pri tome upravljačke naprave koje se koriste kod numeričkog upravljanja moraju imati mogućnost povezivanja u komunikacijsko-informacijski sistem računarski integrirane automatizirane proizvodnje (LAN-Local Area Network).

3. RAZMJERNI RED, STRUKTURE I MODULI VERTIKALNIH OBRADNIH CENTARA

Od realno mogućih izvedbi vertikalnih obradnih centara prikazani su na Slici 4, obzirom na ograničenja koje postavlja veza stroja sa sistemom za automatsku izmjenu predmeta obrade povoljne su izvedbe B i F. Ove izvedbe omogućavaju gradnju vertikalnih obradnih centara u različitim stupnjevima automatizacije i njihovo uključivanje u fleksibilne predmetne proizvodne sisteme.

Pripadajuća gibanja			
tri osi izratka	jedna os alata	dvije osi alata	tri osi alata
A	B	C	G
		D	H
		E	I
		F	

Slika 4. Konstrukcijske izvedbe vertikalnih obradnih centara

A) vertikalni obradni centar s nepomičnim vreteništem i podiznim koordinatnim stolom; B) vertikalni obradni centar s koordinatnim stolom; Vertikalni obradni centri sa stolom pokretnim u jednoj osi; C) s pomičnim stupom u y-osi

Razmjerni red familije vertikalnih obradnih centara određuje s jedne strane širina radne površine (radnog stola, palete prema DIN 55 201, pravokutne palete s omjerom $b/l=1/2,24$), a s druge strane veličina konusa u glavnom vretenu. Na temelju ovih veličina na Tablici 1 navedene su glavne karakteristike familije vertikalnih obradnih centara.

Slika 5. prikazuje osnovne module za gradnju vertikalnih obradnih centara, kao i mogućnost njihova međusobna povezivanja. Iz ovog prikaza uočava se da osnovne module za gradnju vertikalnih obradnih centara čine:

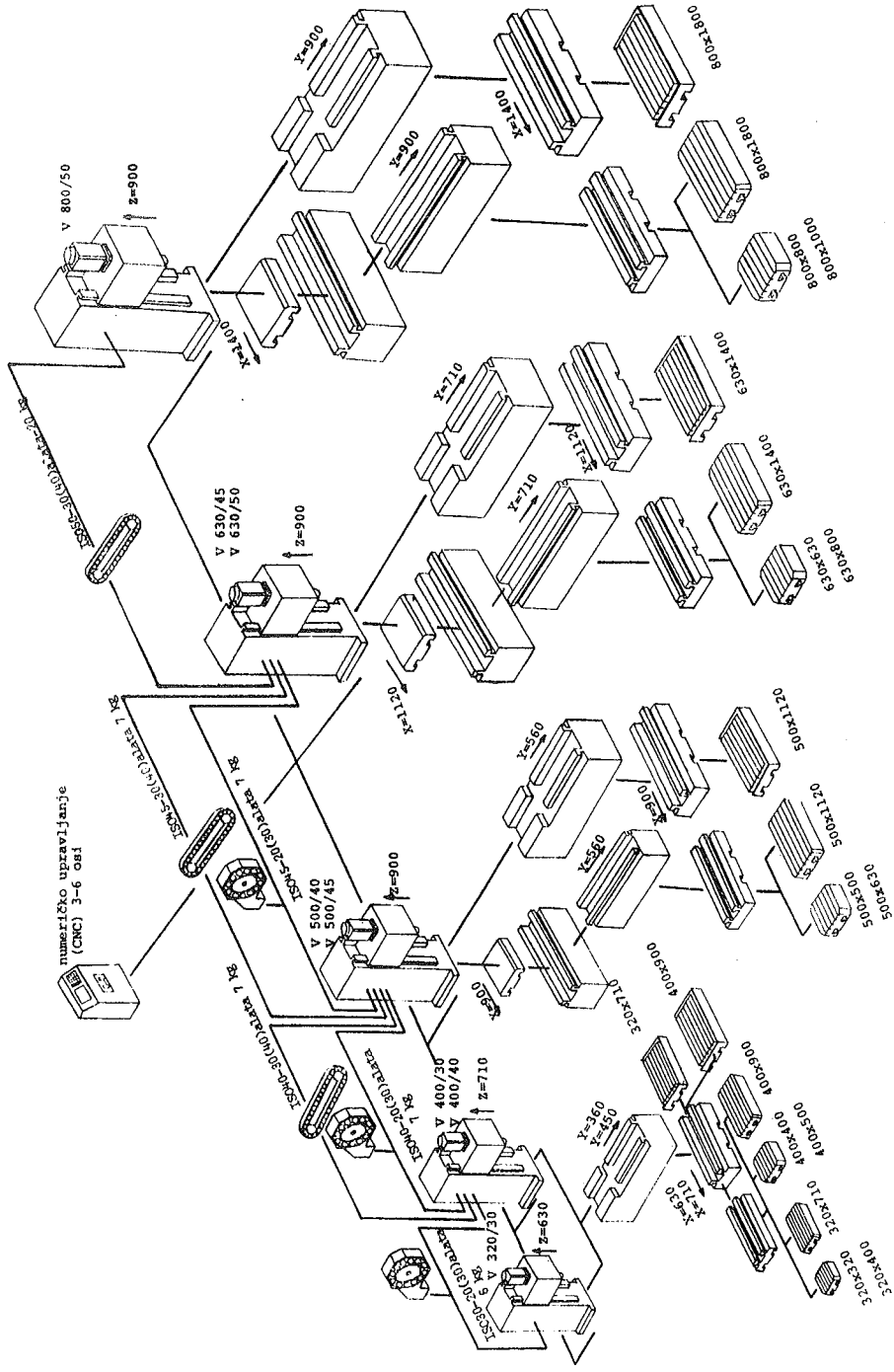
- postolja s koordinatnim stolom,
- postolja s uzdužnim linijskim stolom,
- nepomični stupovi,
- pomični stupovi,
- radni stolovi,
- palete prema DIN 55 201,
- pravokutne palete,
- vreteništa,
- magazini alata s mehaničkom rukom za izmjenu alata, i
- upravljačke naprave.

Tablica 1 - Osnovne karakteristike familije vertikalnih obradnih centara

Nazivna veličina		320/30	400/30	400/40	500/40	500/45	630/45	630/50	800/50
Radna površina	Radni stol mm	320 x 710	400 x 900		500 x 1120		630 x 1400		800 x 1900
	Paleta DIN 55201 mm	320 x 320	400 x 400		500 x 500		630 x 1630		800 x 800
	Pravokutna paleta mm	320 x 710	400 x 900		500 x 1120		630 x 1400		800 x 1900
	Nosiivošt kg	300	500		800		1200		2000
Radni bočovi	X mm	630	710		900		1120		1400
	Y mm	360	450		560		710		900
	Z mm	630	710		900		900		900
Glavno glavljenje	Konus u vretenu ISO	30	30	40	40	45	45	50	50
	Opseg brzina normalni o/min	10-6000	10-6000		10-6000	10-4500		10-4500	10-4500
	Opseg brzina povišeni o/min	10-10000	10-10000		-	-		-	-
	Snaga motora 100% ED kW	3,7	3,7	5,5	5,5	15		18,5	18,5
	50% ED kW	5,5	5,5	7,5	7,5	11		15	15
Površinsko glavljenje	Opseg radnih posvika mm/min	1-10000	1-10000		1-5000		1-5000		1-5000
	Brzi posmak u/min	24	24		20		16		16
Automatsko izmjena alata	Broj magazina	1(2)	1(2)		1(2)		1(2)		1(2)
	Kapacitet	20(30)	20(30)	30(40)	30(40)		30(40)		30(40)
	Najveća masa alata kg	6	6	7	7	15		15	20
UPRAVLJANJE		Programsko (PC), numeričko (CNC) 2 1/2 D, numeričko 3D							

Osim ovih modula koji su prikazani na slici 5, fond modula čine i:

- moduli sistema za hladjenje i odvoz strugotine,
- moduli zaštitnog sistema stroja
- moduli za automatsku izmjenu, skladištenje i manipulaciju predmetima obrade,
- moduli sistema za kontrolu i razvoj i
- moduli sistema upravljanja i povezivanja.



Slika 5. Shema različitih varianti izvodjenja vertikalnih obradnih centara

4. ZAKLJUČAK

Primjenom principa evolucijske inovacije, tj. na temelju analize postignutih rješenja i predviđenog razvoja pojedinih komponenti stroja, odnosno fleksibilnog proizvodnog sistema, projektirana je nova familija vertikalnih obradnih centara s poboljšanim dijelovima stroja i čitavog sistema. Projektirana familija obradnih centara posjeduje visoku tehnološku, kapacitivnu i prostornu fleksibilnost.

Fond modula za gradnju vertikalnih obradnih centara moguće je proizvoditi u proizvodnim strukturama, a njihov broj i karakteristike omogućavaju veoma brzo ispunjavanje zahtjeva u pogledu koncepcije stroja, roka isporuke i mogućih opcija, ali i mogućnost daljnje nadogradnje, što omogućava postupni prijelaz u potpuno automatiziranu proizvodnju.

LITERATURA

- 1 BUBRIDGE, J.L.: *Budućnost serijske proizvodnje, XIX savjetovanje proizvodnog mašinstva, Kragujevac, 1985., str. 67-74.*
- 2 SPUR, G.: *Aufschwung, Krisis und Zukunft der Fabrik, Produktionstechnischen Kolloquiums PTK, Thema: Die Zukunft der Fabrik, Berlin, 1983., str. 3-25.*
- 3 ZELENOVIĆ, D.M.: *Upravljanje proizvodnim sistemima, Naučna knjiga, Beograd, 1984.*
- 4 WALLER, S.: *Entwicklungstendenzen zur automatischen Fabrik, 4. Internationaler Logistik Kongress, Dortmund, 1983., str. 256-262.*
- 5 KLAAS, J.: *Rechnergestützte Planung Gruppen-technologischer Fertigungskonzepte-Systeme, Fallbeispiele, Anwendungserfahrungen, Rechnerunterstützte Fabrikplanung für die Gestaltung der Produktion von Margen, VDI-Gesellschaft Produktionstechnik, Fellbach, 1985., str. 95-105.*
- 6 *Flexible Automatisierung beim Bohren und Fräsen, Werner und Kolb Werkzeugmaschinen, Berlin, 1984.*
- 7 WECK, M.: *Handbook of Machine Tools, Volume 1 - Types of Machines, Forms of Construction and Applications, John Wiley & Sons, Chichester - New York - Brisbane - Toronto - Singapore, 1984.*

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987

OPRAVDANOST NA PRIMENATA NA INDUSTRISKITE ROBOTI ZA
POSLUŽUVANJE NC MAŠINI

JUSTIFICATION OF THE APPLICATION OF INDUSTRIAL ROBOTS FOR NC
MACHINE TOOL LOADING

V. Dukovski Mašinski fakultet, 91000 SKOPJE

S. Urdarević Učilišni centar "N. Tesla", 91000 SKOPJE

Ključni zborovi:
Industrijski robot
NC mašina
Opravdanost

REZIME: Vo trudot e prezentirana metodologijata za analiza na opravdanosta na primenata na industriskite roboti za poslužuvanje NC mašini. Preku analiza na proizvodnosta i koeficientot na proizvodnost na instalacijata so i bez robot, pokažan e efektot na koristenje na robotiziranata instalacija za različni dolžini na ciklusot na obrabotka. Na konkretn primer na primena na IR kaj NC strug dadena e analiza na isplativosta na investicijata.

Key words:
Industrial robot
NC machine
Justification

ABSTRACT: This paper presents methodology for analysis of application of industrial robots for machine tool loading. For the different total cycle time, the effect of application of the robot is shown through the analysis of productivity and productivity index of the NC machine with and without robot. The economic justification of application of IR for loading NC lathe, is shown.

1. UVOD

Sovremeni razvoj na proizvodnite tehnologii direktno e vrzan za fleksibilnata oprema vo koja pokraj veće široko zastapenite NC mašini se počesto se javuvaat i industriskite roboti. Robotite kako oprema so široki možnosti za primena (procesni aplikacii, poslužuvanje, montaža) gi pravat prvite čekorikon masovno voveduvanje vo industrijata pri što od posebno značenje za voveduvanjeto e analizata na opravdanosta na nivnata primena i prednostite i ekonomskiot efekt što tie go nosat so sebe. Ovie analizi se od rešavačko značenje za da ne se dojde do situacija robotot namesto da bide unapreduvanje na postojnoto proizvodstvo vo sekoj pogled, toj da predstavuva promašena investicija pa đuri i negova kočnica.

Ne zemajći si vo zadaća da gi prikažeme poširoko svetskite iskustva vo primenata na robotite vo industriskite kapaciteti (tie se opfateni vo /3/), sepaće ukažeme na određenite specifičnosti vo nivnata primena vo odnosot na NC mašinite što i beše osnova za našite podetalni istražuvanja. Globalnite istražuvanja /5/ se prikažani vo tabela 1.

Ne navleguvanjeto vo komentiranjeto na podatocite sođržani vo tabela 1, bi-dejći tie sami za sebe zboruvaat, će se dade zbirnoto sporeduvanje (tabela 2).

Nekoi sporedbeni pokazatelji za primenata na robotite i NC mašinite

Tabela 1

Pokazatelji za analiza	Učestvo vo % kaj	
	NC mašini	roboti
<u>1. Obem na godišnoto proizvodstvo (vo parčinja)</u>		
1 - 100	15	-
101 - 1.000	17	-
1001 - 10.000	21	7
10.001 - 100.000	43	58
100.001 - 1.000.000	4	28
1.000.001 - 10.000.000	-	7
<u>2. Vreme na ciklusot (min/parče)</u>		
0,1 - 1	9	40
do 5	19	47
do 50	49	13
nađ 51	23	-
<u>3. Varijanti na rabotno parče</u>		
1 ÷ 5	15	58
6 ÷ 10	21	16
11 ÷ 50	26	21
nađ 51	38	5
<u>4. Reprogramiranje (broj/nedelno)</u>		
pod 1	9	51
2 ÷ 10	70	49
nađ 11	21	-
<u>5. Golemina na serijata (parčinja)</u>		
1 ÷ 10	23	-
11 ÷ 100	30	5
101 ÷ 1.000	40	28
1.001 ÷ 10.000	7	42
nađ 10.000	-	25

Zbirno spoređivanje na primenata na NC mašini i roboti

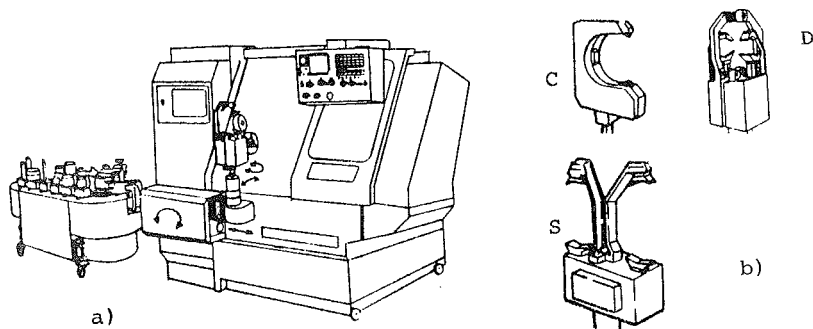
Tabela 2

pokazatelj	NC mašina	Roboti
Obem na godišno proizvodstvo (par/god)	10.000	10.000
Vreme na ciklusot (min/parče)	5	5
Varijanti na rabotno parče	10	1 ÷ 5
Reprogramiranje (broj/nedelno)	2 ÷ 10	do 1
Golemina na serijata (parčinja)	100	1.000

Podatocite od tabelite 1 i 2 se dovolno indikativni za opredelivanje na podražjata na racionalnata primena kako na robotite taka i na NC mašinite. Svak vo sekoj konkretnen slučaj e potrebna poopstojna analiza što beše i objekt na našite istraživanja /3/.

2. STRUKTURA I SODRŽINA NA ROBOTIZIRAN NC STRUG ZA RABOTA BEZ POSLUŽUVAČ

Tako primenata na robotot za posluževanje NC mašini može da se svede samo na zamenata na čovekot vo delot što se odnesuva na postavuvanjeto i simnuvanjeto na parčeto na mašinata, može da se konstatira deka ovaka poednostavena razbranata zadača na robotot mnogu često može da dovede do negova neopravdana primena. So analizata napravena vo ovoj trud tokmu i na toa se ukazuva. Vsušnost primenata na robotite za posluževanje na mašinite će trebaba da ja razgleduvame vo kontekstot na vkupnite usovršuvanja koi NC mašinata gi pretrpuva so cel istata da bide oslobođena za rabota bez posluževač. Imajči gi vo predvid skapite vložuvanja, vo robotiziranite NC mašini, skoro kako pravilo, će proizleze od tehnoeekonomskite analizi rabota na tie mašini vo poveće smeni, pri što sekogaš stanuva zbor za poveće takvi mašini, koi se pod nadzor i posluževanje na eden rabotnik (vsušnost robotat vo režim na rabota bez posluževač). Sekako najsovršena verzija e koga imame povrzuvanje na poveće robotizirani mašini vo edna fleksibilna proizvodna linija (FMS).



Sl.1. NC strug posluževan so robot FLEX-1 (a) i stegite koi možat da bidat rpimeneti (b)

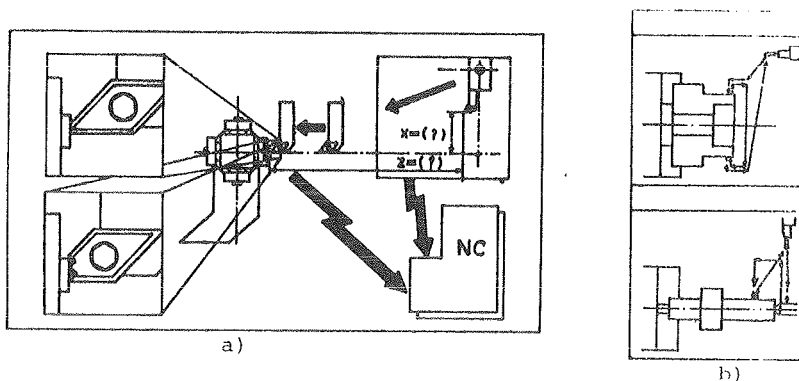
Ne navleguvajči vo opširno obrazlaganje na site neophodni elementi za instalaciite koi rabotat bez posluževač, će ukažeme na osnovnite preku primerot na poznatiot japonski proizvođevač na NC mašini YAMAZAKI /6/. Imajči predvid deka robotiziranite instalacii treba da rabotat podolg period na vreme bez čovečki nadzor i doteruvanje, tie vo svojata sođržina treba da go imaat obezbedeno slednovo:

1. instalacijata da može da vrši proverka na sostojbata na alatot i da davaa soodvetni korekcii na programata,
2. instalacijata da može da vrši merenje na dimenziite na parčeto i da davaa soodvetni korekcii na programata,
3. instalacijata da može da prihati obrabotka na različni parčinja vo proizvodlen redosled, so nivno prepoznavanje,
4. instalacijata da može da gi realizira ednopodrugo obrabotkite na delot od obete strani, so što se namaluvaa zalihite na delovi,
5. instalacijata da raspolaga so dovolen broj alati, smenlivi čeljusti i magacin (konvejer) za neobraboteni i obraboteni delovi za povećečasovna rabota,
6. programiranjeto na instalacijata da se karakterizira so ednostavnost i da bara kuso vreme za negova realizacija.

Na sl.1 prikažan e robotiziran NC strug na firmata YAMAZAKI, koj ni posluži za ponatamošnite analizi.

Instalacije koi gi imaat vgradeni vo sebe pogorespomenatite možnosti ovozmogućuuaat ne samo visoka proizvodnost i kvalitet tuku i primena na filozofijata na proizvodstvo bez zalihi (just in time) koja se poveće stanuva imperativ na sovremenoto fleksibilno proizvodstvo.

Za proverka na sostojbata na nožot NC strugot raspolaga so poseben senzorski sistem, prikazan na sl.2-a, kako i meren ured koj može avtomatski da se stavi na mestoto na alat i da izvrši merenje (sl.2-b).



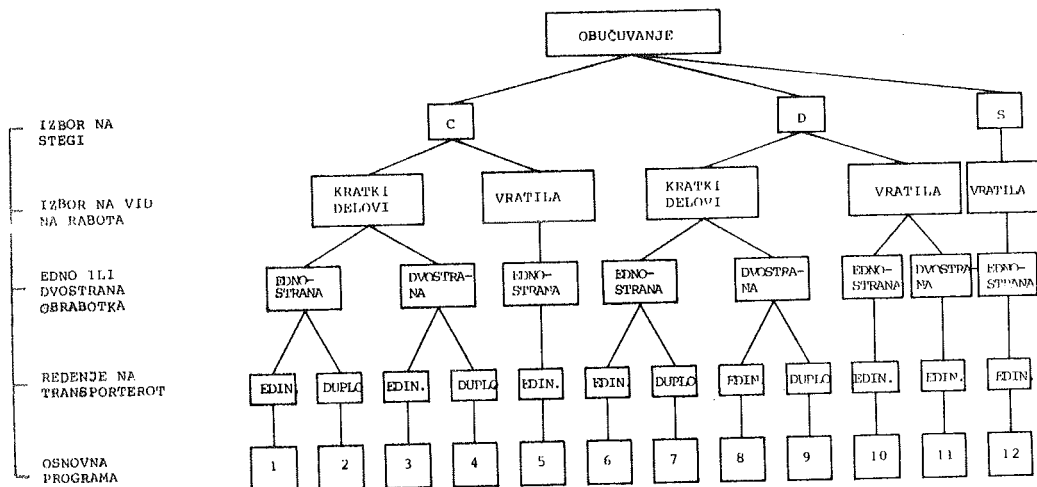
Sl.2. Dopiren senzor za podesuvanje i kontrola na alatot (a) i kontrola na parčeto na mašinata (b)

Često se pojavuva somnevanje vo preciznosta na uredite prikazani na sl.2. Če gi navedeme podatocite koi gi garantira proizveduvačot: za instalacijata na sl.2-a, $\pm 7 \mu\text{m}$, a za instalacijata na sl.2-b, $\pm 6 \mu\text{m}$.

Robotot i konveerot se snabdeni so dopolnitelni uredi koi rešavaat poedini prašanja spomenati pogore, a obezbeduuaat i pouzdana rabota na instalacijata. Na konveerot se naodja posebna ploča na koja se postavuva parčeto pri negovoto zavrtuvanje, koga se vrši obrabotka na obete strani ednopodrugo, kako i podvižna prizma so senzor koja služi za merenje na prečnikot na predmetot i povikuvanje soodvetna programa za obrabotka (prepoznavanje na delot). Se raspolaga i so naprava koja go potisnuva delot pri steganje vo stezna glava, za da se obezbedi dobro naleganje.

Posebno interesen e robotot i načinot na negovata rabota i programiranje. Od sl.1. može da se vidi deka FLEX-1 e robot so četiri nesimultano upravuvani oski. Trite rotacioni dviženja se so odnapred definirana golemina na rotacija (90° , 70° i 180°) dodeka pravoliniskoto može da se programira vo granicite do 260 mm. Ovavkata koncepcija na robotot ima svoje opravduvanje, ako se ima vo predvid negovata zadača i opremata koja toj ja poslužuva. Soglasno zadačata i konstrukcijata i programiranje se specifični. Imeno upravuvačkata edinica ovozmogućuva obučuvanje prema 12 odnapred odredeni bazni programi so koi se pokrivaat različnite možni slučaj na poslužuvanje na strugot. Možnostite na softwar-ot se prikazani na sl.3.

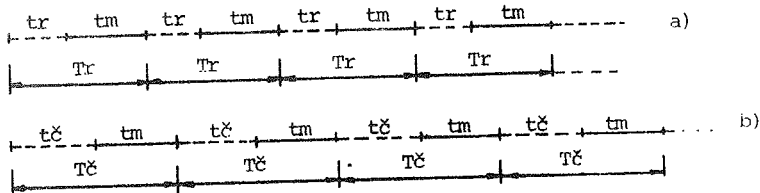
Taka koncepiranata konstrukcija i software ovozmogućile da se dobie celosno zaokružen, lesen za upotreba i relativno evtin sistem za poslužuvanje na NC strugovite, iako vo odnos na fleksibilnosta ima značitelni ograničuvanja. Ova konstrukcija može da se grupira negde pomedju manipulator so senkvencionalno upravuvanje i univerzalni robot so NC upravuvanje. Možeme da konstatirame deka vakviot pristap se poveće e zastapen vo denešna prak-tika.



Sl.3. Struktura na korisničkiot software kaj FLEX-1

3. ANALIZA NA PROIZVODNOSTA I KOEFICIENTOT NA PROIZVODNOST NA NC STRUG POSLUŽUVAN OD ROBOT

Ciklusot na rabota (T) na edna mašina poslužuvana od robot (r) i čovek (č), prikazan e na sl.4.



Sl.4. Ciklus na rabota na mašina poslužuvana od robot (a) i čovek (b)

Vo slučajot koga mašinata e poslužuvana od čovek nemožeme da očekuvame deka vremeto na poslužuvanje tč će bide sosema ravnomerno kako toa kaj robotot (tr), no zaradi možnosta na analiza može da se prihati takva aproksimacija.

Vremeto na ciklusot na mašinata će se opredeli kako:

$$T = tp + tm \quad (1)$$

kade, tp - vreme za poslužuvanje na mašinata (koe vo slučajot na poslužuvanje od čovek e tč, a od robot tr).

tm - vreme na rabota na mašinata za realizacija na obrabotkata

Ciklusnata proizvodnost će bide

$$Qc = \frac{1}{T} = \frac{1}{tp + tm} \quad (2)$$

što može da poprimi oblik /2/

$$Qc = \frac{K}{K(tp + 1)} = K \cdot \eta \quad (3)$$

kade: $K = \frac{1}{tm}$ i prestavuva tehnološka proizvodnost

$$\eta = \frac{1}{K(tp+1)} - \text{koeficient na proizvodnost}$$

Od (3) sleduva:

$$\eta = \frac{Qc}{K} = \frac{tm}{tp+tm} \quad (4)$$

Nema da se davaat detalni analizi na relaciite (3) i (4) tuku će se konstatira deka preku koeficientot na proizvodnost η može da se oceni sovršenstvo na ciklusot, t.e. zastapenosta na vremeto na rabota na mašinata (tm) vo vkupniot ciklus na mašinata. Pri promenljivo vreme na izrabotka na delot (tm) analizirani se:

$$Qc\check{c} = \frac{K}{K(t\check{c}+1)} \text{ i } \eta\check{c} = \frac{Qc\check{c}}{K}$$

$$Qcr = \frac{K}{K(tr+1)} \text{ i } \eta r = \frac{Qcr}{K}$$

pri što za $t\check{c}=1$ min (prema neposredni merenja), a za $tr=0,33$ min, prema /6/. Vo slučajov zemeno e posluživanje so stegač D i ednostrana obrabotka na del. Treba da se ima vo predvid deka robotot upotrebuva 20 sec za zamena na parčeto od otvaranje na vratata na strugot do nejzinoto zatvaranje, no i 40 sec za postavuvanje na parčeto na konveerot i negovo zadviživanje. Vo toj smisol, za slučaj kade vremeto na izrabotka e pokuso od 40 sec neizbežen e zastoj na strugot zaradi čekanje da se završi i ovoj del od ciklusot na zamenata. Obstojni analizi na relaciite (3) i (4), kako i razlikata na koeficientite na proizvodnosta $\Delta\eta$, dadeni se na sl.5 i 6. Nakuso će konstatirame deka vremeto na ciklusot na rabota na mašinata tm ima rešavačko značenje za proizvodnosta i iskoristenosta (a so toa i ekonomičnosta) na instalacijata. Za mnogu kratki vremenja ($tm < 40$ sec) praktično se javuva čekanje na mašinata, dodeka pak za mnogu golemi vremenja ($tm > 15$ min) razlikata vo proizvodnosta $\Delta\eta \approx 0.05$, t.e. pomala od 5%. Ovie pokazateli se od suštinsko značenje pri opredeluvanje ekonomičnosta na instalacijata, što e objekt na ponatamošniot prikaz.

4. METODOLOGIJA I PRIMER ZA ANALIZA NA EKONOMIČNOSTA NA PRIMENATA NA ROBOT ZA POSLUŽIVANJE NC STRUG

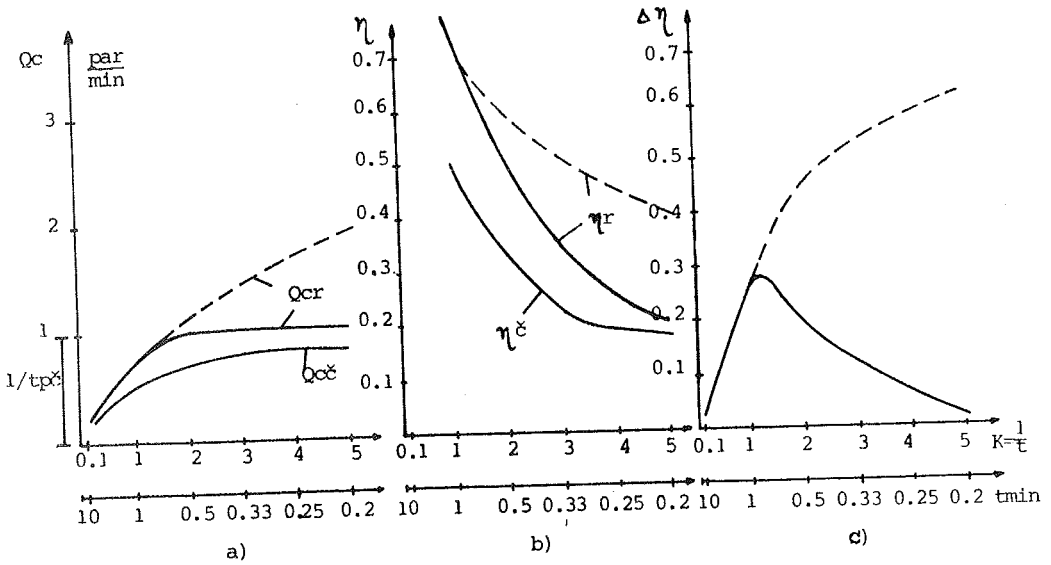
Vo osnova na ekonomskata analiza na opravdanosta na voveduvanje robot /4/ leži opredeluvanje cenata na činenje na proizvodot na instalacija so robot i bez nego:

$$C = Ke + \frac{Kp}{L} + \frac{Kv}{N} \quad (5)$$

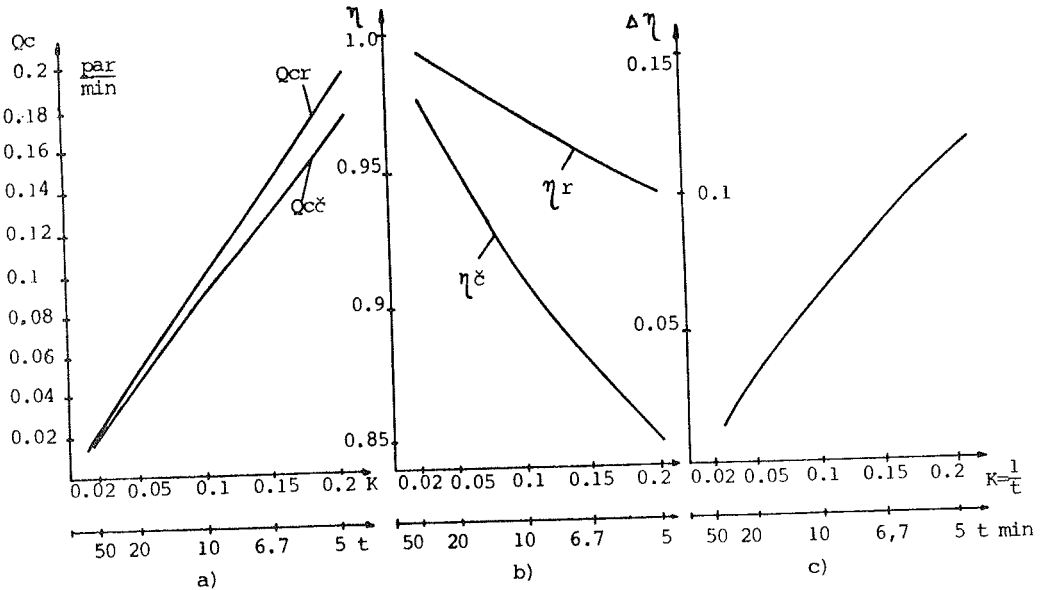
kade: Ke - poedinečni trošoci po parče
 Kp - trošoci za povtoruvanje na nalogot
 Kv - vkupni ednokratni trošoci za priprema
 L - broj na parčinja vo serija
 N - vkupen broj na parčinja

Vo tabela 3 prikažana e sporedbena analiza na trošocite na instalacija posluživana so robot i bez nego, prema ceni vo 11.1986 god.

So vrednostite od tabela 3 i relacijata (5) može da se napravi analiza na cenata na činenje na proizvodot za različni uslovi na primena na robotiziranoto rabotno mesto. Našata analiza se odnesuvaše na vkupen broj na parčinja $N=10.000$ i promenljiva golemina na serijata $L= 50 \div 1500$. Beše presmetuvana relacijata (5) za slučaj na mašina posluživana račno (kolona 1), dve mašini posluživani od roboti i eden rabotnik (kolona 2), tri mašini posluživani od roboti i eden rabotnik (kolona 3), četiri mašini so roboti i eden rabotnik (kolona 4) i pet mašini so roboti i eden rabotnik (kolona 6). Rezultatite od ovie presmetki se dadeni vo tabela 4.




S1.5. Ciklusna proizvodnost (a), koeficient na proizvodnosti (b) i razlika na koeficient na proizvodnosti (c) za instalacija posluživana so robot (r) i čovek (č) (— realni vrednosti, --- fiktivni vrednosti) $t_r = 0.33$ min, $t_{\check{c}} = 1$ min.



S1.6. Karakteristike Q_c (a), η (b) i $\Delta\eta$ (c) za područje na vreme na rabota na mašinata $t_m = 5$ do 50 min.

Tabelaren pregled na trošoci (sostojba 11.1986 god.) Tabela 3

	OPREMA: Robot FLEX-1 obrabotka: od edna strana	Varijanta	
		bez robot	so robot
1. Nabavna cena so postavuvanje	din.	80.000.000	98.000.000*
2. Godišen fond na časovi (S=2)	čas.	3.500	3.640
3. Period na koristenje	god.	8	8
4. Godišno otpišuvanje (1:3)	din/god.	10.000.000	12.250.000
5. Trošoci od kamati	din/god.	3.600.000	4.410.000
6. Trošoci od održuvanje	din/god.	3.200.000	3.920.000
7. Trošoci za prostorot	din/god.	132.000	143.000
8. Trošoci za energija	din/god.	749.000	777.000
9. Trošoci za mašinata (4+5+6+7)	din/god.	17.681.450	21.500.481**
10. Trošoci za ličen dohod	din/god.	3.451.000	1.725.500
11. Trošoci na rabotno mesto (9+10)	din/god.	21.132.450	23.225.981**
12. Trošoci na rabotnomesto na čas (11:2)	din/čas	6.038	6.381
13. Vreme za obrabotka na delot	min	15.5'	15.5'
14. Vreme za postavuvanje i sumnuvanje na delot	min	1'	0.33'
15. Vreme na ciklusot (13+14)	min	16.5'	16.23'
16. Vreme na ciklusot	čas	0.275	0.271**
17. Trošoci na rabotno mesto po parče (12:16)	din/par.	1.685	1.729**
18. Trošoci za alat po parče	din/par.	310	310
19. Trošoci na kontrola po parče	din/par.	-	-
20. Poedinečni trošoci (Ke) (17+18+19)	din/par.	1.995	2.039**
21. Trošoci za nalog	din/L	5.500	6.000
22. Trošoci na priprema nadvor od mašinata	din/L	-	-
23. Trošoci za priprema na mašinata	din/L	36.185	41.464
24. Trošoci za povtoruvanje na nalogot (Kp) (21+22+23)	din/L	41.685	47.464
25. Trošoci za izrabotka na programata	din/N	5.870	6.603
26. Trošoci za pomagala	din/N	-	-
27. Vkupno ednokratni trošoci za priprema (Ke) (25+26)	din/N	5.870	6.603

*) Koefficientot na iskoristuvanje $\eta r=1.04$ η č i toa e iskažano so 140 časa

***) Ovie vrednosti se za slučaj koga eden rabotnik poslužuva dve mašini snabdene so robot

Od tabela 4 može da se zakluči deka za konkretniot primer stanuva isplativ varijantata 4 za serii pogolemi od 280 parčinja i varijantata 5 za serii pogolemi od 180 parčinja, dodeka varijantite 2 i 3 đuri ni za serii od 1500 parčinja ne davaat zadovolitelni rezultati.

I od ovaa analiza može da se izvleče zaklučokot deka mašinite poslužuvani so roboti glavno treba da bidat orientirani za rabota vo poveće smeni i za slučaj kade poveće mašini opslužuva eden poslužuvač vo sprotivno značitelните vložuvanja nema da imaat ekonomsko opravduvanje.

Ne retko vo literaturata e prisatna presmetkata na rokot na otplata na vloženite sredstva. So predložena poednostavna metodologija /1/ vo uslovi na enormno golemata inflacija vo Jugoslavija i enormnite kamatni stapki sekako mnogu e teško da se dojde do prifatliv period na otplata na vloženite sredstva. Ograničeniot prostor ne ni ovozmožuva podetalna razrabotka i na ovaa problematika na koja sekako i vo idnina će treba da i se posveti seriozno vnanie.

Cena na žinenje na delot (din) za razni varijanti na posluževanje

Tabela 4

L broj na parčinja vo serija	Način na posluževanje					Napomena	
	račno	na 2 mašini 1 robotnik	na 3 mašini 1 robotnik	na 4 mašini 1 robotnik	na 5 mašini 1 robotnik		
	1	2	3	4	5		
50	2829	2988	2945	2923	2911	može samo varijanta 1	
70	2529	2717	2674	2652	2640		
100	2412	2514	2471	2449	2437		
120	2342	2435	2392	2370	2358		
140	2293	2378	2335	2313	2301		
160	2256	2336	2293	2271	2261		
180	2227	2303	2260	2238	2228		može i va- rijanta 5
200	2203	2276	2233	2211	2199		
220	2184	2256	2212	2190	2178		
240	2169	2237	2194	2172	2160		
260	2155	2221	2179	2157	2145		
280	2144	2209	2166	2144	2132	može i va- rijanta 4	
320	2125	2187	2144	2112	2110		
350	2114	2175	2132	2110	2098		
380	2104	2164	2121	2099	2087		
400	2099	2158	2115	2093	2081		
450	2087	2145	2101	2079	2067		
500	2078	2134	2091	2069	2057		
600	2064	2118	2075	2053	2041		
700	2055	2106	2063	2041	2030		
800	2047	2098	2055	2033	2021		
1000	2036	2086	2043	2022	2009		
1500	2022	2071	2027	2006	1994		

5. ZAKLUČOK

Primenata na industriskite roboti za posluževanje NC mašinite ne smee da se gleda samo kako zamena na robotnikot-posluževuč vo delot svrzan za postavuvanje na parčeto. Osnovnata orientacija treba da bide usmerena kon sozdavanje fleksibilna oprema so možnosta za rabota vo podolg vremenski period bez posluževuč so koja sušttestveno će se nadminat možnosta na rabotnoto mesto koe e posluževano od čovek. Ekonomskata analiza toa go pokazuva i vo toj smisol nea ja smetame kako obvrzna pri odlučevanjeto za voveduvanje roboti za posluževanje NC mašini.

LITERATURA

- /1/ Engelberger J., Robotics in Practice, AMACOM, 1980
- /2/ Dukovski V., Avtomatizirano proizvodstvo, Univerzitet "Kiril i Metodij", Skopje 1980
- /3/ Urdarević S., Možnosti i opravdanost na primena na robotite vo metalo-prerabotuvackata industrija na SRM, Magisterski trud, Mašinski fakultet, Skopje 1986
- /4/ Felten K., Industrierobotern an NC Drehmaschinen, Werkstatt und Betrieb, 115 (1982) 1, s 37-42
- /5/ UN, Economic Commision for Europ, Second ad hoc Meeting for the Study on Production and Use of Industrial Robots, Production and Use of Industrial Robots in Sweden in 1982, november 1983
- /6/ Prospekten i drug materijal na firmata Yamazaki, Japonija.

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

NOVA TEHNOLOGIJA ZA OBRADU REZANJEM POKLOPACA CILINDARA
GLAVNOG BRODSKOG MOTORA

NEW TECHNOLOGY FOR THE CUTTING OF CYLINDER COVERS FOR
THE MAIN SHIP'S ENGINE

A. Hrišnik Tehnički fakultet Rijeka, Sveučilište "V. Bakarić"
51000 Rijeka, Jugoslavija

A. Šestan Brodograđevna industrija "3. MAJ"
51000 Rijeka, Jugoslavija

Ključne riječi: SAŽETAK: Rad obrađuje problematiku uvođenja nove te-
hnologije za obradu poklopaca cilindara familije brod-
skih motora tipa Sulzer - "3. maj". Prezentira se teh-
nologičnost izradaka i koncepcija potrebnih alatnih
strojeva, uređaja, alata i naprava. Prikazuju se i
dviije varijante rješenja za obradu poklopaca.

Brodski
Motor
Poklopac
Tehnologija

Key words: ABSTRACT: The paper deals with the problems of the
introduction of a new technology for the cutting of
cylinder covers in the family of the ship engines of
the Sulzer type 3.maj.
The technology for the making of workpieces and the
conception of the required machine tools, equipment,
tools and devices are also presented. Two possible
colutions for the making of cylinder covers are pre-
sented.

Cover
Technology
Ship engine

1. Uvod

Novije konstrukcije sporohodnih SULZER-ovih diesel motora familije RL imaju jednodjelne poklopce cilindara sa nizom kratkih i dubokih provrta namjenjenih za cirkulaciju rashladne tekućine. Položaj tih provrta u prostoru izratka je pod različitim kutevima, promjenljive su dubine, promjeri i kvaliteta obrade. Dakle, ukupna tehnologija bušenja mora se

podijeliti na konvencionalne metode i strojeve i na specijalne strojeve i tehnologije dubinskog bušenja pri izradi poklopaca cilindara.

U ovom radu se prezentira samo mali segment jednog šireg istraživačkog rada osvajanja tehnologije obrade poklopaca cilindara za familiju sporohodnih motora namijenjenih za brodski pogon.

2. Karakteristike i tehnološkičnost izradaka

Propisani materijali za izradu poklopaca familije motora, kao što su tipovi: RL56, RL66, RN68M, RL76M i RL90, su kovani čelici Č.1431 (Čk-35) ili ljevani čelici GS-24 Mn 4.

Oblik i dimenzije familije poklopaca motora imaju geometrijsku, konstrukcionu i tehnološku sličnost, rotacionog su oblika, a pogodni su za vanjsko i unutarnje tokarenje na istom stroju, npr. karusel tokarilici. Analiza velikog broja različitih provrta slika 1. upućuje na zaključak da je izrada moguća na strojevima sa dvije tehnologije: konvencionalna i tehnologija dubokog bušenja.

Čitava familija izradaka je identična po kvaliteti obrade, a zahtjeva relativno visoku točnost dimenzija i kvalitetu površina bušenja. Promjeri nekih provrta su tolerirani od 0 do + 0,05 mm, a kvaliteta obrade se kreće od N7 do N10. Visinski razmak provrta toleriran je sa \pm 0,2 mm. Dubine bušenja, ovisna je o tipu motora, a kreće se do 705 mm. Razmak provrta toleriran je sa \pm 0,2 mm.

S obzirom na velike mase od 1540 do 6075 kg i dimenzije poklopaca navedene familije motora, zahtjevi za točnošću obrade su dosta strogi. S toga se u projektu predviđaju precizni strojevi i naprave, kao i precizni okretni stol za indikaciju položaja izratka. Za očitavanje kordinata predviđen je digitalni čitač pozicija koji bi se ugradio na okretno nagibni i okretno translatorni stol za očitavanje preciznih kordinata za sve tri osi gibanja, a ugradio bi se i na odabrane alatne strojeve. Ti elektronički uređaji obično imaju automatsku detekciju referentne točke, preklopnike za unošenje pozicija u brojač, mogućnost za mjerenje dužine ili dijametra bušenja s mogućnosti priključenja na različite mjerne sisteme. Korak očitavanja obično je 0,005 mm. Mjerne osnove projekat predviđa kao graduirane skale i digitalnu tehniku, a kružna očitavanja u stupnjevima i minutama.

Što se tiče serije izradaka poklopaca ona se kreće od 50 do 100 komada godišnje, za jednu proizvodnu organizaciju, što se s obzirom na dimenzije tih izradaka može smatrati serijskom proizvodnjom.

Na osnovi ovakvih konstatacija može se zaključiti da serija, dimenzije i zahtijevana točnost na ovim izracima diktira izbor više agregatnih strojeva ili kombinaciju specijalnih, univerzalnih i agregatnih strojeva.

3. Tehničko-tehnološki uvjeti izbora alatnih strojeva

Ukupni broj varijanti koje idejni projekat predviđa je osam ali se u ovom skraćenom članku prezentiraju samo dvije. Pri tome se naglašava da je izbor strojeva i stupnja automatizacije različit za pojedine varijante, a na investitoru je da se odluči.

S obzirom na veliku masu izradaka usvaja se princip da nije preporučljivo mijenjati položaj izratka od operacije do operacije, odnosno ponavljanje centriranje i stezanje, odnosno transportiranje izradaka, osim kada je to neizbježno. Na osnovi vrlo složene konfiguracije tehnoloških operacija u prostoru za navedenu familiju motora usvaja se prioritarna mogućnost položaja strojeva u prostoru:

- horizontalni položaj specijalnih ili agregatnih strojeva za duboka bušenja različite visine postolja ili vretena i horizontalna bušilica;
- kosi položaj specijalnih ili agregatnih strojeva za duboka bušenja sa promjenljivim kutem bušenja prema zahtjevu familije;
- vertikalni i horizontalni položaj univerzalnog stroja za klasična bušenja i istekarivanja;
- horizontalni okretni stol s mogućnošću taktovanja rotacije i translacije sa točnošću očitovanja u min;
- nagibno diobena naprava s točnošću očitavanja rotacije i nagiba u minutama;
- više radnih naprava za bušenje.

Rotaciono taktovanje gibanja izradaka je neophodno za sve operacije bušenja, proširivanja i izradu navoja. Pri tome je broj provrta i raspored po opsegu vrlo različit i iznosi za familiju izradaka, odnosno motora: 2 - 3 - 8 - 10 - 12 - 16 - 18 - 20 - 24 - 36.

Rotacioni stol mora biti tako konstruiran da udovolji automatskom ili ručnom taktovanju s preciznošću indeksirana kuta $\pm 5'$.

Uređaj okretnog stola za precizno indeksiranje i taktovanje treba da ima ove funkcije:

- zakretanje za traženi kut;
- točno zaustavljanje i utvrđivanje položaja, i
- stezanje-blokiranje i indeksiranom položaju.

S obzirom na veličinu serije (50-100 kom/god) preporuča se tzv. srednji stupanj automatizacije strojeva sa individualnim pogonom, kao što su specijalni agregatni strojevi za dubinska bušenja. Ovaj poluautomatski stupanj upravljanja strojevima podrazumjeva slijedeće uređaje i gibanja, a s obzirom na konfiguraciju obrade:

- brzi hod klizne jedinice naprijed i nazad;
- radni hod klizne jedinice - posmik pomoću bestepenastog prenosnika;

- uređaj za automatsku kontrolu zatupljenosti alata;
- sistem graničnika sa automatskim isključivanjem hodova;
- poluautomatsko indeksiranje stola za traženi kut rotacije ili traženu translaciju;
- automatsko blokiranje stola ili naprave u određenom položaju pomoću hidraulike i automatsko deblokiranje stola kod pokretanja u novi položaj;
- svi strojevi su međusobno nezavisni u tehnologiji obrade i upravljanju;
- transport izradaka izvodi se pojedinačno.

4. Izbor optimalne varijante

Ukupni broj predloženih tehničko-tehnoloških varijanti sistema za obradu poklopaca cilindara motora navedenih u istraživačkom projektu je osam. Da bi se došlo do optimalne varijante obavezno je bilo izvršiti detaljnu analizu većeg broja relevantnih faktora, kao što su:

- broj komada poklopaca cilindara godišnje;
- troškovi tehnološke obrade po jednom poklopcu cilindra;
- sumarni troškovi tehnološke obrade poklopaca godišnje;
- troškovnik investicionih ulaganja u alatne strojeve, radne naprave, standardne i specijalne rezne i mjerne alate;
- učinak operacija bušenja za svaku varijantu u kom/sat;
- transport izradaka, uskladištenje;
- stupanj automatizacije i tehničke opremljenosti;
- troškovi amortizacije (rok 5 god.) itd.

Navedeni parametri su detaljno proračunati, prezentirani tabelarno ali su ispušteni u ovom tekstu radi limitirana prostora.

Iako je na investitoru da se odluči i usvoji za njega najpovoljniju varijantu, ipak se mogu preporučiti varijante 3., 4. i 6.

U nastavku se daju samo osnovne karakteristike tehničko-tehnoloških parametara za varijantu br. 3, sl. 2.i za varijantu br. 6, sl. 3.

Varijanta br. 3 - slika br. 2

STROJEVI:

I) Grupa operacija:

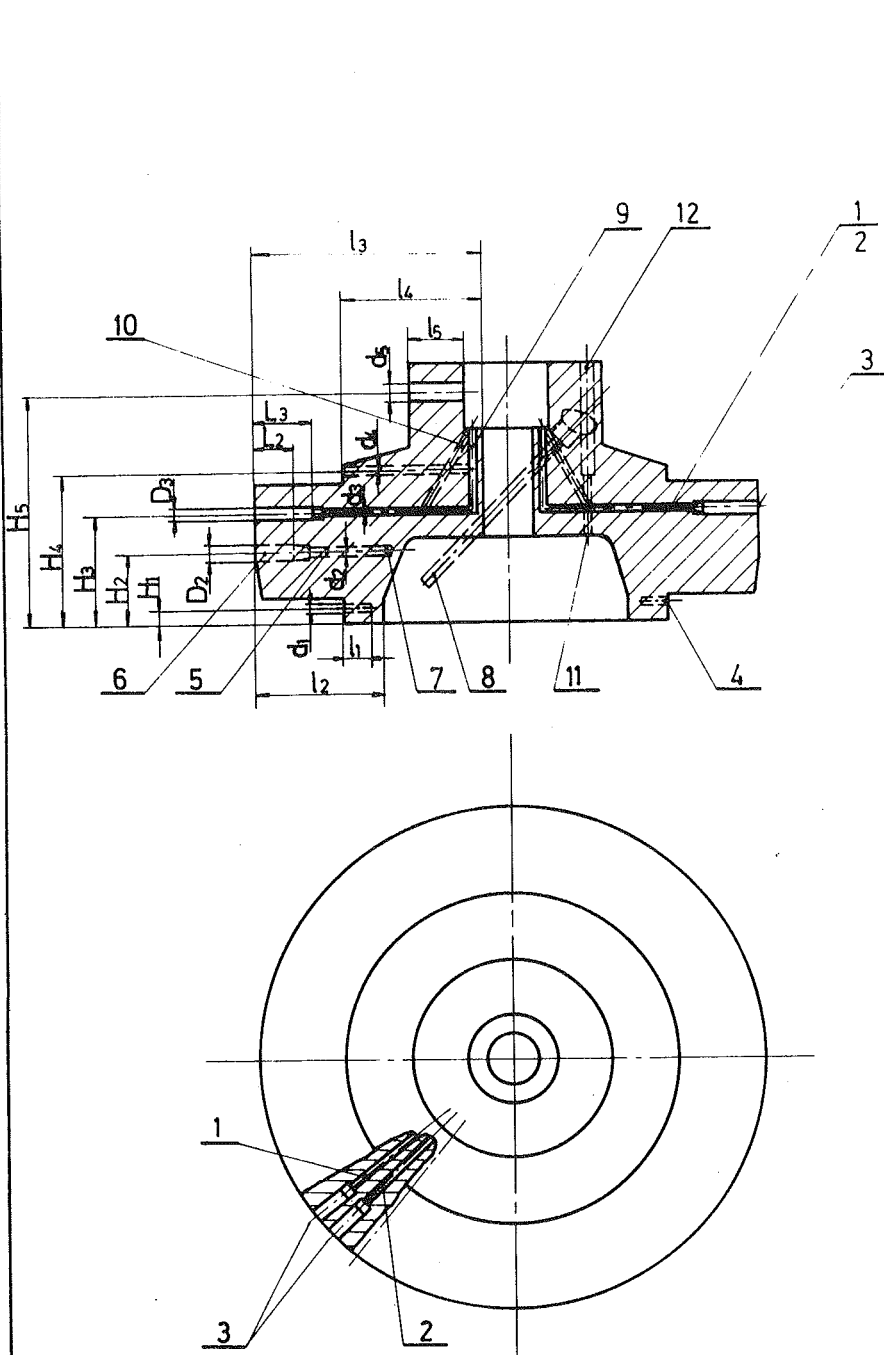
- specijalna jedinica za dubinska bušenja
(sl. 1,oznake provrta: 1,2,5,8)

II) Grupa operacija:

- radijalna bušilica (sl. 1,- oznake provrta:
3,4,6,7,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,
20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31,32)

ALATI:

- topovska svrdla
- spiralna standardna i produžena svrdla

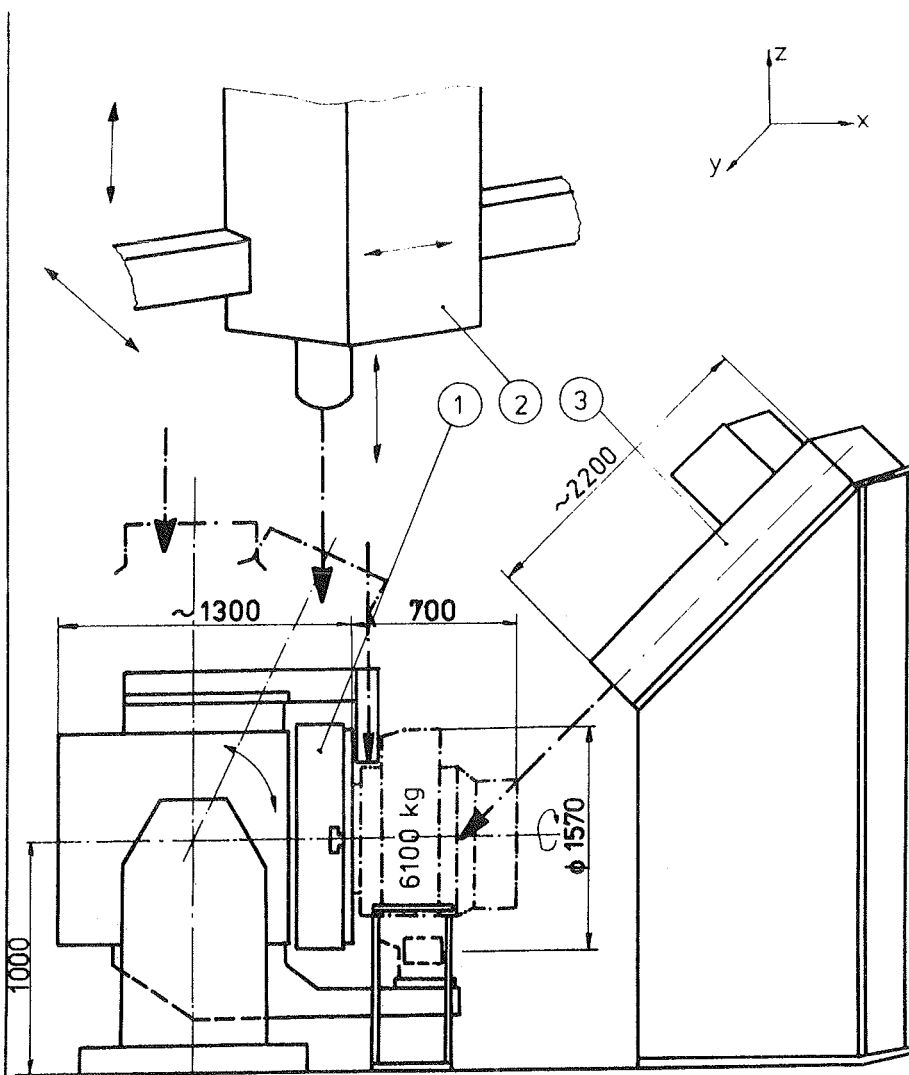


SLIKA 1.-NOMENKLATURA PROVRTA NA POKLOPCU CILINDRA

- razni ureznici i dr.
- NAPRAVE:**
 - nagibno - diobena naprava
 - više naprava za bušenje
- GIBANJA:**
 - X, Y, Z - radijalna bušilica,
 - rotacija izradka oko svoje osi (360°) i naginjanja u intervalu 0° - 90° pomoću nagibno-diobene naprave
 - Y i X, Z - specijalna jedinica za dubinska bušenja
- VRIJEME**
- BUŠENJA:**
 - $T_3 = 25,1$ sati/kom (provrti 1... 13, sl. 1)
- PREDNOSTI:**
 - visoki kapacitet bušenja
 - kombinacija bušenja sa topovskim i konvencionalnim svrdlima
- NEDOSTACI:**
 - investicije za specijalnu jedinicu i za nagibno-diobenu napravu
 - posebne investicije za dva postolja i distantne uloške za specijalne jedinice

Varijanta br. 6 - slika br. 3

- STROJEVI:**
 - I) Grupa operacija:
 - horizontalna bušilica (sl. 1, oznaka provrta: 3, 4, 5, 6, 7, 10, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19)
 - specijalna jedinica za duboka bušenja (sl. 1.- provrti 1, 2, 8)
 - II) Grupa operacija:
 - radijalna bušilica (sl. 1 - provrti: 9, 11, 12, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32)
- ALATI:**
 - topovska svrdla
 - ejektor uređaj sa specijalnim svrdlima za dubinska bušenja
 - specijalna glava za navoj
 - specijalna glava za horizontalnu bušilicu za kose provrte (sl. 1 - provrt 10)
 - standardni i produženi rezni alat i dr.
- NAPRAVA:**
 - okretno-translatarni stol
 - više naprava za bušenje
- GIBANJA:**
 - rotacija izratka - okretno-translatorni stol
 - X, Y - okretno translatorni stol



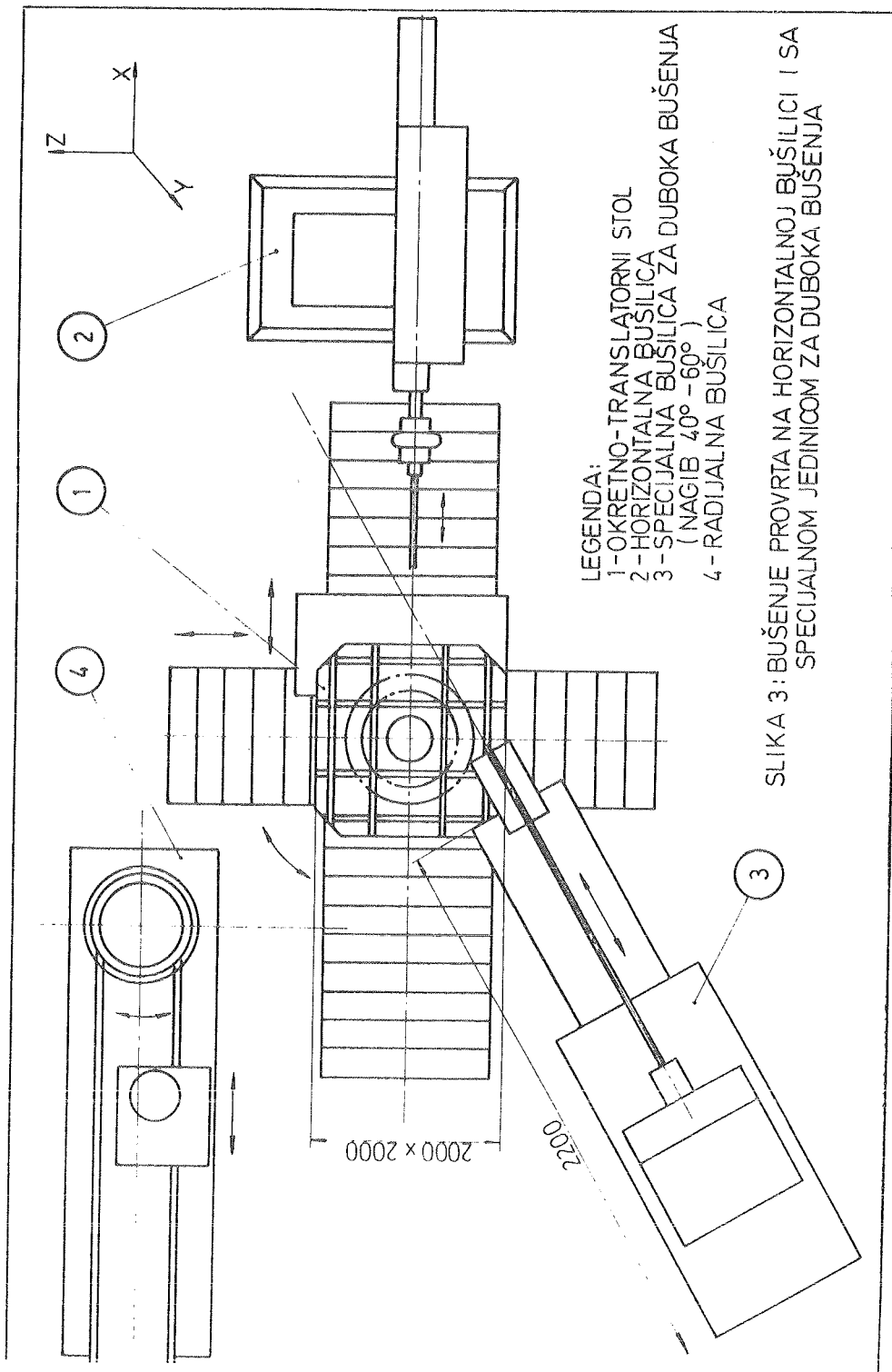
LEGENDA :

1-NAGIBNO-DIOBENA GLAVA

2-RADIJALNA BUŠILICA

3-SPECIJALNA JEDINICA ZA DUBOKA BUŠENJA

SLIKA 2: BUŠENJE PROVRTA SA BUŠNOM JEDINCOM I SA
RADIJALNOM BUŠILICOM



- LEGENDA:
1-OKRETNO-TRANSLATORNI STOL
2-HORIZONTALNA BUŠILICA
3-SPECIJALNA BUŠILICA ZA DUBOKA BUŠENJA
(NAGIB 40° - 60°)
4-RADIJALNA BUŠILICA

SLIKA 3: BUŠENJE PROVRTA NA HORIZONTALNOJ BUŠILICI I SA SPECIJALNOM JEDINICOM ZA DUBOKA BUŠENJA

- X Z - horizontalna bušilica
- α, β - spec. jedinica za duboka bušenja

VRIJEME

BUŠENJA:

- $T_6 = 28$ sati/kom (provrti 1... 13, sl.1)
- adaptacija specijalne jedinice za upotrebu glave za navoj (sl. 1 provrt 8)
- sinus uređaj za promjenu kuta ($40-60^\circ$) i kordinate Z za 300 mm

FREDNOSTI:

- investicije samo za specijalne jedinice
- najpovoljniji položaj izratka pri obradi

PARAMETRI EKONOMIČNOSTI ZA OSAM VARIJANTI

Tabela I

Varijanta br.:	Učinak kom/h tbl.XIII kol.4	n din $\times 10^3$	Q kom	K din $\times 10^3$	N_T din $\times 10^3$	n_T din $\times 10^3$
1	0,027	33	70	632	2942	42
2	0,031	41,9	70	1480	4413	62,9
3	0,035	35,7	70	1180	3679	52,5
4	0,031	35,09	70	1000	3456	49,48
5	0,05	35,96	70	1600	4117	58,8
6	0,036	42,2	70	1680	4634	66,2
7	0,031	42,22	70	1500	4455	63,6
8	0,031	35,94	70	1600	4116	55,9

K - troškovi godišnje amortizacije

n_T - tehnološki troškovi bušenja jednog poklopca

n - troškovi tehnološke obrade za jedan poklopac cilindra

Q - broj kom. poklopaca cilindra god.

N_T - sumarni troškovi tehnološke obrade poklopaca cilindara god.

5. Zaključak

Navedeni članak, kao izvod iz obimnijeg istraživačkog rada, ukazuje na realnu mogućnost da je u domaćim uslovima sasvim moguće realizirati kom-

pletnu proizvodnju poklopaca cilindara. To bi značilo oslobođenje od skupog deviznog uvoza, veće zapošljavanje domaćih kapaciteta, samostalnije nastupanje na trećim tržištima itd. Izbor najpovoljnije varijante prepusten je investitoru.

6. Literatura

- [1] Zdenković R., Atlas alatnih strojeva, Sveučilišna naklada Liber, Zagreb, 1979.
- [2] Muren H., Odrezavanje, Tehnička založba Slovenije, Ljubljana, 1976.
- [3] Schreger K., Vorrichtungen, Springer Verlag Berlin, New York, 1969.
- [4] Anserov M.A., Prisporoblenija dlja metallorežućih stankov, Mašgiz, Moskva, 1980.
- [5] Prospektni materijal raznih svjetskih firmi.

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

UTICAJ OBRADJE REZANJEM NA KRIVLJENJE ODLIVAKA
CUTTING INFLUENCE ON BENDING OF CASTINGS

R. Kovač
S. Jojin

Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu,
21000 Novi Sad, Jugoslavija

Ključne reči:
odlivak
napon
rezanje
krivljenje

SAŽETAK: U radu je prikazan mehanizam i određena veličina krivljenja odlivka oblika grede, pri skidanju s jedne strane strugotine ravnomerne debljine. Da bi se imala predstava o faktorima koji utiču na krivljenje odlivka izvedena je formula koja pokazuje uticaj nekih parametara odlivka i rezanja na veličinu krivljenja. Pri izvodjenju ove formule pošlo se od pretpostavke da se naponi u odlivku mogu opisati parabolom drugog stepena.

Key words:
casting
stress
cutting
bending

ABSTRACT: In this paper, the bending of a casting which has square beam shape, during one side cutting is presented. The relation between few parameters which influence the bending are determined. The assumptions which are made, treat inherent stress in casting like parabolic function second order of coordinate.

1.0 U V O D

Proces krivljenja odlivaka može proticati u livačkom kalupu, u procesu mehaničke obrade i u toku eksploatacije kao posledica relaksacije zaostalih napona. Uzrok pojave krivljenja odlivaka u livačkom kalupu je neravnomernost temperaturnih deformacija, a takodje i deformacija uslovljenih faznim i mehaničkim naprezanjima.

U procesu mehaničke obrade livenog dela udaljuje se površinski sloj materijala u kome su bili zaostali naponi, što narušava njihovu ravnotežu i izaziva krivljenje odlivaka do nastupanja novog ravnotežnog stanja. Krivljenje odlivaka može nastati i usled relaksacije zaostalih napona prvog reda, tj. napona uravnoteženih u makroblasti, a koji mogu obuhvatiti ceo odlivak (deo mašine) ili njegov elemenat.

Zaostali naponi se javljaju kako u odlivcima složene tako i u odlivcima jednostavne konfiguracije, te remećenjem naponske ravnoteže dolazi do krivljenja dela, što ako predje određene granice deo čini neupotrebljivim.

Posledice navedenih pojava su: povećanje škarta odlivaka, uvećanje dodatka za mehaničku obradu i uvećan gubitak materijala kroz strugotinu, umanjen radni vek dela, tačnost pri radu (npr. mašine alatke ili pribora), sigurnost pri radu, povećani troškovi remonta i održavanja.

U radu je na odlivku oblika grede razmotren mehanizam nastojanja napona u procesu dobijanja odlivaka, uticaj debljine skinutog sloja pri rezanju na naponsko stanje dela i njegovo krivljenje usled mehaničke obrade.

Postolja nekih alatnih mašina ili njihove vodjice kao i delovi nekih drugih mašina i pribora mogu se uprošćeno posmatrati kao greda, te se pri razmatranju krivljenja ovih delova može koristiti prilaz kako je izložen u radu.

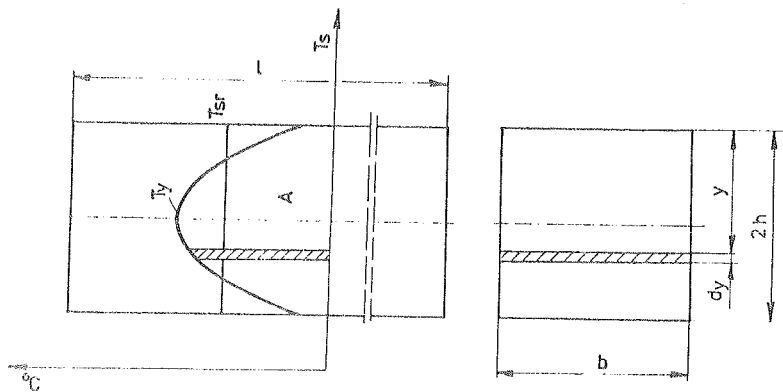
2.0 ZAOSTALI NAPONI U ODLIVCIMA OBLIKA GREDE

U zavisnosti od dužine dejstva naponi u odlivcima mogu biti vremenski i zaostali. Vremenski naponi iščezavaju po otklanjanju uzroka koji ih izazivaju (npr. ometano skupljanje odlivka u kalupu i dr.) dok zaostali naponi ostaju u odlivcima i nakon otklanjanja tih uzroka. Zaostali naponi su uvek unutrašnji, jer ostaju u odlivku i nakon otklanjanja uzroka njihovog nastajanja.

Kao što je poznato, praktično, u svakom odlivku se pri hladjenju u kalupu, a zatim na vazduhu javljaju zaostali naponi, čija veličina zavisi od brzine hladjenja njegovih pojedinih elemenata, konfiguracije odlivka, otpora jezgara i kalupa skupljanju, svojstava materijala odlivka i dr. Ovi naponi se nazivaju naponi prvog reda.

Mehanizam obrazovanja zaostalih napona u odlivcima usled neravnomernog hladjenja njegovih elemenata opisan je u osnovi teorijom E. Gejna [3,4]. Zaostali naponi obrazuju se pri hladjenju, a u trenutku prelaza materijala odlivka iz oblasti plastičnih u oblast elastičnih deformacija. Delovi odlivka koji se brže hlade, na sobnoj temperaturi, imaju napone na pritisak a delovi koji se sporije hlade napone na istezanje. Odrediti karakter i veličine napona u elementima odlivka složene konfiguracije praktično je nemoguće, sem eksperimentalnim metodama.

Zaostali naponi ne obrazuju se samo na odlivcima složene konfiguracije i odlivcima sa različitim debljinama zidova, već i u odlivcima oblika ploče ili grede, tj. i u odlivcima ravnomerne debljine, sl. 1 [1].



Sl. 1

Na slici je prikazan odlivak oblika grede, poprečnog preseka oblika paraleloipeda. Širina poprečnog preseka odlivka je b , debljina $2h$ i dužina l . Ako se, radi jednostavnijeg razmatranja, prepostavi da se u toku procesa hladjenja toplota odvodi samo kroz bočne površine $b \times l$, a da su druge površine izolovane, tada se

nakon prelaska materijala odlivka iz oblasti plastičnih u oblast elastičnih deformacija temperatura T po preseku odlivka može prikazati krivom $T_y = f(y)$, gde je $T_y = f(y)$ poznata funkcija

Ako se unutar preseka odlivka $bx2h$ izdvoji beskonačno mali elemenat širine b i debljine dy, taj elemenat će se u slučaju slobodnog skupljanja pri potpunom hladjenju skratiti za veličinu $\epsilon_y|l|$.

$$\epsilon_y = \alpha(T_y - T_s) \cdot l \quad (1)$$

gde je T_y - temperatura posmatranog elementa u trenutku, kada je ceo materijal odlivka prešao iz oblasti plastičnih u oblast elastičnih deformacija, tj. $T_y < T_{kr}$. Kritična temperatura T_{kr} je ona temperatura pri kojoj materijal odlivka prelazi iz plastičnog u elastično stanje. Naprimera za sivi liv $T_{kr} = 570 \text{ }^\circ\text{C}$ [3]. α - je koeficijent termičkog širenja materijala, a T_s - temperatura okolne sredine ($T_s = 20^\circ\text{C}$).

Usled čvrste veze medju posmatranim slojem i celim odlivkom, stvarno skupljanje sloja obavlja se na neku srednju veličinu ϵ_{sr} .

Razlika medju veličinom slobodnog i srednjeg skupljanja dovodi do pojave napona u posmatranom elementu te je

$$\sigma_y = \frac{E\alpha(T_y - T_s) \cdot l}{l} - \frac{E \cdot \epsilon_{sr}}{l} \quad (2)$$

gde je E - modul elastičnosti. Sila koje deluju u sloju b dy je

$$F_y = \sigma_y \cdot b \cdot dy = bE \frac{\alpha(T_y - T_s) \cdot l - \epsilon_{sr}}{l} \cdot dy \quad (3)$$

Sile koje dejstvuju u raznim slojevima su uravnotežene, što odgovara uslovu $\Sigma F_y = 0$. Tada na osnovu prethodnog izraza se može napisati

$$bE \int_0^{2h} \frac{|\alpha(T_y - T_s) \cdot l - \epsilon_{sr}| \cdot dy}{l} = 0 \quad (4)$$

Kako je $bE/l = 0$, to je ostali deo prethodnog izraza ravan nuli, tj.

$$\alpha \int_0^{2h} (T_y - T_s) dy - \frac{\epsilon_{sr}}{l} \int_0^{2h} dy = 0 \quad (5)$$

Temperatura T_y u prvom članu izraza (5) karakteriše temperaturno polje odlivka i smatra se da je poznato ($T_y = f(y)$). Integral prvog člana izraza (5) predstavlja površinu A, medju linijom koja odredjuje T_s i krivom $T_y = f(y)$, a koja karakteriše temperaturno polje odlivka. Tada se prethodni izraz (5) može napisati u obliku

odakle je

$$\alpha A = \frac{\epsilon_{sr}}{l} \cdot 2h$$

$$\epsilon_{sr} = \frac{\alpha \cdot A \cdot l}{2h} \quad (6)$$

Prema slici br. 1 može se uzeti $A/2h = T_{sr} - T_s$, te izraz za ϵ_{sr} na osnovu izraza (6) glasi

$$\epsilon_{sr} = \alpha (T_{sr} - T_s) \quad (7)$$

Unošenjem izraza (7) u (2) dobije se izraz koji definiše napon σ_y .

$$\sigma_y = \alpha \cdot E (T_y - T_{sr}) \quad (8)$$

U trenutku prelaza materijala odlivka iz oblasti plastičnih u oblast elastičnih deformacija površinski slojevi odlivka imaju temperaturu nižu od srednje ($T_y < T_{sr}$), te su ovi slojevi napregnuti na pritisak. Istovremeno centralni delovi odlivka imaju temperaturu T_y višu od T_{sr} ($T_y > T_{sr}$) te su centralni delovi odlivka napregnuti na istezanje, što sledi iz izraza (8), a prikazano je grafički slikom br. 2.

Napred izloženo prikazuje da se zaostali naponi formiraju i u odlivcima proste, a ne samo složene konfiguracije. Zaostali naponi tim su viši što je viša temperaturna razlika između centralnih i površinskih slojeva odlivka, u trenutku prelaza materijala odlivka iz oblasti plastičnih u oblast elastičnih deformacija.

3.0 UTICAJ PARAMETARA ODLIVKA I REZANJA NA KRIVLJENJE

Praksa pokazuje da pri obradi rezanjem odlivaka sa zaostalim naponima dolazi do njihovog krivljenja. Da bi se razmotrio mehanizam i odredila veličina krivljenja posmatrač se odlivak oblika grede, kod koga se sloj materijala skida sa jedne strane. Na slici br. 1 prikazano je temperaturno polje odlivka tj. raspored temperatura duž odlivka. Temperaturno polje odlivka opisuje se parabolom. Kako je raspored napona identičan rasporedu temperature ($\sigma = E \epsilon = E \alpha T_y$) to se i raspored napona duž odlivka može predstaviti parabolom. Ako se uzme da je maksimalni napon na pritisak u površinskim slojevima odlivka jednak $-2\sigma_0$, tada je maksimalni napon na istezanje u centralnoj osi odlivka σ_0 . U sistemu koordinata kako je to prikazano na slici br. 2 jednačina, kojom se opisuje raspored napona ima oblik $|4|$.

$$\sigma = -\frac{3\sigma_0}{h^2} y^2 + \sigma_0 \quad (9)$$

Identičan raspored imaju i elastične deformacije jer je $\sigma = \epsilon E$.

Skidanjem sloja materijala sa jedne strane odlivka za debljinu δ narušava se ravnoteža ali se opet mora uspostaviti novo ravnotežno stanje. Neutralna linija novog naponskog stanja GH imaće položaj paralelan liniji AF, koja povezuje krajnje tačke

naponskog stanja, u toku rezanja (vidi sl. 2). Linijski napon σ_δ koji se "uklanja" skidanjem sloja δ određen je izrazom

$$\sigma_\delta = \int_{h-\delta}^h \sigma \, dy \quad (10)$$

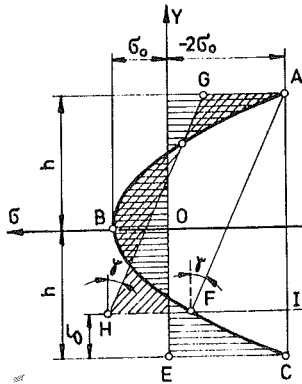
integraljenjem izraza (10) dobije se izraz

$$\sigma_\delta = \sigma_0 \delta \left| -\left(\frac{\delta}{h}\right)^2 + \frac{3\delta}{h} - 2 \right| \quad (11)$$

Ako se u izrazu (9) uzme $\sigma = 0$, tada se dobije položaj nultog napona na preseku odlivka koji je određen jednačinom:

$$y(\sigma=0) = \sqrt{\frac{1}{3}} \cdot h \quad (12)$$

Kao što se iz izraza vidi položaj nultog napona zavisi samo od dimenzije odlivka h , a ne i od zaostalog napona.



Sl. 2

Nakon prvog skidanja materijala odlivka za debljinu sloja veličine δ , osa simetrije odlivka pomera se za vrednost $\delta/2$ u odnosu na uzdužnu osu odlivka, suprotno strani sa koje se materijal skida. Pošto je krivljenje odlivka usled skidanja materijala vrlo malo može se smatrati da raspodela napona po preseku odlivka ima isti karakter a određena je veličinom:

$$\sigma_1 = -\frac{3\sigma_{01}}{h_1} \cdot y^2 + \sigma_{01} \quad (13)$$

Kao što se vidi glavna razlika između jednačine (9) i (13) je u veličini napona σ_{01} u centralnoj osi odlivka nakon prvog skinutog sloja i veličini h , gde je $h_1 = h - \delta/2$.

U daljem prikazu mehanizma krivljenja odlivka uspostaviće se veza između napona σ_{01} iz izraza (13). Ukupan integral napona na pritisak (vidi sliku 2), pre skidanja sloja δ je

$$I_0 = 2 \int_{y_0}^h \sigma \, dy = -\sigma_0 \cdot h \frac{4}{3} \sqrt{\frac{1}{3}} \quad (14)$$

Nakon skidanja sloja debljine δ vrednost predhodnog integrala se umanjuje za veličinu odredjnu izrazom (11), te se dobije vrednost integrala:

$$I_1 = -\sigma_0 \delta \left| \frac{hC_1}{\delta} - \left(\frac{\delta}{h}\right)^2 + 3 \frac{\delta}{h} - 2 \right| \quad (15)$$

Po skidanju sloja debljine δ uspostavlja se novi ravnotežni raspored napona, za koje će se pretpostaviti da ponovo imaju paraboličan oblik dat izrazom (13).

Integral napona na istezanje, u centralnoj osi odlivka tada je

$$I_2 = 2 \int_0^{y_0'} \sigma_1 \cdot dy = \frac{4}{3} \sigma_{01} \cdot y_0' \quad (16)$$

gde je:

$$y_0' = \sqrt{\frac{1}{3}} \left(h - \frac{\delta}{2} \right)$$

Za male vrednosti δ u odnosu na debljinu odlivka $2h$ može se uzeti da je izraz (15) proporcionalan izrazu (16). Izjednačavanjem izraza (15) i (16) dobija se izraz:

$$\sigma_{01} = -k \cdot \sigma_0 \cdot \delta \frac{2 \left| C \frac{h}{\delta} - \left(\frac{\delta}{h}\right)^2 + 3 \frac{\delta}{h} - 2 \right|}{C (2h - \delta)} \quad (17)$$

gde je k - koeficijent proporcionalnosti, a $C = \frac{4}{3} \cdot \sqrt{\frac{1}{3}}$

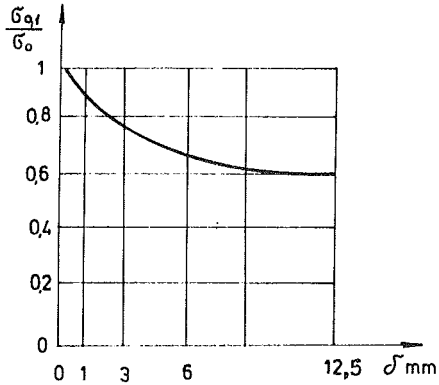
Posle svakog narednog skidanja sloja debljine δ_i ($i=1,2,3,\dots,n$) u odlivku oblika grede debljine $2h$, maksimalni napon $\sigma_0 = \sigma(y=0) = \sigma(0)$ dobija novu vrednost σ_{0i} , te je

$$\sigma_{0i} = -k \cdot \sigma_{0i-1} \frac{2 \left| C \cdot \frac{1}{B} - B^2 + 3B - 2 \right|}{C \cdot \left(2\frac{1}{B} - 1 \right)} \quad (18)$$

gde je: $B = \frac{\delta_i}{h_i}$

$$h_i = h_{i-1} - \frac{\delta_{i-1}}{2}$$

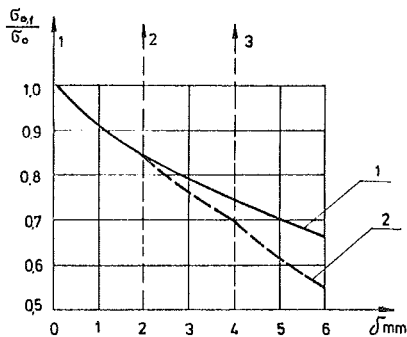
Korišćenjem izraza (17) ili (18) uz pretpostavku da je $k=1$, moguće je prikazati odnos napona posle rezanja σ_{01} i pre rezanja σ_0 u zavisnosti od dubine skinutog sloja δ . Za veličinu $h=25$ mm na slici 3 prikazana je medjuzavisnost ovih parametara. Porastom debljine skinutog sloja nelinearno opada vrednost zaostalog napona posle rezanja.



Sl. 3

Na osnovu predhodno izloženog može se prikazati uticaj broja prolaza pri rezanju na naponsko stanje odlivka. Naprimera, početni napon $\sigma_0=30$ MPa, neka treba da se skine sloj debljine 6 mm na odlivku debljine $2h=50$ mm to se može učiniti na dva načina: prvo da se skidanje obavi jednim prolazom, i skidanje iz više prolaza. Ako se sloj debljine 6 mm skida jednim prolazom tada će zaostali napon biti $\sigma_{01}=19,87$ MPa. Ukoliko taj isti sloj se skine iz tri prolaza po 2 mm dubine, tada će zaostali napon nakon prvog prolaza biti $\sigma_{01}=25,51$ MPa, posle drugog prolaza $\sigma_{02}=21,69$ MPa i posle trećeg prolaza $\sigma_{03}=18,45$ MPa. Poredjenjem dobijenih rezultata uočava se razlika u veličini konačnih vrednosti zaostalih napona nakon skidanja sloja debljine 6 mm, jednim prolazom i u 3 prolaza. Razlika tih napona iznosi $\Delta\sigma_0=1,41$ MPa.

Na slici br. 4 kriva 1 prikazuje odnos napona σ_{01}/σ_0 u slučaju jednog prolaza, a linija 2 predstavlja odnos istih napona u slučaju tri prolaza pri skidanju debljine sloja δ od po 2 mm.



SL. 4

Da bi se odredio maksimalni ugib odlivka oblika grede potrebno je odrediti odgovarajuću silu koja se uklanja sa skinutim slojem metala:

$$F = \sigma_{\delta} \cdot b \quad (19)$$

Predpostavili se da je efekat promene napona adekvatan slučaju čistog savijanja momentima M na kraju grede, tada je moment odredjen izrazom:

$$M = F \cdot \left(h - \frac{\delta}{2} \right) = \sigma_{\delta} \cdot b \cdot \left(h - \frac{\delta}{2} \right) \quad (20)$$

Maksimalni ugib usled idealizovanog čistog savijanja je prema |7|:

$$f_{\max} = \frac{l^2 M}{8EI} \quad (21)$$

Unošenjem izraza (11) i (20) u (21) dobija se izraz za maksimalni ugib oblika grede pri skidanju odredjenog sloja putem rezanja:

$$f_{\max} = \frac{l^2 \cdot b}{8EI} \cdot \sigma_0 \cdot \delta \cdot h \cdot \left| \left(\frac{\delta}{h} \right)^2 - 3 \frac{\delta}{h} + 2 \right| \cdot \left(\frac{\delta}{2h} - 1 \right) \quad (22)$$

gde je I - moment inercije preseka grede.

Iz jednačine (22), sledi da je ugib odlivka oblika grede, proporcionalan debljini skinutog sloja metala, širini i dužini odlivka, a obrnuto proporcionalan momentu inercije i modulu elastičnosti. Iz iste jednačine se vidi da je ugib direktno proporcionalan zaostalom naponu σ_0 . Porastom veličine zaostalih napona u odlivku povećava se krivljenje odlivka. U slučaju da nema zaostalih napona ($\sigma_0 = 0$) neće doći do krivljenja odlivka pri rezanju. Takodje se vidi da sa porastom debljine skinutog sloja δ raste krivljenje.

Naprimera, pri zaostalom naponu $\sigma_0 = 30$ MPa, modulu elastičnosti materijala $E = 1010$ MPa (sivi liv), i dimenzijama odlivka oblika grede $50 \times 50 \times 1000$ mm, prema formuli (22), maksimalni ugib iznosi

$$f_{\max} = 0.636 \text{ mm,}$$

pri skinutom sloju materijala odlivka od 6 mm u jednom prolazu.

4.0 ZAKLJUČCI

Na osnovu napred izloženog mogu se izvesti sledeći zaključci:

1. U odlivcima složene kao i jednostavne konfiguracije uvek su prisutni zaostali naponi.
2. Krivljenje odlivka je tim više što je viši zaostali napon u odlivku, nakon livenja.
3. Krivljenje odlivka posle obrade rezanjem je više što su viši zaostali naponi u skinutom sloju materijala.

4. Krivljenje odlivka je više što je veći procenat mase skinute rezanjem (sa jedne strane) u odnosu na masu celog odlivka.
5. Krivljenje odlivka je manje što su slojevi materijala koji se skida bliži težištu preseka površine odlivka.
6. Krivljenje se obavlja konkavno u odnosu na stranu sa koje se materijal skida.
7. Obradom u više prolaza ostvaruje se veće uklanjanje zaostalih napona, nego pri obradi u jednom prolazu, pri istim ostalim uslovima.

5.0 L I T E R A T U R A

1. Kumanin I.B.: Voprosy teorii litejnyh processov "Mašinstroenie" Moskva, 1976.
2. Nehendzi Ju.A.: Staljnoe lite, Moskva, 1948.
3. Kocjubinskij O.Ju.: Stabilizacija razmerov čugunnych otlivok, "Mašinstroenie" Moskva, 1974.
4. Konstatinov L.S., Truhov A.P.: Naprjaženija deformacii i treščiny u otlivkah "Mašinstroenie" Moskva, 1981.
5. Dmitrov I.S., Veršinin B.B., Jaroš A.A.: Predupreždenie koroblenija golovok cilindrov traktornyh dvigatelej. Litejnoe proizvodstvo No 10, 1985.
6. Kleckin G.I., Abramov G.G. i dr: Čugunnoe lite v stankostroenii "Mašinstroenie" Moskva, 1975.
7. Mandić J.: Otpornost materijala, "Naučna knjiga", Beograd, 1968.

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

UTICAJ TOPLOTNIH DEFORMACIJA U PROCESIMA REZANJA NA TOLERANTNO POLJE
THE INFLUENCE OF THE HEAT DEFORMATIONS IN THE CUTTING PROCESSES IN THE
TOLERANT FIELD

M. Lambić
B. Sudić
M. Rančić

RO "ŠINVOZ", dr V. Savića 3, 23000 Zrenjanin, Jugoslavija
Tehnički fakultet "M. Pupin", 23000 Zrenjanin, Jugoslavija

Ključne reči:

Struganje
Greška
Toplotna
dilatacija

SAŽETAK: Kroz teoretsko i eksperimentalno istraživanje utvrđeno je dejstvo toplotnih deformacija u procesima reza - nja na tolerantno polje, odnosno na tačnost mera obradivanih predmeta. U svim procesima obrade rezanjem, kod kojih se vrši aktivna ili povremena kontrola mera dolazi do snižavanja netačnih dimenzija, što nakon obrade rezultuje značajnim škartom u proizvodnji. Teža posledica nastaje u gradnjom takvih delova u sklopove odgovarajućih mašina, što ima direktnog uticaja na troškove i vek trajanja takvih sklopova.

U radu su dati rezultati istraživanja na ovoj problematici, kao i preporuke za eliminaciju grešaka ovakve kontrole mera.

Key words:
Cutting
Error
Heat
dilatation

ABSTRACT: Through the theoretical and experimental research it has been proved that the influence of the heat deformations in the cutting processes in the tolerant field, that is, on the correct measures of the treated object. In all these processes of cutting treatment, where the active or periodical measure controls take place the incorrect dimensions have been found, that resulted after the treatment with the considerable wastes in the production even more serious consequences happen if these parts have been inbuilt in the corresponding machines that has direct influence on the expenses and life of such parts. The results of the research in this field have been presented, as well as, the advises for eliminating the mistakes of such measure control, in this paper.

1. U V O D

Prilikom obrade rezanjem deo toplote nastale deformacionim radom i trenjem opterećuje radni predmet i rezni alat, izazivajući kod njih dilatacije složenog karaktera. Sistemom aktivne kontrole ili povremene kontrole mera predmeta u toku obrade, snimaju se mere koje se u tom merenom trenutku nalaze u granicama dozvoljenih tolerancija. Međutim, zbog toplotnih dilatacija predmeta i raznog alata, skida se predmetu strugotina veće debljine, što nakon njegovog hladjenja može dovesti mere izvan tolerancijom dozvoljenih granica, te pojavu škarta.

Ova pojava je posebno izražena kod slučajeva pojedinačne i malo-serijske proizvodnje, gde gotovo 100 % obradjenih predmeta imaju zonu u kojoj su mere ispod donje granice dozvoljenih odstupanja. Ovo predstavlja alarmantan problem, posebno kada su u pitanju precizni i odgovorni sklopovi. Tim pre što u literaturi još uvek nije dovoljno egzaktno prikazana i obradjena analiza uticaja tačnosti ostvarenih sklopova na vek njihovog trajanja.

Period između dva remonta ili popravke odgovarajućih sklopova uređaja i mašina je veoma značajan sa aspekta ekonomičnosti i produktivnosti rada, a na njega osim drugih konstruktivnih i eksploatacionih faktora, sasvim sigurno ima značajno dejstvo i tačnost mera elemenata ugrađenih sklopova.

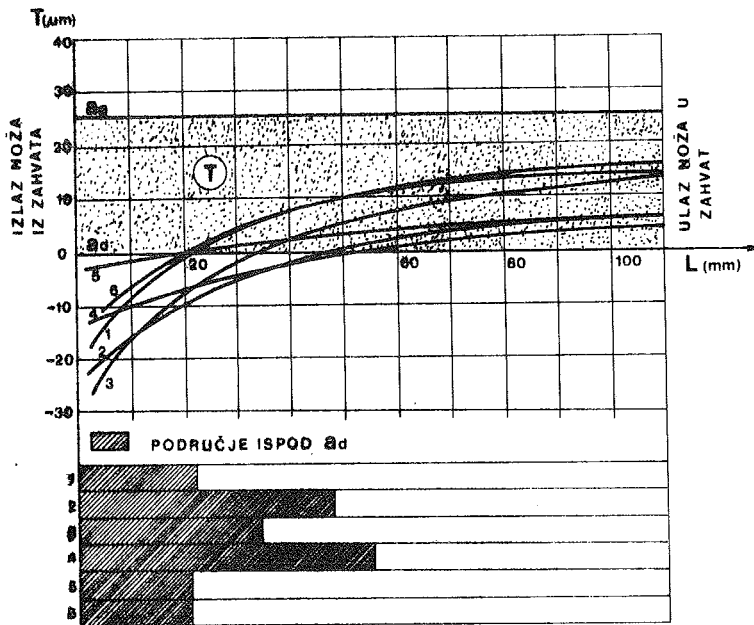
Istraživanja su pokazala [1], da se dejstvo toplotnih uticaja iz procesa rezanja na pojavu škarta posebno manifestuje kod predmeta manjih masa, i to više u zoni izlaska reznog alata iz zahvata. Pri tome kvalitet obrade, broj prolaza, način hladjenja, dužina slobodnog dela reznog alata i dužina predmeta imaju značajnog udela na stepen ostvarene tačnosti mera obradjenog predmeta.

2. REZULTATI PRIMARNOG EKSPERIMENTA

U cilju preciznijeg sagledavanja problematike uticaja toplotnih deformacija predmeta i alata u toku procesa rezanja na tačnost mera obradjenog predmeta, izvršeno je niz provera kod cilindričnih predmeta različitih dimenzija izradjenih od čelika Č.1220 na strugu tipa PAZZ "Potisje", Ada. Na slici 1. dat je dijagramski prikaz tačnih mera snimljenih nakon dovođenja temperature predmeta na temperaturu okoline. Istraživanja su pokazala da se kod svih predmeta odstupanje mera od dozvoljenih, kada su odmah nakon završetka obrade mere bile u granicama propisanih tolerancija.

Karakter krivih - izvodnica tačnih mera predmeta, govori u prilog

činjenici da dilatacije noža imaju značajan uticaj na povećanu dubinu rezanja, a time i na pojavu škarta. Kod svih ispitivanja utvrđeno je povišenje krive i izlazak iz tolerantnog polja u području bližem izlasku noža iz zahvata, kada je stepen zagrejanosti noža viši (u odnosu na temperaturu noža u zoni bližoj ulasku noža u zahvat).



Slika 1. Dijagram stvarnih mera cilindričnih predmeta nakon hladjenja do temperature okoline.

1. $\emptyset 40/\emptyset 38$ H7, $\delta_1=0,7$ mm; $i_1=1$; $\delta_2=0,3$ mm; $i_2=1$
2. $\emptyset 38/\emptyset 36$ H7, $\delta_1=0,7$ mm; $i_1=1$; $\delta_2=0,3$ mm; $i_2=1$
3. $\emptyset 36/\emptyset 32$ H7, $\delta_1=1,7$ mm; $i_1=1$; $\delta_2=0,3$ mm; $i_2=1$
4. $\emptyset 40/\emptyset 32$ H7, $\delta_1=1,8$ mm; $i_1=2$; $\delta_2=0,4$ mm; $i_2=1$
5. $\emptyset 40/\emptyset 36$ J7, $\delta_1=1,7$ mm; $i_1=1$; $\delta_2=0,3$ mm; $i_2=1$
6. $\emptyset 38/\emptyset 32$ J7, $\delta_1=1,3$ mm; $i_1=2$; $\delta_2=0,4$ mm; $i_2=1$

3. DILATACIJE REZNOG ALATA

Od ukupne toplote koja se stvara u procesu rezanja predmet i alat opterećuje toplota u količini od [2] :

$$Q_{PA} = (0,78 \div 4,9) \cdot F_s \cdot \tau \cdot v \cdot K_s [J] \dots\dots\dots (1),$$

pri čemu je:

- $F_s [mm^2]$ - presek strugotine,
- $\tau [h]$ - vreme rezanja,
- $v [m/min]$ - brzina rezanja i
- $K_s [N/mm^2]$ - specifičan otpor rezanja.

Koji deo ove toplote se deponuje u predmetu ili alatu zavisi od niza faktora od kojih su najuticajniji parametri režima obrade vrste materijala i veličine mase predmeta, odnosno reznog alata.

Prema [3] količina toplote koja se predaje predmetu odredjena je sledećim izrazom:

$$Q_P = \sum \lambda_P \int_0^t \int_{(A_P)} \frac{\partial \Theta}{\partial n_P} \cdot d\tau \cdot dA_P \dots\dots\dots (2),$$

a količina toplote koja opterećuje alat:

$$Q_A = \sum \lambda_A \int_0^t \int_{(A_A)} \frac{\partial \Theta}{\partial n_A} \cdot d\tau \cdot dA_A \dots\dots\dots (3),$$

Da bi se eksplicitnije odredila vrednost dilatacije reznog alata može poslužiti jednačina za odredjivanje maksimalne (teoretske) temperature u strugotini pri jednakosti odvedene i razvijene toplote ($\eta = 1$ koja prema Kronenbergu (Kronenberg) ima oblik [4] :

$$T_{smax} = 10 \cdot K_s \cdot (\gamma \cdot c)^{-1} \dots\dots\dots (4),$$

gde je:

- $C [J/N^{\circ}C]$ - specifična toplota
- $\gamma [N/cm^3]$ - specifična težina
- $K_s [\frac{KN}{cm^2}]$ - specifični otpor rezanja

Medjutim, temperatura u alatu je uvek viša od temperature u strugotini i može da dostigne i vrednost od 2 T_{smax}.

Temperaturno polje u alatu za stacionaran slučaj se može opisati diferencijalnom jednačinom:

$$\frac{d^2 \Theta}{dx^2} - m^2 \cdot \Theta = 0 \dots\dots\dots (5),$$

pri čemu je temperaturna razlika odredjena izrazom:

$$\Theta = t - t_0 \dots\dots\dots (6),$$

a faktor prenosa toplote izrazom

$$m = 2[\alpha_1 \cdot (\lambda \cdot d)^{-1}]^{1/2} \dots\dots\dots (7),$$

pri graničnim uslovima:

$$x=0 ; \theta = \theta_A ; x=l ; \theta = \theta_l$$

Rešenje diferencijalne jednačine (5) je:

$$\theta = A \cdot e^{mx} + B \cdot e^{-mx} \dots\dots\dots (8),$$

pri čemu integracione konstante imaju oblik:

$$A = \theta_A \left[1 - \frac{e^{m\ell} - \frac{\theta_l}{\theta_A}}{2sh(m\ell)} \right] = \theta_A (1 - \Omega) \dots\dots\dots (9),$$

$$B = \theta_A \cdot \Omega \dots\dots\dots (10),$$

$$\Omega = \frac{e^{m\ell} - \theta_l/\theta_A}{2sh(m\ell)} \dots\dots\dots (11),$$

tako da se temperaturno polje u alatu može predstaviti izrazom:

$$\theta = \theta_A [e^{mx} - 2\Omega sh(mx)] \dots\dots\dots (12)$$

Medjutim u praksi se, posebno za uslove pojedinačne proizvodnje ne dostiže stanje stacionarnosti, te se karakter stvarnog temperaturnog polja merenja u funkciji vremena trajanja dejstva (sa aspekta promene temperature dolazi do prividnog skraćanja dužine alata).

Izraz (12) u tom smislu predstavlja granični nivo ovakvih slučajeva nestacionarnosti.

4. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Radi provere uticaja izduženja alata na pojavu škarta postavljen je eksperiment u kojem je po odredjenom programu obrade meren minimum neophodnih pokazatelja za utvrđivanje temperaturne dilatacije strugarskog noža. U okviru eksperimenta korišćen je kalorimetar, kako bi se obezbedili precizniji podaci za utvrđivanje srednje temperature noža, precizne vage za utvrđivanje mase noža i mase vode u kalorimetru, te digitalnih termometara i dr. Rezultati nekoliko merenja su dati u tabeli 1. Za izračunavanje srednje temperature noža korišćen je sledeći izraz dobijen na bazi energetskeg bilansa kalorimetra sa vodenom ispunom i alatom:

$$t_{Am} = t_{km} + [Q_g + m_v \cdot c_v (t_{km} - t_{pm})] \cdot (m_A \cdot c_A)^{-1} \dots\dots\dots (13),$$

gde je:

t_{Am} , t_{km} , t_{pm} - srednje temperature alata, kalorimetra sa uronjenim alatom, kalorimetra (vode) pre unošenja alata,

- Q_g - toplotni gubici kalorimetra,
 m_v, m_A - masa vode u kalorimetru i masa alata
 c_v, c_A - specifična toplota vode i materijala i alata

Tabela 1. Rezultati merenja i izračunavanja parametara za utvrđivanje dilatacije noža ($T_0 = 22^\circ\text{C}$)

Režim rada	$m_A (10^{-3}\text{kg})$	$m_v (10^{-3}\text{kg})$	$t_{km} (^\circ\text{C})$	$t_{pm} (^\circ\text{C})$	$t_{Am} (^\circ\text{C})$	$\Delta l (\mu\text{m})$
1	308,390	720,4	19,3	18,8	43	27,5
2	308,342	720,1	19,8	19,3	44	28,8
3	308,315	719,6	20,5	19,8	48	34,0

1: $d_p = 40 \text{ mm}$, $d_k = 37,2 \text{ mm}$, $n = 600 \text{ min}^{-1}$, $s = 0,04 \text{ mm/o}$,
 $\delta = 0,35 \text{ mm}$, $i = 4$

2: $d_p = 37,2 \text{ mm}$, $d_k = 34,4 \text{ mm}$, $n = 600 \text{ min}^{-1}$, $s = 0,04 \text{ mm/o}$,
 $\delta = 0,7 \text{ mm}$, $i = 2$

3: $d_p = 34,4 \text{ mm}$, $d_k = 28,8 \text{ mm}$, $n = 600 \text{ min}^{-1}$, $s = 0,04 \text{ mm/o}$,
 $\delta = 0,7 \text{ mm}$, $i = 4$

Rezultati merenja ukazuju na značaj temperaturnih dilatacija strugarskog noža na povećanje dubine rezanja. Pri tome, smanjenje dubine rezanja usled habanja noža, elastičnih deformacija i dr. predstavlja vrednost nižeg reda veličine s obzirom na vreme trajanja struganja i dimenzije radnog predmeta i alata. Vrednost dilatacije noža se smanjuje proporcionalno slobodnoj dužini noža (izvan uklještenja), što ne eliminiše značaj ovoga uticaja na tačnost obradivanog predmeta (ovaj faktor je u direktnoj zavisnosti od načina i kvaliteta uklještenja noža).

5. Z A K L J U Č A K

U cilju smanjenja uticaja temperaturnih dilatacija strugarskog noža na tačnost obradivanog predmeta neophodno je obezbediti neke preduslove:

- podešavanje dubine rezanja kod završne obrade vršiti se većom preciznošću (i kada je u pitanju spoljna obrada cilindričnih delova) bliže gornjoj granici dozvoljenog odstupanja tolerancnog polja predmeta,
- koristiti nož veće mase,
- koristiti nož manje dužine, odnosno težiti što manjoj slobodnoj dužini noža,
- stezanje noža na mestu bližem slobodnom delu noža u steznoj

glavi izvršiti većim momentom,
- vršiti intenzivno hladjenje (tamo gde je to moguće) i dr.

Pri ovome se ne daju predlozi za izbor povoljnijih režima obrade sa aspekta termičkog opterećenja, zbog zalaženja u problematiku produktivnosti, odnosno ekonomičnosti rada.

6. L I T E R A T U R A

- [1] . Lambić M.: "Uticaoaj toplote nastale u procesu obrade rezanjem na tačnost mera obradjivanog predmeta", Zbornik radova 13. JUPITER konferencije, Cavtat, 1987, 133-139.
- [2] . Lambić M.: "Prilog analizi pojave škarta usled toplotnih dejstava nastalih u procesu obrade rezanjem za slučaj pojedinačne proizvodnje", Mašinstvo 31 (1982) 9, 1349 - 1352
- [3] . Vukelja D.: "Termodinamika rezanja", Monografija AMA 2, Beograd, 1970.
- [4] . Stanković P.: "Mašinska obrada I", GK, Beograd, 1971.
- [5] . Stanić J.: "Merenje i kvalitet obrade I deo, Mašinski fakultet, Beograd, 1976.
- [6] . Markov N.N, Sacerdotor P.A.: "Pogrešnosti ot temperaturnih deformacija pri lineinih izmerenijah", Mašinstroenie, Moskva, 1976.
- [7] . Geiler Ž.Š.: "Samonastrajvjuščiesja sistemi aktivnogo kontrolj razmerov", Mašinstroeniye, Moskva, 1972.

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

PRIMENA RAČUNARA NA ODREĐIVANJU OPTIMALNIH USLOVA IZRADE I IZGUBLJENOG
VREMENA U STVARNIM USLOVIMA KOD UNUTRAŠNJEG BRUŠENJA TVRDOG METALA

COMPUTER APPLICATION FOR DETERMINING OPTIMAL MANUFACTURING CONDITIONS AND
WASTED TIME UNDER ACTUAL CONDITIONS IN INTERNAL GRINDING OF CEMENTED CARBIDE

M. Drndarević RO Tvrdi metal SOUR "Prvi partizan"
31000 Titovo Užice, Jugoslavija

Ključne reči: SAŽETAK: Da bi se smanjilo izgubljeno vreme u uslovima pojedinačne
Računar proizvodnje alata sa elementima od tvrdog metala neophodna je pri-
Tehnologija mena računara na određivanju uslova obrade. Rad se odnosi na ope-
Izradak raciju unutrašnjeg brušenja. Obuhvata određivanje:
Cena - optimalnog niza tocila prema prečniku i krupnoći dijamantskih
zrna,
- dodatka za obradu svakog zahvata ili narednih operacija,
- matematičkog modela koji daje optimalne uslove obrade i stvarne
pri dejstvu poremećaja,
- izgubljenog vremena,
- grupe posla prema složenosti.

Key words: ABSTRACT: In order to decrease wasted time under conditions of
Computer individual manufacture of tools with cemented carbide, the appli-
Technology cation of computer is necessary for determinins manufacturins
Blank conditions. This paper treats the operation of internal grinding.
Cost This paper treats the operation of internal grinding. It compri-
ses determining of:
- optimal sequence of grinding wheels acc. to diameter and dia-
mond grain coarsness,
- allowances for machining of each operational step or another
operations,
- mathematical model which provides optimal manufacturing condi-
tions as well as actual conditions during disturbances,
- wasted time,
- job group according to its complexity.

1. Uvod

Radna organizacija Tvrdi metal u SOUR "Prvi partizan" izrađuje alate i de-
love od tvrdog metala ili sa elementima tvrdog metala. Nakon sinterovanja tvrdi metal
se obradjuje postupcima brušenja, erodiranja, honovanja i poliranja. Najzastupljeniji
vid mašinske obrade tvrdog metala je unutrašnje brušenje. Dugogodišnje iskustvo koje
je stečeno obradom tvrdog metala provereno je i dopunjeno teorijskim razmatranjem i
obavljenim eksperimentima sa dovoljno tačnim merenjima.

2. Sadržaj rada

Najobimniji deo rada je identifikacija procesa obrade zasnovana na planiranju eksperimenata i primeni matematičke statistike. Matematički model je podložan stalnim poboljšanjima. Na to utiču uočavanje dodatnih uticajnih činilaca i kvalitetnija merenja.

Na slici 1 prikazan je kao primer plan eksperimenata za određivanje dubine brušenja u zavisnosti od: prečnika tocila, odnosa slobodna dužina-prečnik tocila i tvrdoće tvrdog metala.

Ostvarenje i korišćenje matematičkog modela za operaciju unutrašnjeg brušenja tvrdog metala zasnovano je na korišćenju računara.

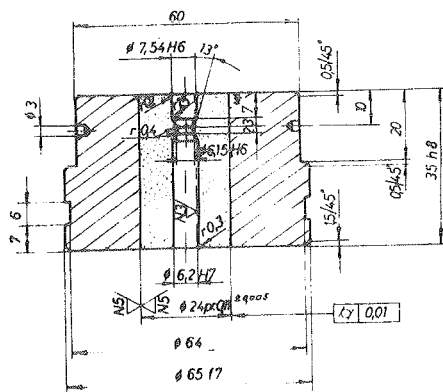
Izlaz programa je tehnološka radna lista koja sadrži: mere izradka i tolerancijska polja, optimalne uslove obrade, vreme izrade i grupu posla. Na slici 2 prikazana je matrica za reduciranje koja se koristi u proizvodnji vijaka za koju je na slici 3 data tehnološka radna lista sa optimalnim uslovima obrade.

X_0	X_1	X_2	X_3	$X_1 X_2$	$X_1 X_3$	$X_2 X_3$	$X_1 X_2 X_3$	t_1 [mm/DH]	t_2 [mm/DH]
1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	6,5	0,5
1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	7,5	0,8
1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	5,5	6
1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	3	3
1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	2	4
1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	4	2,5
1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	2,5	3
1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	1	1

matematički model: $t = t(d_1, d_2/d_1, HV 30)$, $d_1 > 3$

$$\hat{t} = 13,9161 + 0,30725 \cdot x_1 - 0,49459 \cdot x_2 - 0,00671 \cdot x_3 - 0,14113 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,08658 \cdot 10^{-4} \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,4329 \cdot 10^{-3} \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,4329 \cdot 10^{-4} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$$

Slika 1. Plan eksperimenata



Slika 2. Matrica

ODIR 66 UNUTRASNJE BRUSENJE IZVRSILAC

Broj radnog nalosa.....uzeto kom.....datum.....završeno kom.....datum.....

OTVOR	TOL.	TOCILO	BR. OBR.	TOCILO	OBRADKA	HOD	DUB. BR.	STO	DODATAK	
mm	mi	mm		o/min	o/min	mm	mi/DH	m/min	mm	mm
6.115	17	5.0-D126	30000.	36000.	344. 413.	23.3	4.4	0.6	0.7	0.71
6.165	23	5.0-D126	30000.	36000.	305. 366.	21.3	4.5	0.5	0.6	0.05
7.505	17	5.0-D126	27000.	36000.	297. 396.	7.0	5.8	0.7	0.9	0.72

VREME GRUPA KONTROLA IZRADAKA PRIMEDBA:
min POSLA dobri defektni škart overa
23.2 0025

Slika 3. Optimalni uslovi obrade

U stvarnim uslovima proizvodnje mogu se javiti sledeći poremećaji:

- manji broj obrtaja tocila,
- veći dodatak za obradu sinterovanih priprema,
- manji prečnik tocila od optimalnog,
- veća tvrdoća tvrdog metala i drugi.

Potrebno je odrediti uslove obrade pod dejstvom poremećaja. Na slici 4 data je tehnološka radna lista za slučaj da je u odnosu na optimalne uslove obrade manji broj obrtaja tocila i veći dodatak za obradu.

ODJR 66 UNUTRASNJE BRUSENJE IZVRBILAC

Broj radnog nalosa _____ uzeto kom. _____ datum _____ završeno kom. _____ datum _____

OTVOR	TOL.	TOCILO	BR. OBR. TOCILA	OBRADKA		HOD	DUB. BR.	STO	DODATAK
				o/min	o/min				
mm	mi	mm		mm	mi/DH	m/min	mm		
6.115	17	5.0-D126	24000.	286.	23.3	4.4	0.5	0.90	
6.165	23	5.0-D126	24000.	244.	21.3	4.5	0.4	0.05	
7.505	17	6.0-D126	24000.	298.	7.0	5.8	0.7	1.18	
6.360	100	5.0-D126	24000.	248.	5.3	5.7	0.4	0.32	

VREME GRUPE KONTROLA IZRADAKA PRIMEDBA:
 min POSLA dobri defektni škart overa
 43.9 0625

Slika 4. Uslovi obrade pod dejstvom poremećaja

Na slikama 3 i 4. može se uočiti bitna razlika vremena izrade za uslove rada pod dejstvom poremećaja i vremena izrade za optimalne uslove. To je izgubljeno vreme koje se vezuje za dati poremećaj ili grupu poremećaja. Na osnovu toga sačinjena je data-teka izgubljenog vremena u toku meseca i godine za koju su vezani podprogrami za upis i čitanje podataka.

	JAN	FEB	MART	APR	MAJ	JUN	JUL	AVG	SEP	OKT	NOV	DEC	GODISNJE
t	184.	168.	192.	176.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	720.
Nt	427.	264.	286.	372.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	1349.
Dt	32.	18.	26.	46.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	100.
t, Nt, Dt	7.	14.	0.	79.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	924.
t, Nt	248.	329.	184.	163.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	53.
t, Dt	0.	18.	6.	29.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	67.
Nt, Dt	12.	26.	8.	21.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	144.
ostalo	47.	62.	28.	7.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	
MESECNO	957.	899.	730.	893.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	3479.

Slika 5. Datoteka izgubljenog vremena

Pored njih razvijeni su podrprogrami za određivanje grupe posla i pomoćnog vremena. Ovdje će pažnja biti posvećena podrprogramu za određivanje grupe posla.

Značajno je napomenuti da su usvojeni kriterijumi za složenost posla koji su podesni za rad na računaru. Težeći da njihov broj bude minimalan usvojeno je sledeće:

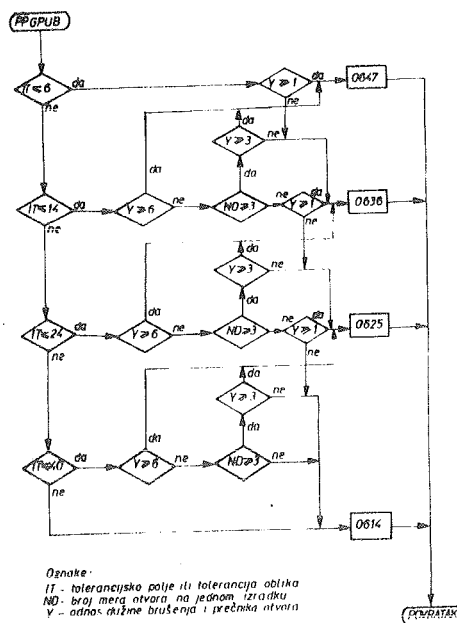
- tolerancijsko polje ili tolerancija oblika,
- broj mera otvora na jednom izradku,
- odnos dužine brušenja i prečnika otvora.

Analizom stvarnih primera koji se javljaju u proizvodnji određene su granične vrenosti za svaki od kriterijuma i stepen uticaja na složenost. Iz predhodnog proizašao je algoritam koji je prikazan na slici 6.

3. Rezulati rada

Ostvareni su sledeći rezultati:

- malo vreme obrade informacija,
- optimizacija vremena izrade što direktno utiče na cenu proizvoda,
- programi obuhvataju optimalne i stvarne proizvodne uslove u datom trenutku, odnosno moguća je primena pri dejstvu poremećaja,
- uvid u veličinu nepotrebno utrošenog (izgubljenog) vremena obrade.



Slika 6. Algoritam podprograma za grupu posla

Literatura:

- (1) Grupa autora, Primena računara na izračunavanju parametara pri konstruisanju režima mašinske i termičke obrade i vremena izrade, Istraživačko razvojni projekat, Prvi partizan, 1985.
- (2) Stanić J., Metod inženjerskog merenja, Mašinski fakultet, Beograd, 1981.
- (3) Parezanović N., Računske mašine i programiranje, PFV, Beograd, 1979.
- (4) Drndarević M., Primena računara na izračunavanju režima i vremena izrade kod unutrašnjeg brušenja tvrdog metala, Zbornik radova 19 savetovanja proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Kragujevac, 1985.

21. SAVETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

VRTANJE S SVEDRI Z IZMENLJIVIMI PLOŠČICAMI
DRILLING WITH INDEXABLE INSERT-TIPPED DRILLS

Z. Seljak Fakulteta za strojništvo, Univerza E. Kardelja
61000 Ljubljana, Jugoslavija

S. Dolinšek Fakulteta za strojništvo, Univerza E. Kardelja
61000 Ljubljana, Jugoslavija

Ključne besede:

Obdelovalnost
Avstenitna nerjavna jekla
Sveder z izmenljivimi ploščicami
Obraba

POVZETEK: Do nedavno je bil za vrtanje uporabljen le vijačni sveder iz hitroreznega jekla. Razvoj novih orodnih materialov in orodij je prinesel tudi na tem področju spremembe. Sredi sedemdesetih let so se pojavili svedri z izmenljivimi ploščicami, ki omogočajo bistveno povečanje rezalne hitrosti in vrtanje težje obdelovalnih materialov. V prispevku je prikazana uporabnost svedrov z izmenljivimi ploščicami pri vrtanju avstenitnih nerjavnih jekel. Ugotovljen je potek obrabe posameznih rezalnih ploščic, določen je obrabni kriterij in obstojnostna enačba, popolne podatke o obdelovalnosti praktično uporabljenih izdelkov iz avstenitnih nerjavnih jekel pa dobimo z določitvijo sil, oblike odrezkov in hrapavosti stene izvrtine.

Key words:

Machinability
Austenitic stainless steel
Indexable insert - tipped drill
Wear
Tool life

ABSTRACT: Until recently twist drills from high speed steel have been used for drilling. The development of new tool materials and new tools has brought many changes in this field. In the middle of the 70s indexable insert-tipped drills started to be used, enabling essentially higher cutting speed rates and drilling of materials which are difficult to machine. The contribution discusses the use of indexable insert-tipped drills in drilling austenitic stainless steels. The wear rate of the particular cutting inserts is identified, and the wear criterion and tool life equation are defined. The full data on the machinability of austenitic stainless steel product in practical application are obtained by the determination of cutting forces, chip shapes and surface roughness of the bore.

1. UVOD

O vrtanju govorimo takrat, ko izdelujemo izvrtino v poln material. Ta postopek obdelave zelo pogosto uporabljamo, saj na vrtanje odpade 25 % izmed vseh obdelav z odrezavanjem. Do nedavna je bilo edino uporabljeno orodje za vrtanje vijačni sveder iz hitroreznega jekla. V primerih, ko z vijačnimi svedri ni bilo možno vrtati, so se uporabljala orodja, ki smo jih obravnavali pod pojmom posebni postopki vrtanja. Kljub razvoju novih rezalnih orodij pa se svedri iz hitroreznih jekel še vedno večinoma uporabljajo. Vzrok je v tem, da so se

obdelovalci navadili na vse težave, ki jih ima postopek vrtnanja z vijačnimi svedri. Šele velik razvoj v uporabi karbidnih trdin je zopet opozoril na vse težave pri uporabi vijačnih svedrov iz hitroreznih jekel. Tako uporaba karbidnih trdin in še zmogljivejših rezalnih materialov pri orodjih za vrtnanje ni postala le želja, ampak nujnost. Zahteve po večji produktivnosti pri vrtnanju in potrebe po obdelavi težko obdelovalnih materialov je privedla do novih konstrukcij orodij za vrtnanje, ki uporabljajo toplotno in obrabno bolj odporne materiale, kot so hitrorezna jekla.

2. RAZVOJ SVEDROV Z REZALNIM DELOM IZ KARBIDNIH TRDIN

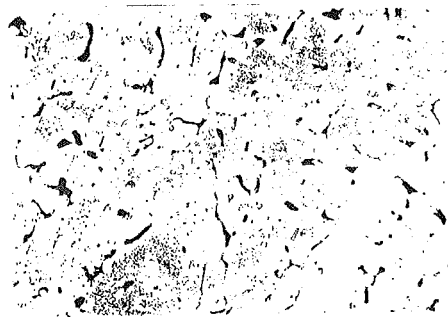
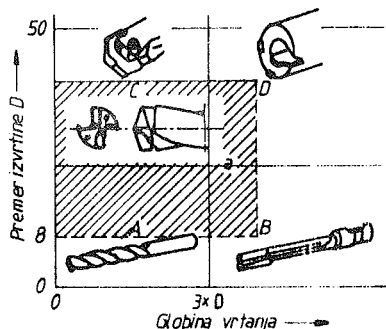
Želja, da bi vrtali brez težav z orodji iz karbidnih trdin enako uspešno kot z njimi stružimo, je stara kot so stare karbidne trdine /1/. Največja težava, ki se pojavi pri uporabi karbidnih trdin za vrtnanje, je padanje rezalne hitrosti proti osi svedra do vrednosti nič, zaradi česar obstaja velika nevarnost zloma. Izbira ustreznega svedra za vrtnanje je odvisna od premera in globine izvrtine. Po sliki 1 /2/ vidimo, da se v območju premerov svedrov do 8 mm in globin vrtnanja do trikratnega premera svedra še vedno največ uporablja vijačne svedre iz hitroreznih jekel, saj je 50% vseh izvrtanih izvrtin v tem območju. Prva zamenjava teh svedrov se je pojavila s svedri z nalotano karbidno trdino v konici, ki pa imajo zelo omejeno uporabo. Za vrtnanje izvrtin manjših premerov se zato uporabljajo svedri, ki so v celoti izdelani iz karbidnih trdin. Konstrukcija s tremi rezalnimi robovi ima manjšo možnost zloma kot vijačni svedri, največje globine vrtnanja s temi svedri znašajo do štirikratnega premera svedra. Pozornost pa moramo posvetiti oblikovanju in odstranjevanju odrezkov. Za vrtnanje izvrtin večjih premerov izdelamo te svedre v obliki svedrov z nalotano rezalno glavo iz karbidnih trdin na konico vijačnega svedra. Takšni svedri se izdelujejo v mejah premerov 12 do 31 mm. Izboljšave svedrov z nalotanimi karbidnimi trdinami so dosegli z medsebojno zamaknitvijo in stopenjskim zabrušenjem glavnih rezalnih robov, kar nam ugodno lomi odrezke /3/. Največje globine vrtnanja s takšnim svedrom znašajo do triinpolkratnega premera svedra, rezalne hitrosti so tudi do štiri krat večje kot pri vijačnem svedru iz hitroreznega jekla. Minimalni premeri odrezkov so do 12 mm, hlajenje je skozi jedro pod tlakom. Sveder se zaradi ustrezne geometrične oblike sam centrira, rezalne sile so do 50% manjše kot pri vijačnem svedru, pomembne izboljšave pa dosežemo v natančnosti izdelanih izvrtin.

Razvoj svedrov z izmenljivimi ploščicami se je začel sredi sedemdesetih let. Možnost vrtnanja s temi svedri je naredila popolnoma nov razvoj v vrtnanju. Uporabljamo enako oblikovane ploščice kot pri struženju, lahko jih oslojimo ali uporabimo poleg karbidnih trdin tudi druge rezalne materiale. Od začetne uporabe svedrov z izmenljivimi ploščicami za vrtnanje izvrtin manjših globin se je njihova uporabnost prenesla tudi na vrtnanje globin izvrtin večjih od štirikratnega premera svedra. Vpenjanje ploščice je na različne načine direktno v steblo svedra, zaradi varnosti pa jih vpenjamo tudi v kasete. Hladimo skozi jedro svedra pod tlakom, hladilna tekočina nam mora tudi uspešno odstranjevati odrezke, ki morajo biti kratki. Izjemoma lahko vrtamo tudi brez hlajenja. Minimalni premeri svedrov so 18 mm, navzdol smo dimenzijsko omejeni zaradi velikosti rezalnih ploščic, navzgor pa z močjo obdelovalnih strojev. Svedri omogočajo možnost sestavljanja po sistemu modulov, s tem daljšamo dolžino svedra. Največjo uporabnost so dosegli na modernih obdelovalnih sistemih, saj je z

njimi možno tudi zunanje struženje ali frezanje. Največje prednosti teh svedrov so v natančnosti in veliki hitrosti obdelave, kratkih poteh za vtek in iztek orodja, možnosti začetka in konca vrtanja na surovi in neravni površini, ohranjanju konstantnih dimenzij in enostavni ter ceneni zamenjavi obrabljenih rezalnih robov. Manjše rezalne sile pri uporabi svedrov z izmenljivimi ploščicami nam povečajo zanesljivost obdelave in zmanjšajo porabo obdelovalne energije.

3. PODATKI O PREIZKUŠANEM MATERIALU IN ORODJU

Za raziskavo vrtanja s svedri z izmenljivimi ploščicami smo uporabili avstenitno nerjavno jeklo ČL.4572 v gašenem stanju. Ta vrsta materiala spada v skupino težko obdelovalnih materialov. Problematika vrtanja z vijaknimi svedri iz hitroreznih jekel /4/ nas je usmerila v iskanje ugodnejših in zmogljivejših orodja. Vrtanje izvrtin v avstenitna nerjavna jekla je zanimivo tudi s stališča industrije, zato je bil testirni material ČL.4572 ulit v obliko prirobnic ventilov za prehrabno industrijo. Slika 2 kaže obliko strukture, pod sliko je izpisana tudi sestava materiala. Izvrtine so bile skozi, globina vrtanja posamezne izvrtine je znašala 17 mm.



Cr	Ni	C	Si	Mn	Mo	Ti
16,6	12,9	0,08	1,33	1,29	2,78	0,02

Slika 1: Uporabnost različnih svedrov glede na premer in globino izvrtin.

Slika 2: Struktura in sestava avstenitnega nerjavnega jekla ČL.4572.

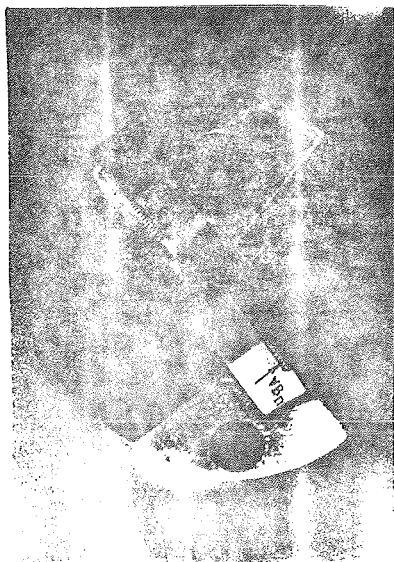
Za vrtanje smo izbrali sveder z izmenljivimi ploščicami firme SANDVIK - CORROMANT z oznako T-MAX R 416.1-0200.20-03, premer izvrtin je bil 20 mm. Hlajenje je bilo skozi jedro svedra s polsintetičnim hladilnim sredstvom Teolin s pretokom 20 l/min. Ustrezno izbrana rezalna ploščica je kvalitete S-6 z oznako WCMX 03 02 08 R-51.

4. OBRABA REZALNIH ROBOV PRI VRTANJU S SVEDRI Z IZMENLJIVIMI PLOŠČICAMI

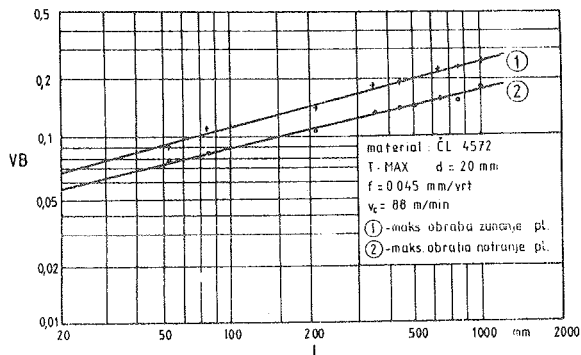
Pri določanju obstojnosti svedrov z izmenljivimi ploščicami se v prvi vrsti pojavi problem pri postavitvi obrabnega kriterija in določanju zadostnega števila eksperimentov za zanesljivo statistično vrednotenje, ki je čisto ekonomske narave. Poraba obdelovalnega materiala

je zaradi učinkovitosti vrtnanja velika, vsaka porušitev ploščic v izvrtini pa nam zaradi nemogoče kontrole uniči celoten sveder. V povezavi s ceno orodja in obdelovanega materiala raziskave omejimo na zanesljivo, a razumno mejo.

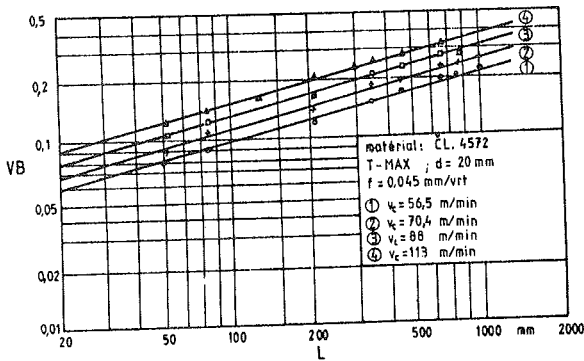
Posebnost v konstrukciji svedrov z izmenljivimi ploščicami, ki je po zunanosti in kinemati-ki podoben vijahnemu svedru, rezalni robovi pa so oblikovani kot ploščice za struženje, ne daje enake oblike obrabe rezalnih robov kot pri že znanih obrabnih oblikah. Potek obrabe na posameznih rezalnih robovih ploščic ne ustreza zakonitostim obrabnih pojavov, ki smo jih vajeni pri vrtnanju z vijahnimi svedri ali struženju z izmenljivimi ploščicami. Potek obrabe rezalnih robov na zunanji in notranji izmenljivi ploščici kaže slika 3. Pri vrtnanju avstenitnih nerjavnih jekel lahko ugotovimo, da se rezalni robovi izmenljivih ploščic svedra različno obrablja v odvisnosti od lokacije ploščice (slika 4). V največji meri se obrablja zunanja ploščica, za določitev obstojnosti pa je pomembna največja širina obrabnega pasu na tej ploščici, ki predstavlja obrabni kriterij za vrtnanje s svedri z izmenljivimi ploščicami. Dopusna obraba zunanje ploščice oziroma obstojnostni kriterij je odvisen od premera svedra, saj se z večanjem premera povečujejo tudi dimenzije ploščic. Za vrtnanje avstenitnega nerjavnega jekla ČL.4572 znaša $VB_{dop} = 0,015 d$. Tendenca naraščanja obrabe je podobna kot pri ostalih orodjih, obraba rezalnih robov ploščic se povečuje z večanjem rezalne in podajalne hitrosti, značilno pa je, da ima rezalna hitrost večji vpliv na velikost obrabe kot podajanje (slika 5). Obstojnostni diagram, določen z metodo multiple regresijske analize, pa kaže slika 6.



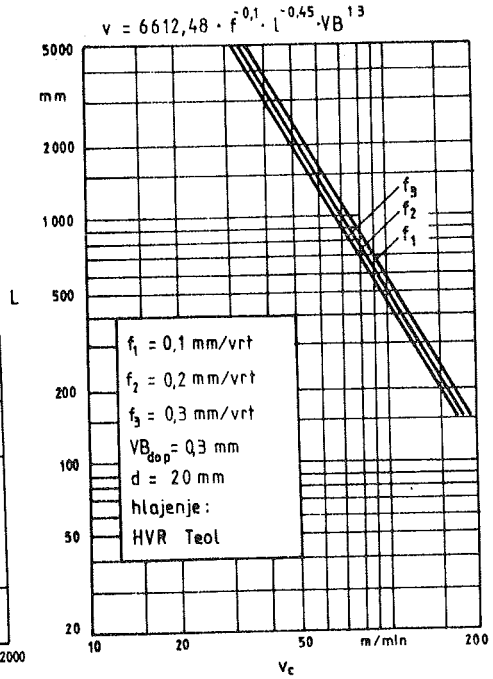
Slika 3: Oblika obrabe rezalnih robov svedra z izmenljivimi ploščicami.



Slika 4: Največja obraba zunanje in notranje ploščice v odvisnosti od globine vrtnanja.



Slika 5: Spreminjanje obrabe zunanje ploščice z različnimi obdelovalnimi pogoji.



Slika 6: Obstoynostni diagram pri vrtanju s svetri z izmenljivimi ploščicami.

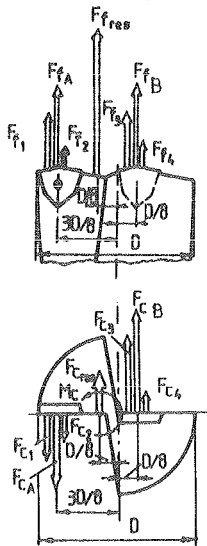
5. REZALNE SILE PRI VRTANJU S SVETRI Z IZMENLJIVIMI PLOŠČICAMI

Uporabno območje in tehnološke možnosti vsakega orodja so omejene zlasti z velikostjo rezalne sile oziroma njenih komponent. Nastopajoče komponente rezalne sile prehajajo v obliko reakcijskih sil in poskušajo elastično ali plastično deformirati orodje in stroj. Kinematika in nastajanje odrezka sta pri vrtanju s svetri z izmenljivimi ploščicami iz karbidnih trdin identična kot pri vrtanju z vijačnimi svetri. Rezalno silo, ki ima v prostoru splošno smer, razstavimo na tri komponente: glavno rezalno silo, ki ima smer glavnega gibanja, podajalno silo, ki ima smer podajalnega gibanja in odzivno silo, ki je pravokotna na glavno in podajalno silo (slika 6).

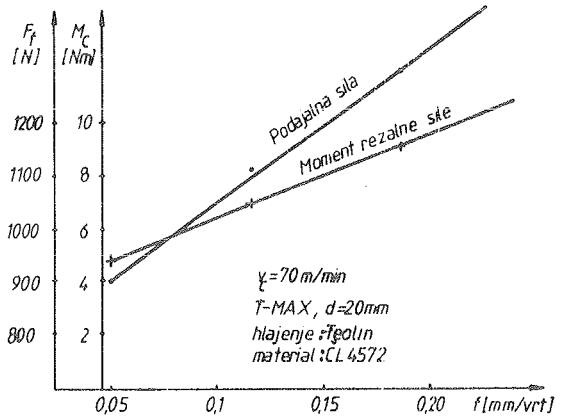
Osnova za dimenzioniranje pogona in določitve primerne togosti vsakega stroja je poznavanje glavne rezalne sile oziroma njenega momenta. Celoten rezalni moment je sestavljen iz momenta pri $v_c \approx 0$, momenta na zunanji in notranji ploščici, momenta na stranskem rezalnem robu in momenta zaradi trenja odrezkov. Prijemališče rezalne sile ne leži v oddaljenosti $D/4$ od osi orodja kot pri vijačnem svetri, velikost rezalnih sil na posameznih ploščicah pa je enaka na obeh ploščicah. Slika 7 kaže velikost rezalnih sil pri vrtanju avstenitnega nerjavnega jekla ČL.4572. Eksperimenti kažejo /5/, da je moment rezalne sile, merjen pri enakih rezalnih pogojih manjši pri svetrih z izmenljivimi ploščicami, kar so potrdili tudi naši rezultati. Podajalna sila na svetri z izmenljivimi ploščicami je rezultanta vseh

sil, nasprotnih podajanju. Ker svedri z izmenljivimi ploščicami nimajo prečnega rezalnega robu, s tem odpade glavni doprinos k velikosti podajalne sile. Ugotovimo lahko, da je velikost podajalne sile manjša pri vrtnanju s svedri z izmenljivimi ploščicami, kar vpliva na kvaliteto in natančnost izvrtine. Če vemo, da je pri vrtnanju avstenitnih nerjavnih jekel velikost podajalne sile prispeva največ k težki obdelovalnosti je vrtnanje teh jekel s svedri z izmenljivimi ploščicami dosti ugodnejše.

Odrivna sila se pri svedrih z izmenljivimi ploščicami v primerjavi z odzivno silo pri natančno nabrušenih vijračnih svedrih ne uničuje. Sveder z izmenljivimi ploščicami lahko smatramo kot enorezilno orodje, ena ploščica reže jedro, druga pa neobdelano področje okoli jedra. Rezultirajoča odzivna sila radialno obremenjuje delovno vreteno in sveder, kar spremeni premer izvrtine in poslabša njeno kvaliteto.



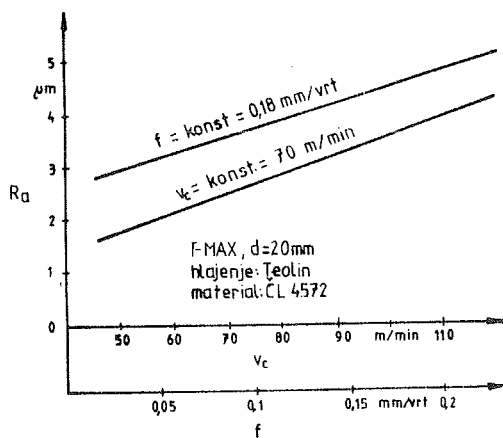
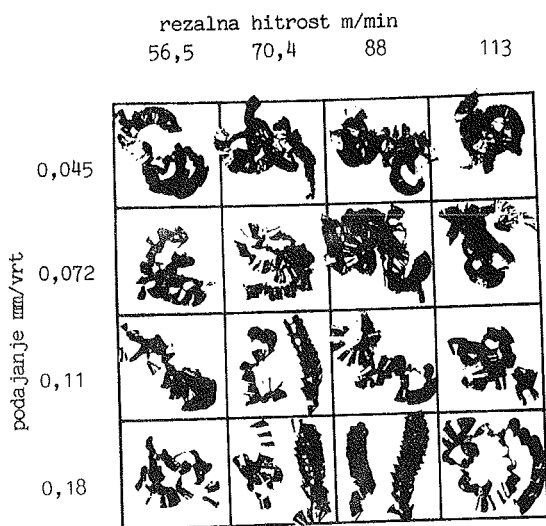
Slika 7: Rezalne sile na rezalnih robovih svedra z izmenljivimi ploščicami.



Slika 8: Spreminjanje rezalnih sil z obdelovalnimi pogoji.

6. OBLIKA ODREZKOV IN HRPAVOST OBDELANE POVRŠINE

Oblika odrezkov ima pri vrtnanju s svedri z izmenljivimi ploščicami pomembno vlogo. Neugodni dolgi in zaviti odrezki poškodujejo rezalne robove ploščic ali steno obdelane izvrtine, v najneugodnejšem primeru pa nam zabijejo kanale svedra, zaradi česar pride do zloma. Zato moramo pri vrtnanju s svedri z izmenljivimi ploščicami poiskati tudi območje rezalne hitrosti in podajanju, kjer dobimo ugodno obliko odrezkov. Pri avstenitnih nerjavnih jeklih so zaradi velike žilavosti in deformacijskega utrjevanja odrezki dolgi in žilavi. Oblika odrezkov pri vrtnanju materiala ČL.4572 je prikazana na sliki 9. Vidimo, da dobimo v uporabnem območju obdelovalnih pogojev večinoma neugodno obliko odrezkov, odrezki so še najbolj ugodni pri večjem podajanju. Hrapavost stene izvrtine smo izmerili informativno. Po sliki 10 vidimo, da dobimo bolj kvalitetne izvrtine kot pri vrtnanju z vijračnimi svedri.



Slika 9: Oblika odrezkov pri vrtnanju ČL.4572 s svedri z izmenljivimi ploščicami.

Slika 10: Hrapavost stene izvrtine v odvisnosti od obdelovalnih pogojev.

7. SKLEPI

Z uporabo svedrov z izmenljivimi ploščicami pri vrtnanju avstenitnega nerjavnega jekla ČL.4572 smo dosegli izboljšave vrtnanja v učinkovitosti in natančnosti. Ugodno območje rezalnih hitrosti je od 80 do 120 m/min, pri podajanju večjem od 0,15 mm/vrt smo tudi v ugodnejšem območju odrezkov. Manjše rezalne sile in boljša kvaliteta izvrtin je prednost teh svedrov v primerjavi z vijačnimi svedri, s katerimi avstenitna jekla vrtamo s težavo. Največja pomanjkljivost v uporabnosti svedrov z izmenljivimi ploščicami je v minimalnem premeru vrtnanja. V območju premerov izvrtin 3 do 18 mm je pogostnost vrtnanja 50%, prav tu pa je uporabnost svedrov z izmenljivimi ploščicami najbolj omejena. V prihodnosti lahko pričakujemo napredek na tem področju le z razvojem novih rezalnih materialov in orodij.

LITERATURA

- /1/ Häuser, K.: Bohrer mit Hartmetallschneiden zum Bohren ins Volle, Werkstatt und Betrieb 115(82)7
- /2/ Kopplin, D.: Hartmetall-Bohrer ohne Querschneide, Werkstatt und Betrieb, 119 (1986) 7
- /3/ Schäfer, R.: Bohren mit dem Delta-Bohrer, Zeitschrift für industrielle Fertigung 72(1982)9
- /4/ Seljak, Z.; Dolinšek, S.: Obdelovalnost avstenitnih nerjavnih jekel z vrtnanjem, XIX. Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Kragujevac, sept. 1985
- /5/ Zillian, W.: Kräfte beim Bohren ins Volle mit HM-WP-bestückten Kurzbohrern, Technische Zeitschrift für Metallbearbeitung 78 (1984) 8.

21. SAVETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA 1987.

IDENTIFIKACIJA PARAMETARA OBRADLJIVOSTI PRI BUŠENJU DUBOKIH OTVORA
U POGONSKIM USLOVIMA EKSPERIMENTALNOM METODOM

IDENTIFICATION OF PROCESSABILITY PARAMETERS AT DRILLING OF DEEP HOLES
IN PLANT CONDITIONS BY EXPERIMENTAL METHOD

A. Dorđević Industrija "14. oktobar" OOUR-Razvoj proizvoda i proizvodnih procesa
P. Dašić 37000 Kruševac, Jugoslavija

REZIME: U ovom radu je prikazana eksperimentalna identifikacija parametara obradljivosti pri bušenju dubokih otvora u pogonskim uslovima Industrije "14. oktobar" u Kruševcu, pri čemu je korišćena matematička teorija eksperimenata tj. BOKS-VILSONOVA metoda kojom se na jednostavan način modelira složeni realni višefaktorni proces.

Dobijeni rezultati eksperimenata modela su podvrgnuti detaljnoj statističkoj analizi tj:
- oceni signifikantnosti parametara modela prvog reda,
- proveriti adekvatnosti modela.

Za ispitivanje obradljivosti korišćena je metoda habanja alata, metoda hrapavosti obradjene površine, zatim metoda dinamometrije, da bi se definisao proces habanja alata, hrapavost obradjene površine i sila rezanja.

Upravo je i bilj ispitivanja bio da se odredi funkcija postojanosti alata u zavisnosti od režima rezanja kao i funkcija hrapavosti obradjene površine i sile rezanja u zavisnosti od režima rezanja i pohabanosti alata.

ABSTRACT: In this work is shown experimental identification of parameters of processability of drilling deep holes in plant conditions of Ind. "14. October" in Kruševac, by which is used mathematical theory of experiments i.e. BOXWILSON METHOD by which on simple way complex real multifactor process is modeled.

Obtained results of experimental model are subjected to detailed statistical analysis i.e.:

- estimation of significance of first order model parameters,
- check-up of model adequacy.

For examining processability is used tool wear method, then processed surface quality method, and method of dynamometry, in order to define tool wear process, manufactured surface roughness, and cutting force.

Exactly purpose of testing was to determine durability, function of tool in dependence of cutting regime as well as manufactured surface roughness function and cutting force in dependence to cutting regime and tool wearoutness.

1. UVOD

Bušenje dubokih otvora je specifična tehnološka operacija koja svoj intenzivan razvoj počinje od Drugog svetskog rata. Sa razvojem te tehnologije proširuje se i oblast primene i asortiman alata, a uspešno istraživanje u ovoj oblasti omogućio je i nagli razvoj matematičke teorije eksperimenata kao i sve savremenija eksperimentalna tehnika za identifikovanje procesa rezanja i stanja obradnog sistema u tom procesu.

U ovom radu je prikazana identifikacija parametara obradljivosti pri bušenju dubokih otvora u pogonskim uslovima Industrije "14. oktobar" u Kruševcu pri čemu je korišćena matematička teorija eksperimenata tj. BOKS-VILSONOVA metoda za praćenje habanja alata, hrapavosti obradjene površine i sile rezanja.

2. FUNKCIJE OBRADLJIVOSTI PRI BUŠENJU DUBOKIH OTVORA

Da bi se uspešno odredile funkcije obradljivosti pri bušenju dubokih otvora mora se posvetiti puna pažnja izboru sledećih parametara:

- vrsti rashladnog sredstva,
- protoku i pritisku rashladnog sredstva,
- koraku aksijalnog kretanja alata,
- brzini rezanja itd.

Na proces obradljivosti utiču mnogi faktori /1/ ali značaj pojedinih parametara u pogledu njihovih uticaja na obradljivost je različita, pa se usled toga i analiziraju oni koji imaju dominantan uticaj u određenim uslovima.

2.1 Funkcija postojanosti alata

Postojanost alata zavisi od niza faktora, kao što su :

- vrsta materijala,
- mehaničke osobine obradivanog materijala,
- mehaničke osobine materijala alata,
- geometrijski parametri alata,
- faktori režima rezanja i dr.

Matematičke jednačine preko kojih se iskazuje proces habanja kao vremenska funkcija rezanja, bazira na poznatoj Taylor-ovoj jednačini iz 1907.god, koja daje vezu između postojanosti alata i brzine rezanja. Istražujući proces rezanja u Taylor-ovoj jednačini je uvedeno više uticajnih faktora tako da jednačina postojanosti izgleda:

$$V = \frac{C}{T^m \cdot S^y} \quad \text{odnosno} \quad T = \frac{C^{1/m}}{V^{1/m} \cdot S^{y/m}} \quad (2.1)$$

gde su : C_v, m, y - konstante koje obuhvataju uticaj vrste materijala obratka i alata.

2.2 Funkcija hrapavosti obradene površine

Glavni parametar za ocenu hrapavosti obradjene površine je srednje odstupanje profila R_a , koji služi za ocenu kvaliteta hrapavosti površine za većinu proizvoda, jer je njegova primena najpraktičnija za proizvodnju.

Hrapavost obradjene površine, nastala pri obradi rezanjem, zavisi od velikog broja faktora koji su međusobno usko vezani sa uslovima obrade (režimi rada, način hladjenja, krutost mašine, geometrija alata i dr.).

Izvesno je da hrapavost obradjene površine možemo opisati stepenom funkcijom određujući pri tom vezu između režima rezanja i geometrije alata koja je u ovom slučaju konstantna, tako da se funkcija za R_a može napisati kao :

$$R_a = C_a \cdot S^{y_1} \cdot h^{w_1} / V^{z_1} \quad (2.2)$$

gde su : C_a, y_1, w_1, z_1 - konstante koje obuhvataju uticaj vrste materijala obratka i alata.

2.3 Funkcija sile rezanja

U procesu dubokog brušenja javljaju se otpori koje sečiva bušne krune moraju da savladaju. Identifikaciju i definisanje napadnih sila na višesečnoj glavi za duboko bušenje je moguće odrediti preko komponenta sila rezanja /2/. Medjutim, izvesno je da se glavni otpor rezanja može prikazati stepenom funkcijom, određujući pri tom vezu između režima rezanja, pohabanosti alata i geometrije alata, tako da se funkcija F_3 može napisati kao :

$$F_3 = C_{f_2} \cdot v^2 \cdot w^2 / v \cdot z^2 \quad (2.3)$$

gde su: $C_{f_2}, v^2, w^2, i, z^2$ - konstante koje obuhvataju uticaj vrste materijala obratka i alata.

3. EKSPERIMENTALNA IDENTIFIKACIJA FUNKCIJA OBRADLJIVOSTI PRI BUŠENJU DUBOKIH OTVORA U POGONSKIM USLOVIMA

Za identifikaciju funkcija obradljivosti pri bušenju dubokih otvora u pogonskim uslovima korišćena je matematička teorija eksperimenata tj. BOKS-VILSONOVA metoda kojom se na jednostavan način modelira složeni realni višefaktorni proces /3,4/.

Dobijeni rezultati eksperimenta modela se podvrgavaju detaljnoj statističkoj analizi tj.:

- oceni signifikantnosti bilo kog parametra modela prvog reda,
- proveriti adekvatnosti modela.

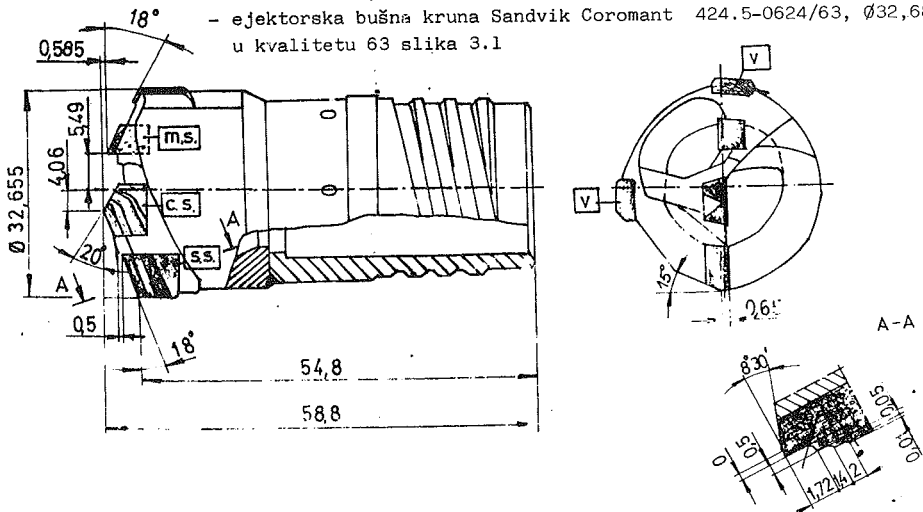
3.1 Uslovi ispitivanja

Sva ispitivanja su izvršena u Industriji "14.oktobar" u Kruševcu i to u sektoru fabrike Hodnih strojeva gde je instalisana oprema i mašina a rezultati su obradjeni na računaru PDP-8.

Za ispitivanje funkcija obradljivosti korišćena je metoda habanja alata, metoda praćenja hrapavosti obradjene površine i metoda dinamometrije, da bi se definisali proces habanja alata, hrapavost obradjene površine i sila rezanja.

Ispitivanje je izvršeno za sledeće konkretne uslove:

- materijal obratka Č.412o (normalizovano stanje)
- mašina za duboko bušenje "Loch" tip 300-1-45 DM snage 44 KW.
- alat i pribor :
 - priključni deo , nosač rezne glave (spoljašnja bušna cev) za obradu dubokih otvora za ejektorsku metodu Sandvik Coromant 424.2-806-10, \varnothing 30,5 mm i L= 750 mm
 - ejektorska bušna kruna Sandvik Coromant 424.5-0624/63, \varnothing 32,68 mm u kvalitetu 63 slika 3.1



Sl.31. Ejektorska bušna kruna Sandvik Coromant 424.5-0624, \varnothing 32,68 mm

Habanje alata je praćeno i mereno na univerzalnom alatnom mikroskopu UMM, istoćnonemaćke proizvodnje. Hrapavost obradjene površine merena je na uređaju za merenje profila hrapavosti površina metodom dodira "HOMMELWERKE" T2o zapadnonemaćke proizvodnje. Merenje hrapavosti je vršeno posle odredjenog vremena dubokog bušenja i posle odredjene pohabanosti ledjne površine spoljašnjeg sećiva alata (bušne krune). Za merenje (praćenje) sile rezanja korišćen je dinamometar koji je instalisan na samoj mašini i koji omogućava praćenje trenutnih vrednosti otpora rezanja. Praćenje porasta otpora rezanja je vršeno posle odredjene pohabanosti alata a pri odredjenim vrednostima režima rezanja (s,v).

3.2 Identifikacija funkcije postojanosti alata pri bušenju dubokih otvora za Ć 412o

Kao metoda odredjivanja funkcije postojanosti alata odabrana je kao što je rećeno metoda habanja alata, kao najprihvatljivija za date pogonske uslove.

Pri ispitivanju postojanosti alata pri dubokom bušenju korišćeni su promenljivi parametri režima rezanja: S-posmak i V-brzina rezanja, pri ćemu su ostali faktori posmatrani kao konstantni (D-prećnik bušenja, geometrija alata, krutost sistema, temperaturne promene nastale u procesu rezanja i dr.).

Numerićeke vrednosti koeficijenata C, m i y odredjuju se, za date režime i uslove obrade, primenom matematićeke teorije eksperimenta /3,5/.

Za matematićki model oblika jednaćine 2.1 je korišćen višefaktorni ortogonalni plan prvog reda oblika 2^k iz Box-Wilsonovog metoda, pri ćemu je : k-broj faktora datog procesa i u ovom slućaju k=2.

Zbog provere taćnosti faktornog eksperimenta 2^2 u taćki (0,0) dodaju se još ćetiri eksperimenta , tj. planiranje je vršeno pomoću faktornog eksperimenta:

$$N = n_0 + 2^k = 4 + 4 = 8.$$

U toku ispitivanja praćena je porast habanja na ledjnoj površini spoljašnjeg sećiva alata pomoću alatnog mikroskopa, a vreme dubokog bušenja raćunato je pomoću jednaćine 3.1.

$$t = \frac{L}{g \cdot n \cdot s} \quad (3.1)$$

Primenom programa za izbor varijante matematićkog modela (program paket VE-višefaktorni eksperiment) uraćdenog u industriji "14.oktobar" u Kruševcu na raćunaru PDP-8, biramo varijantu matematićkog modela, T.1.

ANALIZA IZBORA VARIJANTE MATEMATICKOG MODELA:

7.1.

VRSTA MATEMAT. MODELA	BR. CLAN! I	ADEKVAT. FARAC	ADEKVAT. FATABL	REZIDUALNA! SUMA SR	GRESKA EKSPERIM. SE	KOEFIC. REGRES. R
LINIJSKI EFEKTI FAKTORA	3	5.764	9.550	0.2082	0.0430	0.7489
LIN EFEK SIGNIFIK FAKTORA	2	3.943	9.280	0.2125	0.0430	0.7428
INTERAK. SIGNIFIK FAKTORA	2	3.943	9.280	0.2125	0.0430	0.7428

Na osnovu analize sve tri varijante matematičkog modela iz tabele T.1 može se uočiti da ne postoje veće razlike koeficijenata višestruke regresije i rezidualne sume kod sva tri modela i da su isti adekvatni, tako da izabiramo treću varijantu matematičkog modela.

Na osnovu dobijenih eksperimentalnih rezultata izvršena je obrada podataka na računaru (programski paket VE) PDP-8 i formiran je skup ulazno-izlaznih informacija T.2.

POSTOJANOST ALATA SA INTERAKCIJOM SIGNIFIKANTNIH FAKTORA:

KORELACIJA ULAZNO - IZLAZNIH INFORMACIJA:

T.2.

BR EK.	KOD PROMEN.			NEZAVISNO PROMENLJ.		IZMERENE	RACUNSKE	GRESKA	
	N	X0	X1	X2	V	S	UREDNOSTI TEKS	UREDNOSTI TRAC	EKSPER. ALFA(%)
1	1	-1	-1		87.000	0.165	130.000	132.416	-1.86
2	1	1	1		95.000	0.184	73.000	79.397	-8.76
3	1	0	0		91.000	0.174	87.000	102.535	-17.86
4	1	0	0		91.000	0.174	110.000	102.535	6.79
5	1	-1	1		87.000	0.184	164.000	132.416	19.26
6	1	0	0		91.000	0.174	84.000	102.535	-22.07
7	1	1	-1		95.000	0.165	105.000	79.397	24.38
8	1	0	0		91.000	0.174	93.000	102.535	-10.25

Dobijeni rezultati eksperimenta modela podvrgavaju se detaljnoj statističkoj analizi. Ocena signifikantnosti bilo kog parametra modela prvog reda izvodi se nezavisno od ostalih. Cilj ocene je provera nulte hipoteze. To znači da se grupa nesignifikantnih parametara modela može isključiti iz modela nekorigujući pri tome vrednosti ostalih signifikantnih parametara koji ostaju u modelu. Ocena signifikantnosti parametara i adekvatnost modela je izvedena prema F- kriterijumu, T.3.

DISPERZIONA ANALIZA:

T.3.

IZVOR VARIJACIJE R(I)	KOEFICIJEN. MODELA Q(I)	STEP. SLOB. F	SUMA KVADRATA S	DISPERZ. S2	DISPERZ. ODNOSI FR	TABLIC UREDN. FT	OCENA
B0= 4.630	Q0= 0.25E+14	F0= 1	171.510	171.510	11968.32	10.13	SIGNIF
B1= -0.256	Q1= -5.814	F1= 1	0.262	0.262	18.26	10.13	SIGNIF
B2= -0.033	-	F2= 1	0.004	0.004	0.30	10.13	INESIGN
B12= -0.149	-	F12=1	0.089	0.089	6.19	10.13	INESIGN
REZIDUALNA SUMA	-	FR= 6	0.2125	0.0354	-	-	-
GRESKA EKSPERIMEN.	-	FE= 3	0.0430	0.0143	-	-	-
ADEKVATNOST MODELA	-	FA= 3	0.1695	0.0565	3.94	0.28	AREKV.

KOEFICIJENT VISESTRUKE REGRESIJE: R = 0.7428

Pošto je uslov F- kriterijuma ispunjen za parametre modela b_0 i b_1 oni su signifikantni dok su ostali parametri modela b_2 i b_{12} nesignifikantni i mogu se isključiti iz modela. Na osnovu dobijenih koeficijenata matematičkog modela zavisnost postojanosti alata od elemenata režima rezanja pri bušenju dubokih otvora č 412o sa dovoljnom tačnošću se analitički opisuje:

- matematičkim modelom sa linijskim efektima faktora:

$$T = \frac{0,88 \cdot 10^{13}}{\sqrt{5,814} \cdot 0,602} \quad (3.2)$$

- matematičkim modelom sa linijskim efektima signifikantnih faktora:

$$T = \frac{0,25 \cdot 10^{14}}{\sqrt{5,814}} \quad (3.3)$$

Pošto je u oba slučaja koeficijent fišestruke regresije dosta veliki, to znači da oba matematička modela praktično u potpunosti opisuju rezultat eksperimenta. Međutim, zbog pogodnosti optimizacije elemenata režima rezanja, tj. zbog manjeg broja članova aproksimirajućeg polinoma, biramo matematički model 3.3.

3.3. Identifikacija funkcije hrapavosti i sile rezanja pri bušenju dubokih otvora za č 412o

Pri ispitivanju hrapavosti obradjene površine i sile rezanja pri bušenju dubokih otvora uzeti su sledeći faktori :

S- posmak, V- brzina rezanja i h- habanje ledjne površine spoljašnjeg sečiva alata, pri čemu su ostali faktori posmatrani kao konstantni (geometrija alata, krutost sistema, temperaturne promene nastale u procesu bušenja i dr.).

Za matematički model se koriste višefaktorni ortogonalni planovi prvog reda oblika 2^k , iz Box-Vilsonovog metoda, pri čemu je k- broj faktora datog procesa, u ovom slučaju k=3.

S obzirom da je postupak dobijanja funkcije hrapavosti obradjene površine i sile rezanja slična postupku dobijanja funkcije postojanosti alata, računski deo neće biti prikazan /7/, već samo krajnji rezultati.

Planiranje je vršeno pomoću faktornog eksperimenta

$$N = n + 2^k = 4 + 2^3 = 12 \quad (3.4)$$

U toku ispitivanja praćeno je srednje aritmetičko odstupanje R_a , i otpor rezanja.

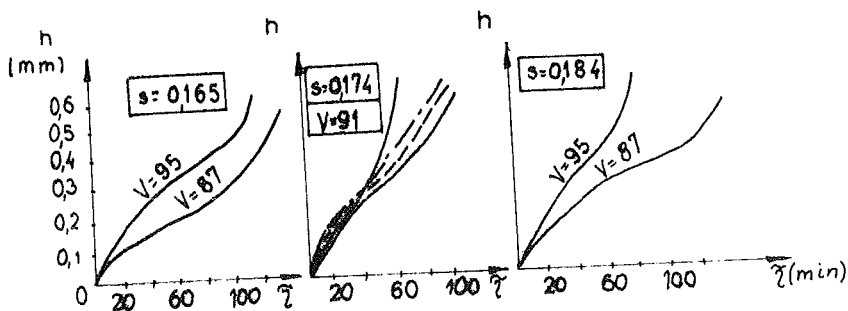
Na osnovu dobijenih eksperimentalnih rezultata i njihove obrade na računaru PDP-8 došlo se do matematičkih jednačina za R_a i F_3 koje adekvatno opisuju dati proces. /7/, tako da imamo za funkciju hrapavosti obradjene površine i otpor rezanja jednačine 3.5 i 3.6.

$$R_a = \frac{37,69 \cdot S^{5,9} \cdot V^{1,457}}{h^{0,447}} \quad (3.5)$$

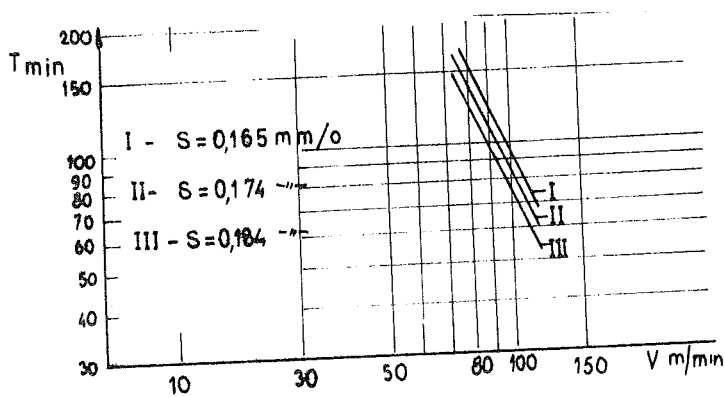
$$F_3 = \frac{9,4 \cdot 10^4 \cdot h^{0,199} \cdot S^{0,978}}{V^{1,692}} \quad (3.6)$$

Na osnovu dobijenih eksperimentalnih rezultata konstruisane su krive habanja alata sl.3.2 a za karakteristične režime rezanja su, na osnovu krivih habanja i kriterijuma pohabanosti alata $h=0,6$ konstruisane T-V krive u duplo logaritamskim koordinatama sl.3.3.

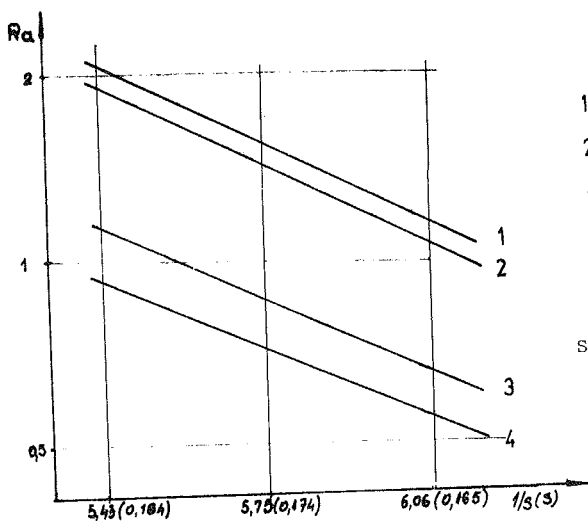
Takodje za karakteristične režime rezanja konstruisane su krive $(R_a-S)_u$ log-log koordinatnom sistemu sl.3.4.



Sl.3.2 Krive habanja alata



Sl.3.3 Zavisnost postojanosti alata T od brzine rezanja V (T-V krive)



1. $V=95$; $h=0,3$
2. $V=87$; $h=0,3$
3. $V=95$; $h=0,6$
4. $V=87$; $h=0,6$

Sl.3.4 Uporedni dijagram zavisnosti Ra od p smaka S

4. ZAKLJUČAK:

Dobijeni rezultati eksperimenata za funkcije obradljivosti su što je moglo više korektno izvedeni i spadaju među prve praktične rezultate kod nas vezane za ispitivanje postojanosti alata, hrapavosti obradjene površine i sile rezanja pri bušenju dubokih otvora za Č 412o.

Iz dobijenih rezultata proizilazi da se sa povećanjem brzine i posmaka smanjuje postojanost alata.

Kod funkcije hrapavosti obradjene površine imamo da se sa povećanjem brzine i posmaka povećava hrapavost a sa povećanjem habanja alata smanjuje.

Ovakav uticaj habanja alata na hrapavost je takav što se njegovim trošenjem vrši glačanje obradjene površine vodjicama tako da se dobija bolja hrapavost obradjene površine. Međutim, to glačanje vodjicama dovodi do većeg zagrevanja pa čak i preopterećenja sistema i alata.

Kod funkcije sile rezanja sa povećanjem habanja i posmaka se i sila povećava, dok sa povećanjem brzine sila se smanjuje.

Pored ovih ima i drugih pojava koje prate ovaj proces tako da je nalaženje funkcije obradljivosti kod dubokog bušenja dosta dug i skup proces.

5. LITERATURA:

- /1/ Sistematsko ispitivanje obradljivosti pri obradi rezanjem domaćih konstrukcijskih materijala domaćim alatima, Institut za alatne mašine i alate, Bgd. 1979.
- /2/ Lj. Lukić Analitička metoda za identifikaciju stabilnosti višesečenih alata u procesu dubokog bušenja, SAOPŠTENJE IAMA 29, Beograd 1983, strana 3917-3928
- /3/ J. Stanić Metod inženjerskog merenja, Osnove matematičke teorije eksperimenata, Mašinski fakultet, Beograd 1981 g.
- /4/ J. Stankov Osnove merne tehnike, Metode planiranja eksperimenta, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad 1982 g.
- /5/ J. Stanić Mašinska obrada, priručnika za laboratorijske vežbe, Mašinski fakultet, Bgd. 75g.
- /6/ A. Zolić Zbirka zadataka iz matematičke statistike, Beograd, 1975 god.
- /7/ A. Dorđević Eksperimentalna identifikacija parametara obradljivosti pri bušenju dubokih otvora u pogonskim uslovima, XIII JUPITER -Konferencija, Cavtat 1987, str. 125-132.

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

UZAJAMNOST IZMEDJU VREMENA ZAMENE I POUZDANOST ALATA

MUTUALITY BETWEEN TIME OF TOOL REPLACEMENT AND TOOL RELIABILITY

S. Sekulić Institut za industrijske sisteme, Fakultet tehničkih nauka,
Univerzitet u Novom Sadu, 21000 Novi Sad, Jugoslavija

Ključne reči:
Pouzdanost
Rezni alat
Zamena alata
Otkaz
Operacija

SAŽETAK: U radu se izlažu sistemi zamene reznog alata polazeći od njegove pouzdanosti. Posebno se ukazuje da u operacijama sa većim brojem alata, jednovremena zamena svih alata najčešće nije opravdana zbog velike razlike u pouzdanosti izmedju njih, pa se u nastavku rada izlaže nova metodologija, koja obezbedjuje minimalnu vrednost pouzdanosti pojedinih alata na približno istom nivou.

Key words:
Reliability
Cutting tool
Tool replacement
Failure
Operation

ABSTRACT: The paper presents cutting tool replacement systems starting from its reliability. Separately is pointed that in operations with large number of cutting tools, the simultaneous complete tool replacement in the most frequent cases is not justifiable because of large differences in reliability between them. From that reason the paper covers new methodology which render certain minimal value of particular tool reliability on approximately identical level.

1. Uvod

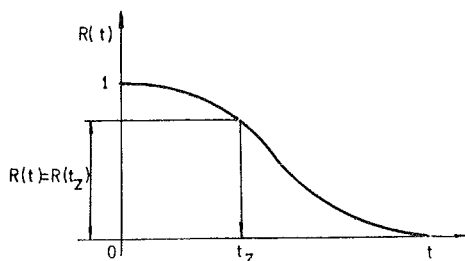
U zavisnosti od tehnološke strukture operacija, zahvati obrade mogu biti: (i) redni R, (ii) paralelni P i (iii) paralelno redni P-R, a izvode se sa jednim ili više alata, pri čemu se kod paralelne i paralelno-redne obrade javljaju više alata u bloku.

2. Sistemi zamene reznog alata

U cilju analize sistema zamene reznog alata razmotrićemo karakteristične operacije obrade.

Slučaj 1.: Operacije obrade u kojima se vrši obrada jedne ili više površina, jednim alatom, u jednom ili više prolaza, pri istom ili različitim režimima obrade, pri pojedinim zahvatima odn. prolazima.

Ukoliko se obrada izvodi jednim alatom zamena se vrši nakon otkaza ili ranije, posle vremena kojem odgovara određena vrednost pouzdanosti alata $R(t) = R(t_z) = \text{const.}$ (Sl. 1), a normativni potrebnog broja alata se određuju na osnovu srednjeg vremena bezotkaznog rada T_{sr} ili vremena za mene t_z .



Sl. 1

Slučaj 2.: Operacije u kojima se vrši paralelna obrada više površina u jednom radnom prolazu

U ovakvim operacijama obrada se izvodi alatima u bloku ("paket alata") pri konstantnoj brzini rezanja i pomaku, dok je drugi element preseka strugotine uslovljen oblicima obradjenih površina odn. alata.

Otkaz bloka alata uslovljen je otkazom jednog od alata koji je režimski najugroženiji.

Ove operacije svode na slučaj 1 pri čemu zamena bloka odgovara zamena alata.

Slučaj 3. Operacije u kojima se vrši obrada više površina sa više alata i/ili blokova alata pri istim ili različitim režimima obrade.

Za svaki od alata i/ili blokova otkazi se odredjuju prema izloženom za slučaj 1.

Zamena alata ili bloka vrši se nakon otkaza, ili svih alata i/ili blokova jednovremeno, ili delimična zamena jednog ili više alata i/ili blokova. Normativi alata odredjuju se ili na osnovu srednjeg vremena bezotkaznog rada ili u zavisnosti od vremena zamene (jednovremenog ili delimičnih zamena).

Na osnovu napred izloženog sledi da se, u zavisnosti od usvojenog sistema zamene, razlikuju i procedure za odredjivanje normativa potrebnog broja alata zasnovane na pouzdanosti pojedinih alata i/ili blokova alata.

Da bi odlučili o sistemu zamene alata, nakon otkaza ili ranije potrebno je analizirati pouzdanost pojedinih alata i/ili blokova alata.

3. O pouzdanosti reznog alata

Parametri funkcije raspodele otkaza reznog alata odredjuju se na osnovu praćenja otkaza alata u vremenu i u zavisnosti od broja uzoraka ($N \geq 50$ reprezentativan ili $N < 50$ nereprezentativan uzorak) primenjuju odgovarajuće procedure za odredjivanje parametara funkcije raspodele [12, 13].

Dosadašnja istraživanja pokazuju da se funkcija raspodele otkaza reznog alata pokorava Weibull-ovoj raspodeli [1-14]

$$F(t) = 1 - \exp \left[-(t/\eta)^\beta \right] \quad (1)$$

pa je pouzdanost

$$R(t) = 1 - F(t) = \exp \left[-(t/\eta)^\beta \right] \quad (2)$$

frekvence otkaza

$$f(t) = dR(t)/dt = \beta/\eta (t/\eta)^{\beta-1} \exp \left[-(t/\eta)^\beta \right] \quad (3)$$

i intenzitet otkaza

$$(t) = f(t)/R(t) = \beta/\eta (t/\eta)^{\beta-1} \quad (4)$$

Kada su poznati parametri raspodele otkaza alata, srednje vreme bezotkaznog rada, izraženo preko gama funkcije, iznosi

$$T_{sr} = \eta \Gamma (1/\beta + 1) \quad (5)$$

kojem odgovara $R(t) = R(T_{sr})$.

4. Analiza sistema zamene reznog alata i predlog kada izvršiti njegovu zamenu

Ukoliko je vrednost pouzdanosti alata koja odgovara srednjem vremenu bezotkaznog rada $R(T_{sr})$ mala, potrebno je zamenu alata vršiti ranije nakon vremena $t_z < T_{sr}$ odn. usvojiti $R(t) = R(t_z)$ iz koje sledi vreme zamena alata t_z .

Gornja procedura odnosi se na slučajeve 1 i 2 i za njih se broj alata određuje na osnovu potrebnog fonda vremena F , vremena zamene alata ili blokova i broja oštrenja alata i_0 .

Prema gore izloženom potreban broj alata za obradu p obradaka kada se njihova zamena vrši nakon otkaza određuje se iz obrasca:

$$N = \frac{F}{T_{sr}} \frac{1}{i_0+1} = \frac{p \cdot tg}{T_{sr}} \frac{1}{i_0+1} \quad (6)$$

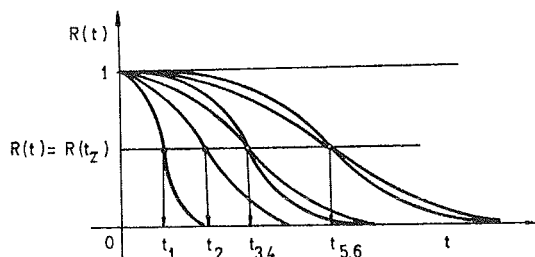
odn. ako se usvoji $R(t) = R(t_z) = \text{const.}$

$$N = \frac{p \cdot tg}{t_z} \frac{1}{i_0+1} \quad (7)$$

(tg - glavno (mašinsko) vreme)

Kada se posmatra obrada sa više alata i/ili blokova (slučaj 3) broj alata i/ili blokova alata se takodje određuje prema gore iznetom, ukoliko se zamena vrši nakon otkaza, međjutim, ukoliko se želi prikladnija zamena alata neophodno je analizirati vremena zamene pojedinih alata u funkciji njihove pouzdanosti.

U principu, u operacijama obrade sa većim brojem alata i/ili blokova, zamenu svih alata, ukoliko za to postoji opravdanje, treba obaviti jednovremeno. Gornja preporuka se ne može generalno prihvatiti ukoliko se parametri funkcije raspodele otkaza pojedinih alata značajno razlikuju, odn. ukoliko se za moguće vrednosti vremena zamene za pojedine alate i/ili blokove dobijaju značajnije razlike u vrednostima pouzdanosti. Da bi se došlo do gore navedenih konstatacija potrebno je, za sve alate i/ili blokove, nacrtati funkcije pouzdanosti alata u vremenu tj. $R(t)_i = f_i(t)$. Variranjem vremena zamene alata odn. pomeranjem vertikalne linije $t_z = \text{const}$ u dijagramu $R(t)_i = f_i(t)$ dobijaju se preseci sa krivama pouzdanosti koji određuju pripadajuće pouzdanosti pojedinih alata (sl. 2).



Sl. 2.

Sa slike se može zaključiti da zamena alata nakon otkaza ili jednovremena zamena svih alata za $t = t_z$ najčešće nema nikakvog opravdanja, a u nekim slučajevima ni smisla, zbog značajnih, pa i prevelikih razlika u pouzdanosti pojedinih alata ili blokova, što može imati za posledicu pojavu kritičnih mesta otkaza alata. Međjutim, ukoliko, u istom dijagramu $R(t)_i = f_i(t_z)$ povučemo horizontalnu liniju $R(t) = R(t_z) = \text{const.}$

dobijaju se preseci sa krivama pouzdanosti koji odredjuju pripadajuća vremena zamene alata. Ukoliko se, kao na slici 2, preseci horizontale sa krivama grupišu, to je zamenu alata moguće vršiti za jedan ili više alata nakon isteka vremena t_{z1} , t_{z2} , $t_{z3,4}$ i $t_{z5,6}$ pri čemu se postižu odgovarajuće pouzdanosti $R(t)_i$ i = 1,2,3,...,6. Kako vremenima zamene $t_{z3,4}$ odgovaraju pouzdanosti $R(t)_3 \neq R(t)_4$ i $t_{z5,6}$ $R(t)_5 \neq R(t)_6$ to zajednička vremena zamene više alata u grupi uslovljava alokaciju pouzdanosti pojedinih alata, međjutim, u ovakvim slučajevima pouzdanost svakog pojedinog alata u funkciji vremena varira između $R(t)_i$ i 1 pri čemu su pouzdanost pojedinih alata $R(t)_i$ relativno bliske pa se ovaj sistem zamene može nazvati zamena pri konstantnoj usvojenoj donjoj granici pouzdanosti pojedinih alata. Prema tome ovakav način zamene predstavlja određenu ustaljenost odvijanja procesa obzirom na otkaze reznog alata.

Primer.

U cilju određivanja vremena zamene i programiranje broja pojedinih alata na osnovu njihove pouzdanosti vršeno je opažanje otkaza na automatskoj blok-liniji za obradu klipova motora sa unutrašnjim sagorevanjem.

Linija se sastoji iz šest automata povezanih koračnim parametrima. Posmatranje je vršeno u vremenskom intervalu od šest meseci, pri čemu je izvršena redukcija vremena usled ostalih zastoja. Otkazi su praćeni u tekućem (kalendarskom) vremenu [1,2,3,4,7,8,9].

Na pojedinim operacijama dobijene su sledeće Weibullove funkcije raspodele otkaza i srednja vremena bezotkaznog rada:

- Operacija 1 (KS-1) Struganje

$$F(t) = 1 - \exp \left(- \frac{t}{88,41733} \right)^{5,85312} \quad (3)$$

$T_{sr} = 81,94$ časa

- Operacija 2 (KS-2) Bušenje

$$F(t) = 1 - \exp \left(- \frac{t}{104,16662} \right)^{3,15536} \quad (4)$$

$T_{sr} = 93,23$ časa

- Operacija 3 (KS-3) Bušenje

$$F(t) = 1 - \exp \left(- \frac{t}{51,67959} \right)^{1,56976} \quad (5)$$

$T_{sr} = 46,42$ časa

- Operacija 4 (KS-4) Struganje

$$F(t) = 1 - \exp \left(- \frac{t}{70,92199} \right)^{2,33621} \quad (6)$$

$T_{sr} = 62,84$ časa

- Operacija 5 (KS-5) Struganje

$$F(t) = 1 - \exp \left(- \frac{t}{41,62465} \right)^{3,27036} \quad (7)$$

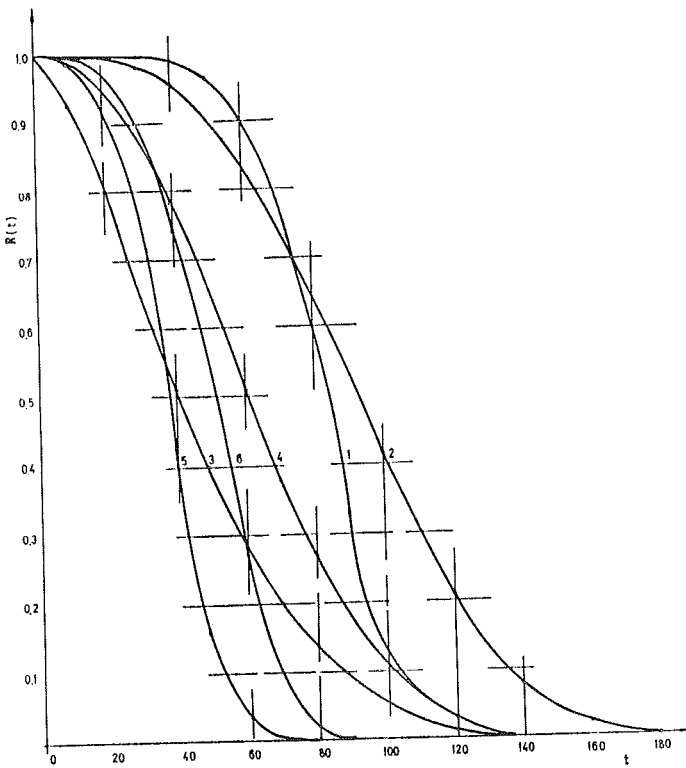
$T_{sr} = 37,29$ časa

- Operacija 6(KS-6) Glodanje

$$F(t) = 1 - \exp \left(- \frac{t}{35,81662} \right)^{3,64719} \quad (8)$$

$T_{sr} = 50,31$ časa

Na osnovu prethodnih jednačina (3) do (8), poštujući vezu (2) nacrtane su zavisnosti $R(t)_i = f_i(t)$ (sl. 3)



Sl. 3.

operacije 4 i 6 $t_{z,4,6} = 45$ časova odn. 6 smena i za operacije 3 i 5 $t_{z,3,5} = 30$ h odn. 4 smene, dobićemo alokacije pouzdanosti pojedinih alata $R(t_z)_i$ (Tablica 1) pa sledi da se minimalna pouzdanost alata na svim operacijama kreće u relativno uskim granicama

Tablica T.1

i	1	2	3	4	5	6
$R(t_z)_i$	0,69	0,69	0,65	0,71	0,71	0,65

$$0,65 < R(t_z)_i < 0,71$$

a zamenu treba vršiti posle predviđenih broja smena u pauzama za obed, pa se zastoj preklapa i ne utiče na povećanje takta izlaza obradaka sa linije.

Određivanje potrebnog broja alata na osnovu izraza (6) ili (7) zahteva prevodjenje srednjeg vremena bezotkaznog rada T_{sr} odn. vremena zamene t_z sa tekućeg (kalendarskog) na stvarno apsolutno vreme.

Ako je takt izlaza t_t i glavno (mašinsko) vreme t_g izraženo u sekundama, a vreme zamene alata vremena $t_z(h)$ onda je efektivno vreme zamene u sekundama $t_z(s)$

$$t_z(s)_i = t_z(h)_i \cdot \frac{t_{gi}}{t_t} \cdot 3600 \quad (9)$$

U skladu sa prethodno iznetim, pomeranjem vertikalne $t = \text{const.}$ u dijagramu nije moguće usvojiti jednovremenu zamenu svih alata ali npr. horizontalni $R(t_z) = 0,65$; za operacije 1 i 2 odgovara vreme zamene oko 80 časova, za operacije 4 i 6 oko 47 časova i za operacije 3 i 5 oko 31 čas. Ako iz praktičnih razloga za operacije 1 i 2 usvojimo vreme zamene $t_{z,1,2} = 75$ časova odn. 10 smena, za

Pračun potrebnog broja alata sproveden je u tablici T.2 za takt $t_t=12$ s, i količinu 1000000 komada klipova.

Tablica T.2

i	tg	tgi/t _t	t _z (h)	t _z (s)	i _o	i _o +1	N
1	2,4	0,200	75	54000	8	9	5
2	3,3	0,275	75	74250	8	9	5
3	3,2	0,267	30	28836	1	2	56
4	5,4	0,533	45	86346	6	7	9
5	5,0	0,417	30	45036	1	2	56
6	3,3	0,775	45	125550	10	11	3

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu napred izloženog mogu se doneti sledeći zaključci:

- zamena alata može se izvršiti nakon otkaza ili ranije na osnovu napred usvojene vrednosti njegove pouzdanosti,
- na operacijama sa većim brojem radnih zahvata, pri obradi sa više alata, zamena se može izvršiti pojedinačno, jednovremenom ili delimičnom zamenom dva ili više alata, pri čemu se do kriterijuma zamene dolazi na osnovu promene pouzdanosti u vremenu, uvažavajući približno ravnomernu alokaciju minimalnih vrednosti pouzdanosti pojedinih alata.

6. LITERATURA

- (1) Sekulić, S., Određivanje pouzdanosti reznog alata u radioničkim uslovima, Zbornik radova Prvog naučnog skupa EFTEŠ '75, Novi Sad, 71-82, 1975.
- (2) Sekulić, S., Statistical formulation of a cutting tool reliability in a working conditions, Proc. XXI EQOC - Vama '77, Stream C, 257-270, 1977.
- (3) Sekulić, S., Određivanje potrebnog broja alata za obradu serije na osnovu njegove pouzdanosti, Obrada metala i tribologija, 5, 11-22, 1976.
- (4) Sekulić, S., Determination of tool quantum for application on the basis of tool reliability, Int. J. Prod. Res., Vol. 16, No. 1, 51-61, 1978.
- (5) Sekulić, S., Rezni alat kao limitirajući faktor kod protočnih automatskih linija, Zbornik radova Prvog naučnog skupa PPS'77, okt. 1977., Novi Sad, 453-463, 1977.
- (6) Sekulić, S., Total reliability of the cutting tools as a limiting factor for its replacement in automatic flow lines, Operations research Verfahren, Band 33, 389-400, 1978.
- (7) Sekulić, S., Ukupna pouzdanost reznog alata kao ograničavajući faktor za njegovu zamenu kod protočnih automatskih linija, Zbornik radova Drugog jugoslovenskog naučnog skupa EFTEŠ'78, nov. 1978, Novi Sad, 211-224, 1978.
- (8) Sekulić, S., Troškovi alata i ukupni troškovi obrade u funkciji pouzdanosti alata kod protočnih automatskih linija, Tribologija u industriji, 1, 16-23, 1979.
- (9) Sekulić, S., Cost of cutting tools and total machining costs as a function of the cutting tool reliability in automatic flow lines, Int. J. Prod. Res., Vol. 20, No. 2, 187-200, 1982.
- (10) Sekulić, S., Određivanje pouzdanosti reznog alata na fleksibilnim automatskim linijama obrade, Zbornik radova KOMEOS '83, Tehnički fakultet Rijeka, 50-58, 1983.
- (11) Sekulić, S., Određivanje pouzdanosti reznog alata skraćenim postupkom, Zbornik radova XVII Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Budva, 11-161.
- (12) Sekulić, S., Metodologije za određivanje pouzdanosti reznog alata, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad, 128-142, 1983, 14.
- (13) Sekulić, S., Methodologies for determination of cutting tool reliability, Drugie międzynarodowe sympozijum NARZEDZIA '84, Politechnika krakowska, Krakow-Janowice, 160-164, 1984.
- (14) Sekulić, S., Determination of cutting tool reliability on flexible automatic flow lines, Toward the factory of the future, Proc. of the 8th Int. conf. on prod. Res. - ICPR '85, august 1985, Stuttgart, 163-168, 1985.

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA 1987.

POKUŠAJ SKRAĆENJA VREMENA NEOPHODNOG ZA AUTOMATSKU PROMENU
REZNOG ALATA KOD OBRADNIH CENTARA

AN ATTEMPT OF SHORTENING THE TIME OF AN AUTOMATIC CHANGE OF
CUTTING TOOLS ON MACHINING CENTERS

M. Kuzinovski

Mašinski fakultet - Skopje, Karpoš II, bb
91000 Skopje, Jugoslavia

Ključne riječi:

Obradni centar
Rezni alat
Magacin
Kompjuter

SAŽETAK: U ovom radu predloženo je skraćivanje vremena neophodnog za APRA putem smanjenja ukupnog puta kretanja magacina reznog alata, zahvaljujući primeni kompjutera. Predloženi sistem za optimizaciju razmeštaja reznih alata u magacinu, zasniiva se na nepromenljivosti redosleda tehnološkog postupka i uvodjenju koeficientata postupnosti primene reznih alata u toku obrade. Koristeći ovaj način razmeštaja reznih alata u magacinu, skraćuje se ukupan put kretanja magacina i do 30%, ne zahteva se promena konstrukcije i režima rada već izvedenih sistema za APRA, odnosno posebna investiciona ulaganja.

Key words:

Machining center
Tool
Magazine
Computer

ABSTRACT: In this work is proposed the way of shortening the time wich is necessary for ATC, by reducing the lenght of the movement of the cutting tools from the tool magazine using the computer.

The proposed system is based on the optimal distribution of the cutting tools in the magazine, resulting on the unchangeable technology operations and interducing of the coefficient of progressive interduction of the cutting tools in the process. Using this type of distribution, the movement of cutting tools is shortened by 30% in lenght, without changing the design and the system of the actuae CNC machines, and without any additionae investement.

1. UVOD

Dodavanjem sistema za automatsku promenu reznog alata (SAPRA) kod obradnih centara dobija se značajan ekonomski efekat, na račun smanjenja pomoćnog vremena. U tom cilju jedan od mnogobrojnih zahteva koji su postavljeni pred sistemima/obradnim centrima, je i najkraće vreme neophodno za automatsku promenu reznog alata (APRA). Ispunjavanje ovog zahteva može se realizovati na više načina:

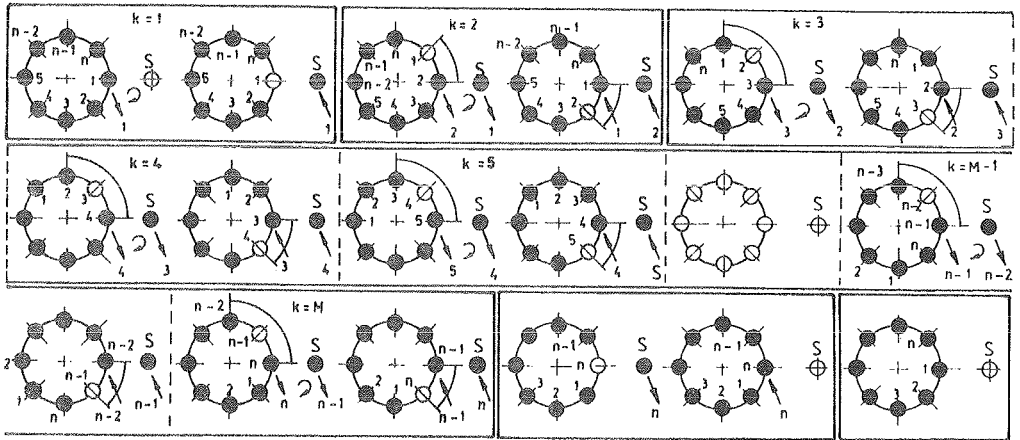
- intenzifikacijom brzine kretanja izvršnih organa (mehaničke ruke, magacina, stuba, stola, glavnog vretena...),
- poklapanjem vremena neophodnog za pripremu sledećeg alata za vremenom obrade, uvodjenjem pozicija za čekanje alata, transportnih sistema,...
- primjenom sistema za identifikaciju reznih alata sa kodiranim promenljivim gnezdimama,
- skraćivanjem puta kretanja reznog alata od magacina do glavnog vretena, i
- optimizacijom razmeštaja reznog alata u magacinu.

U daljem delu ovog rada razradjen je sistem za optimizaciju razmeštaja reznih alata u magacinu putem smanjenja ukupnog puta kretanja magacina.

2. MATEMATIČKI MODEL ZA ODREĐIVANJE PUTA KRETANJA MAGACINA

Predloženi matematički model odnosi se na reverzibilne sisteme za APRA, sa sistemom za identifikaciju reznog alata sa kodiranim fiksnim gnezdama. U tom smislu predjeni put rad magacina reznog alata šematski prikazan na sl.1. može se izraziti sledećim izrazom:

$$S = \boxed{S_1} + \left[\frac{L}{n}(1-2) + \frac{L}{n}(2-1) \right] + \left[\frac{L}{n}(1-3) + \frac{L}{n}(3-2) + \frac{L}{n}(2-4) + \frac{L}{n}(4-3) + \frac{L}{n}(3-5) + \frac{L}{n}(5-4) + \dots \right. \\ \left. + \frac{L}{n}(n-3-(n-1)) + \frac{L}{n}(n-1-(n-2)) + \frac{L}{n}(n-2-(n)) + \frac{L}{n}(n-(n-1)) \right] + \boxed{\frac{L}{n}(n-1-(n))} + \boxed{\frac{L}{n}(n-1)} \quad (1)$$



Sl.1. Šematski prikaz rada magacina reznog alata pri APRA.

Prvi član izraza (1) pretstavlja predjeni put magacina pri prvoj promeni reznog alata /k = 1/. Budući da rad magacina računa se od trenutka kada prvi neophodni rezni alat nalazi se u gnezdu u poziciji za promenu, onda je $S_1=0$. Drugi član izraza (1) predstavlja predjeni put magacina pri drugoj promeni reznog alata /k=2/, koji može da se napiše u obliku:

$$S_2 = \frac{L}{n}(1-2) + \frac{L}{n}(2-1) = \frac{L}{n}(|i_1 - i_2| + |i_2 - i_1|) \quad (2)$$

gde je:

L - obim magacina, $L = n \cdot p$

p - razmak izmedju dva gnezda

n - broj gnezda u magacinu

i_1 - broj gnezda u kom se nalazi rezni alat koji je prvi po redosledu tehnološkog postupka

i_2 - broj gnezda u kom se nalazi rezni alat koji je drugi po redosledu tehnološkog postupka

Treći član izraza (1) pretstavlja predjeni put magacina počevši od $k=3$ do $k=M$, koji može da se napiše u obliku:

$$S_3 = \frac{L}{n} \sum_{k=3}^M (|i_k - i_{k+2}| + |i_{k+1} - i_{k+2}|) \quad (3)$$

gde je:

i_k, i_{k+1}, i_{k+2} - broj gnezda u kojima se nalazi rezni alat koji je k -ti/ $k+1$ -vi/ $k+2$ -gi prema redosledu tehnološkog postupka

M - ukupan broj APRA u toku jednog automatskog tehnološkog ciklusa.

Četvrti član izraza (1) pretstavlja predjeni put magacina pri vraćanju zadnjeg reznog alata u odgovarajuće gnezdo, koji može da se napiše u obliku:

$$S_4 = \frac{L}{n}(n-1-n) = \frac{L}{n}|i_{M-1} - i_M| \quad (4)$$

gde je:

i_{M-1}, i_M - broj gnezda u kojima se nalazi rezni alat koji je pretposlednji/zadnji prema redosledu tehnološkog postupka.

Peti član izraza (1) pretstavlja predjeni put magacina za njegovo postavljanje u početno stanje neophodno za sledeći automatski tehnološki ciklus, koji može da se napiše u obliku:

$$S_5 = \frac{L}{n}(n-1) = \frac{L}{n}|i_M - 1| \quad (5)$$

gde je:

i_M - broj gnezda u kom se nalazi rezni alat koji je poslednji / M -ti/ prema redosledu tehnološkog postupka.

Kod reverzibilnih sistema okretanje magacina izvodi se po najkraćem putu. U tom cilju uveden je uporedni koeficijent $D=n/2$. Proračun najkraćeg puta kretanja magacina određuje se na sledeći način:

u koliko je $|i_A - i_B| \leq D$ onda je $R_i = |i_A - i_B|$ /sl.2.a./

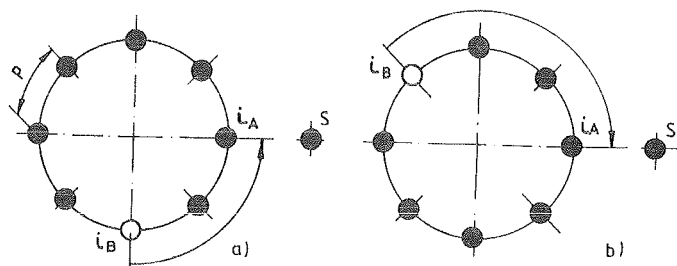
u koliko je $|i_A - i_B| > D$ onda je $R_i = n - |i_A - i_B|$ /sl.2.b./

gde je:

i_A - broj gnezda u kom se nalazi rezni alat, koje momentalno se nalazi u poziciji za promenu

i_B - broj gnezda u kom se nalazi rezni alat, koji je neophodan za sledeću operaciju.

R_i - predjeni najkraći put pri i -toj automatskoj promeni reznog alata.



Sl.2. Odredjivanje najkraćeg puta kretanja magacina.

3. OPTIMIZACIJA MESTOPOLOŽAJA REZNOG ALATA U MAGACINU

Kod svih sistema /za automatsku promenu reznog alata/ dominantan je zahtev najkraćeg vremena za APRA. Jedan od načina za ispunjavanje tog zahteva je odredjivanje najkraćeg ukupnog puta kretanja magacina 'S' u toku automatskog tehnološkog ciklusa. Veličina 'S' zavisi od mestopoložaja reznog alata u magacinu. Uobičajeno je raspored reznog alata u magacinu da odgovara redosledu tehnološkog postupka. Međutim u koliko ukupan broj neophodnih reznih alata 'm' je manji od ukupnog broja APRA 'M' u toku automatskog tehnološkog postupka, onda postavlja se pitanje rasporeda reznih alata u magacinu, vodeći pri tom računa o minimizaciji ukupnog vremena za APRA. Odredjivanje najkraćeg vremena - puta svodi se na premeštanje reznih alata u magacinu sa i-tog na i+1-vo gnezdo i proračun ukupnog puta S, pri čemu se usvaja onaj razmeštaj reznih alata koji obezbeđuje najkraći put. Ako sa 'n' označi se ukupan broj gnezda u magacinu, a sa 'm' ukupan broj reznih alata neophodnih u toku automatskog tehnološkog ciklusa, onda ukupan broj permutacija iznosi:

$$N = n! \quad \text{za } m \leq n \quad (6)$$

Kod obradnih centara sa diskovim magacinom reznih alata prosečan broj gnezda je 40 /1/. Uzimajući to u obzir, proizlazi da je ukupan broj permutacija $N=40! = 8.1591528 \times 10^{47}$, što je teoretski nemoguće ostvariti u dogledno vreme. Sa ciljem da se smanji ukupan broj permutacija, nameće se izvodjenje premeštaja reznih alata u magacinu u k-torkama /3/. U tom slučaju ukupan broj permutacija iznosi:

$$N = \left(\frac{n}{k}\right)! \quad (7)$$

Međutim i ovo je praktično neostvarljivo u dogledno vreme za k=2 i 3. U tom smislu predloženo je /3/ da se od nekoliko mogućih logičkih varijanata razmeštaja reznih alata u magacinu, izabere ona, koja obezbeđuje najkraći put, što je samo približno rešenje. Sa ciljem da se dodje do tačnijeg rezultata odnosno optimalne varijante, zahvaljujući primeni kompjutera, predloženi sistem za optimizaciju sl.3., bazira na nepromenljivosti re-

dosleda tehnološkog postupka (Tabela 2.) i uvođenju koeficienata postupnosti primene reznih alata u toku obrade (Tabela 1.).

Tabela 1.

Početna varijanta razmeštaja reznih alata u magacinu			
Broj gnezda u magacinu	Sadržaj gnezda u magacinu 'kod' reznog alata	Koeficient	
		Postupnosti	Nepromenljivosti
1.	1	0101	1
2.	0	0102	1
3.	3	0103	1
4.	0	0104	1
5.	5	0201	0
6.	6	0202	0
7.	7	0203	0
8.	8	0301	0
9.	9	0302	0
10.	10	0303	0
.	.		0
.	.	$K_i K_j$	0
.	.		0
.	.		0
n-2.	m-2		0
n-1.	m-1		0
n.	m		0

Tabela 2.

Podaci o redosledu tehnološkog postupka	
Ukupan broj i redosled APRA u toku automatskog tehnološkog ciklusa	'Kod' reznog alata prema redosledu tehnološkog postupka
1	1
2	3
3	5
4	6
5	7
6	8
7	.
8	.
9	.
10	.
.	.
.	n-2
.	n-1
.	n
.	5
M	n

Najkraći put kretanja magacina u toku APRA ostvaruje se u koliko svaki rezni alat nalazi se u magacinu jedan iza drugog i to po redosledu tehnološkog postupka, a svaki rezni alat koristi se samo jedanput. To znači da pri svakoj APRA magacin se okreće za dva koraka pri vadjenju alata i jedan korak pri postavljanju alata u magacin i glavno vreteno (sl.1.).

Medjutim u koliko se neki rezni alati koriste više puta u toku obrade, onda postavlja se pitanje njihovog optimalnog položaja u magacinu obezbeđujući najkraći put kretanja magacina.

U tom smislu imajući u vidu konstataciju da redosledni razmeštaj reznih alata jedan iza drugog u saglasnosti sa redosledom tehnološkog postupka, obezbeđuje najkraći put kretanja magacina, kao i težnju da se smanji ukupan broj mogućih permutacija razmeštaja reznih alata, čime bi se ovaj problem učinio rešivim, a da pri tom navedeni redosled tehnološkog postupka ostane nepromenjen, uveden je koeficient postupnosti koji je definisan kao kombinacija od dva dvocifrena broja. Prvi dvocifreni broj K_i definiše ukupan broj blokova gnezda - reznih alata, koji u toku automatskog tehnološkog ciklusa pojavljaju se uvek u istoj celini, sa nepromenljivom postupnošću primene reznih alata u svakom bloku. Ovaj broj K_i učestvuje u određivanju ukupnog broja permutacija:

$$N = (K_i - C)! \quad K_i = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

gde je:

C - broj koji dobija vrednost 1 ili 0 i označava dali prvi rezni alat/blok gnezda prema redosledu tehnološkog postupka da učestvuje pri razmeštaju reznih alata u magacinu (C=0) ili ne (C=1).

Drugi dvocifreni broj K_j definiše ukupan broj postupnih reznih alata u svakoj celini (bloku gnezda).

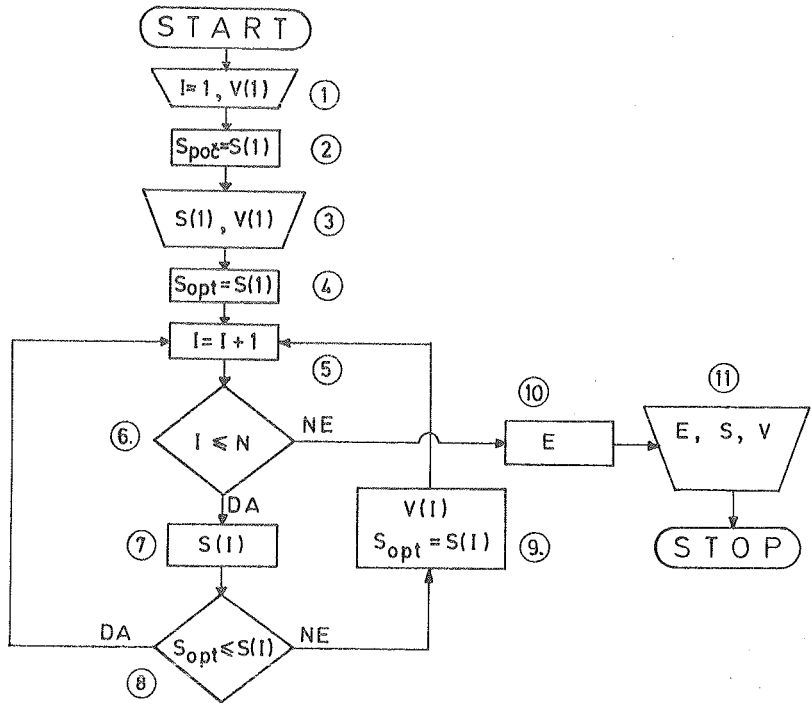
Efektivnost optimizacije u odnosu na početnu varijantu razmeštaja reznih alata u magacinu izražava se na sledeći način:

$$E = \frac{S_{\text{poč}} - S_{\text{opt}}}{S_{\text{poč}}} \cdot 100 \text{ \%}$$

gde je:

$S_{\text{poč}}$ - ukupan put kretanja magacina pri APRA u početnoj varijanti razmeštaja reznih alata u magacinu.

S_{opt} - optimalni put kretanja magacina pri APRA.



Sl.3. Sistem za optimizaciju razmeštaja reznih alata u magacinu.

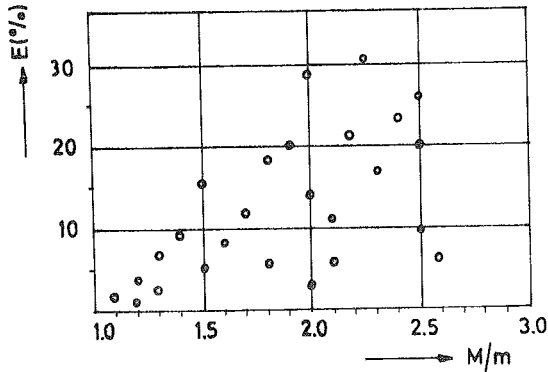
Objašnjenje sl.3.:

1. - Učitavanje početne varijante razmeštaja reznih alata u magacinu V(1).
2. - Proračun ukupnog predjenog puta kretanja magacina $S_{\text{poč}} = S(1)$.
3. - Štampanje ukupnog puta kretanja magacina S(1) i početne varijante V(1).

4. - Usvajanje $S_{opt} = S(I)$.
5. - Sledeća varijanta razmeštaja reznih alata u magacinu.
6. - Provera, dali je broj tekuće varijante manji od ukupno mogućeg broja varijanata.
7. - Proračun ukupnog predjenog puta magacina $S(I)$ pri $I=I+1$.
8. - Provera, dali je $S_{opt} \leq S(I)$.
9. - Usvajanje varijante koja obezbedjuje najmanji predjeni put $S_{opt} = S(I)$.
10. - Proračun efektivnosti optimizacije E.
11. - Štampanje efektivnosti E, predjenog najkraćeg puta S i optimalne varijante razmeštaja reznih alata u magacinu V.

4. REZULTATI OPTIMIZACIJE

Navedeni sistem za optimizaciju razmeštaja reznih alata u magacinu primenjen je u realizaciji djelova kućišta iz proizvodnog programa RO "FAM" MZT - Skopje, čiji rezultati prikazani su na sl.4.



Sl.4. Efektivnost optimizacije razmeštaja reznih alata u magacinu

Na sl.4. efektivnost optimizacije je u funkciji odnosa između ukupnog broja automatskih promena 'M' i neophodnih reznih alata 'm' u toku automatskog tehnološkog ciklusa.

Iz dijagrama na sl.4. može se uočiti da se efektivnost optimizacije povećava sa povećanjem koeficijenta M/m , tako da već pri $M/m=2$ dostiže se skraćenje ukupnog puta kretanja magacina reznog alata za 30%, a time i ukupno vreme neophodno za APRA u toku automatskog tehnološkog ciklusa.

5. ZAKLJUČAK

U uvodnom djelu ovog rada navedeno je više načina skraćivanja vremena za APRA. Prva četiri mogu se realizovati u stadijumu projektovanja i prouzrokuju određena investiciona ulaganja. Predloženi način skraćivanja vremena za APRA u ovom radu koristi sasvim drugačiji pristup, koji se može primeniti i kod već izvedenih sistema, ne zahteva izmenu konstrukcije, režima rada, odnosno posebna investiciona ulaganja, a postiže se skraćivanje vremena za APRA - skraćenje ukupnog puta kretanja magacina i do 30%.

Još bolje rezultate mogu se ostvariti u koliko u sistem za optimizaciju razmeštaja reznih alata uvede se i koeficient neuramnoteženosti sistema. Time postiglo bi se smanjenje uticaja momenata neuramnoteženosti na promenu zakona kretanja magacina i povećanje pouzdanosti sistema.

LITERATURA

- /1/ Кузиновски М. Дефинирање оптимални системи за автоматска измена на резните алати применети кај обработувачките центри со нумеричко управување. Магистерска работа. Машински факултет, Скопје 1986 г.
- /2/ Трајковски С., Кузиновски М. Анализа и класификација САИРА код обрадних центара. Научни симпозијум, Крагујевац 1985 г.
- /3/ Власенков А.В., Наянзин Н.Г., Раздобреев А.Х. Оптимизација размешенија инструменгов в магацине многооперационог станка. Станки и инструмент.1, 1984, с.12 - 13.
- /4/ Mattheis M., Wissert Th. Flexible werkzeugplatzkodierung für bedienerarmes automatisiertes Fertigen mit NC - Maschinen. WT - Zeitschrift für industrielle Fertigung, 1983, N^o 10, s.651-654,

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

ISTRAŽIVANJE EFEKATA OSLOJAVANJA REZNE IVICE
ALATA POSTUPKOM ELEKTROVARNIČENJA

ERFORSCHUNG DER EFFEKTE VON WERKZEUG -
SCHNEIDKANTENBESCHICHTUNGEN DURCH
ELEKTROFUNKENVERFAHREN

F. Janoši RO. SEVER, INDUSTRIJA ELEKTRIČNIH MAŠINA
R. Djukanov UREDJAJA I AGREGATA, 24000 Subotica, Jugoslavija

Ključne reči: SAŽETAK: Primenu alata od brzoreznih čelika u obradi metala rezanjem prati veoma izražena problematika postojanosti i ukupnog veka trajanja. Ovo se posebno manifestuje na savremenim mašinama, koje rade sa znatno intenzivnijim režimima obrade u odnosu na klasične. Zbog toga je u R.O. SEVER u Subotici pokrenuta inicijativa za poboljšanje karakteristika alata od brzoreznih čelika, pri čemu je odabran metod oslojavanja rezne ivice alata elektrovarničenjem. U ovom radu se izlažu postignuti efekti oslojavanja reznih alata ispitanih u pogonskim uslovima.

Schlüsselworte: ZUSAMMENFASSUNG: Die Anwendung von Werkzeugen aus Schnellstählen in der Metallbearbeitung durch Zerspannung begleitet eine sehr ausgeprägte Problematik der Standzeit und Gesamtlebensdauer. Dies manifestiert sich besonders bei den modernen Maschinen, die mit wesentlich intensiveren Bearbeitungs-regimen im Vergleich zu den klassischen arbeiten. Aus diesem Grunde wurde in der Firma SEVER in Subotica eine Initiative zur Verbesserung der Eigenschaften von Schnellstahlwerkzeugen angeregt, wobei eine Methode zur Werkzeugschneidkantenbeschichtung durch Elektrofunkenerwählt wurde. In diesem Werk werden die bei der Beschichtung von Zerspanungswerkzeugen erzielten und in Betriebsbedingungen geprüften Effekte erörtert.

1. UVOD

Danas su prema materijalima alata postavljeni veoma visoki zahtevi u pogledu žilavosti, tvrdoće odnosno otpornosti na habanje, kao osnovnog kriterijuma za postojanost alata. Postupkom nanošenja tvrdog materijala elektrovarnicama na jedan veoma žilav osnovni materijal, ispunjavaju se gore navedeni zahtevi. U stručnoj literaturi, ovaj postupak oslojavanja tvrdim materijalom je poznat pod imenom očvršćivanje elektrovarnicama, perkusioni postupak, obrada elektrovarnicama.

U ovom radu je prikazan metod i rezultat istraživanja efekata oslojavanja rezne ivice alata, pri čemu je za oslojavanje korišćen uredjaj zapadnonemačke proizvodnje pod nazivom "tucadur 2000".

Postupak oslojavanja (5) ovim uredjajem je sledeći:

Kada se uključi uredjaj i elektrodom dotakne površina na koju se želi naneti sloj, praznjenjem energije sa dotične elektrode se odvajaju molekularni delovi wolframkarbida, koji se ubrzavaju i velikom brzinom difundiraju u površinu koja se namerava zaštititi pomoćnim slojem.

Molekularni delovi wolframkarbida sa osnovnim materijalom obrazuju izvanredno tvrd sloj, čija tvrdoća može da dostigne i 82 HRC. Regulisanje debljine sloja od 2 do 40 μm , se vrši podešavanjem uređaja bezstupnjevito, pri čemu površina sloja poseduje hrapavost, koja kod najfinijeg podešavanja može da dostigne $Ra=1,6 \mu\text{m}$. Treba napomenuti da cilj istraživanja nije bio da se ispita postupak i tehnologija oslojavanja, već da se utvrdi efekat oslojavanja rezne ivice alata i da se dokaže, da je primena ove vrste tehnologije, odnosno obrade elektrovarnicama opravdana kod održavanja reznih alata.

2. ISPITIVANJE EFEKATA OSLOJAVANJA REZNE IVICE GLODALA ZA ŽLJEBOVE

Primena glodala za žljebove od brzoreznog čelika, presvučenih tvrdim materijalom na reznim ivicama, ima za cilj, da se poveća produktivnost i ekonomičnost rada na operacijama glodanja žljeba povećanjem veka trajanja, pri istim uslovima obrade. U ovom odeljku je prikazan metod i rezultat ispitivanja, koje je izvedeno u pogonskim uslovima, na osnovu kojeg je ocenjen efekat oslojavanja.

Uslovi ispitivanja

Ispitivanje efekata oslojavanja je izvedeno pod sledećim uslovima uz korišćenje sledećih sredstava:

Alat: Vretenasto glodalo za žljebove, od brzoreznog čelika HSS, desnorezni, F.R.A. Čačak, $\emptyset 6$ JUS.K.D2.110A (DIN:327A) Tip: N

Materijal: Č.4171.1 (DIN:X15 Cr13) Prokron 2, termički pripremljen žarenjem, tvrdoće po Brinellu 200 HB.

Dimenzije žljeba: Širina 6N9
Dubina 3,7 mm
Dužina 20 mm

Uzorak: Vratilo elektromotora $\emptyset 20 \times 215$ mm

Traženi kvalitet obradjene površine: $Ra=3,2 \mu\text{m}$

Mašina: Specijalna glodalica za žljebove FNW 32x500

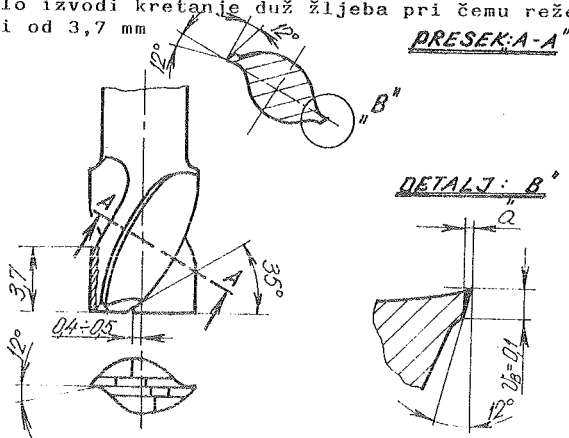
Pribor: Specijalni pomoćni alat za stezanje

Sredstvo za podmazivanje i hladjenje: Emulzija od INE Tip: BU-5

Sredstvo za kontrolu žljeba: Tolerancijsko merilo za žljeb (Širina žljeba zavisi od prečnika reznog dela glodala, koji se izradjuje u toleranciji e8)

Kriterijum habanja: Dozvoljena širina pojasa habanja na lednoj površini obimnih sečiva iznosi $VB=0,1$ mm.

Način rada: Glodalo izvodi kretanje duž žljeba pri čemu reže na punoj dubini od 3,7 mm



Slika br.1

Uglovi rezanja kod glodala za žljeb

Metod i rezultati ispitivanja

Nakon pripreme eksperimenata izvršeno je uporedno ispitivanje postojano-
sti glodala za žljebove, sa oslojenim i neoslojenim reznim ivicama, pri
konstantnom posmaku po zubu $SZ_1 = SZ_2 = 0,018$ mm/zubu. Uz primenu dveju raz-
ličitih brzina rezanja, glodala su korišćena do određenog kriterijuma
habanja po ledjnoj površini koje je iznosilo $VB = 0,1$ mm.

Rezultati ispitivanja, pri navedenim režimima obrade su prikazani u tabeli
br.1 i tabeli br.2.

Tabela br.1 Rezultati ispitivanja pri brzini rezanja $V = 21,1$ m/min

	Oslojena rezna ivica	Neoslojena rezna ivica
Pomoćna brzina (mm/min)	$S_1 = 40$	$S_1 = 40$
Posmak po zubu (mm/zub)	$SZ_1 = 0,018$	$SZ_1 = 0,018$
Vreme obrade (min)	$t_1 = 0,35$	$t_1 = 0,35$
Broj obrtaja (min^{-1})	$n_1 = 1120$	$n_1 = 1120$
Brzina rezanja (m/min)	$v_1 = 21,1$	$v_1 = 21,1$
Postojanost (min)	$T_1 = 40,2$	$T_1 = 27,7$

Tabela br.2 Rezultati ispitivanja pri brzini rezanja $V = 26,4$ m/min

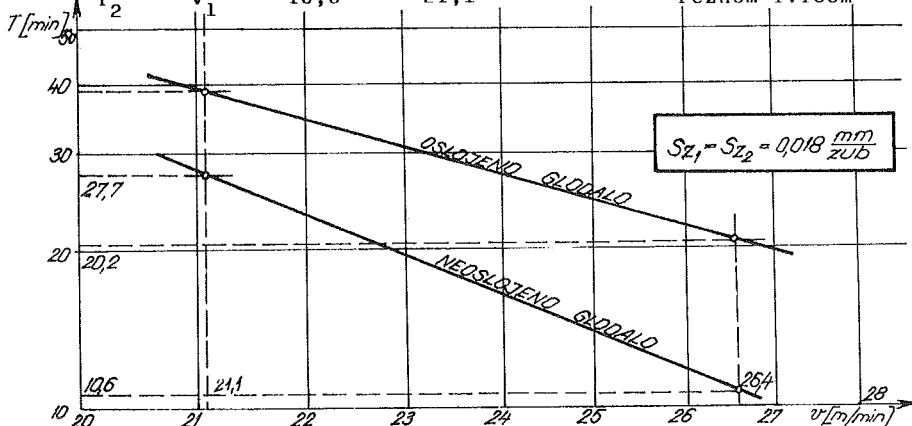
	Oslojena rezna ivica	Neoslojena rezna ivica
Pomoćna brzina (mm/min)	$S_2 = 50$	$S_2 = 50$
Posmak po zubu (mm/zub)	$SZ_2 = 0,018$	$SZ_2 = 0,018$
Vreme obrade (min)	$t_2 = 0,28$	$t_2 = 0,28$
Broj obrtaja (min^{-1})	$n_2 = 1400$	$n_2 = 1400$
Brzina rezanja (m/min)	$v_2 = 26,4$	$v_2 = 26,4$
Postojanost (min)	$T_2 = 20,2$	$T_2 = 10,6$

Nakon analize rezultata pristupilo se određivanju eksponenta postojano-
sti alata za oba slučaja, (3)

a) za glodalo sa oslojenom reznom ivicom

$$\left(\frac{T_1}{T_2} \right)^m = \frac{v_2}{v_1} \quad \left(\frac{40,2}{20,2} \right)^m = \frac{26,4}{21,1} \quad m = 0,33$$

b) $\left(\frac{T_1}{T_2} \right)^m = \frac{v_2}{v_1}$ $\left(\frac{27,7}{10,6} \right)^m = \frac{26,4}{21,1}$ $m = 0,23$ Za glodalo sa neoslojenom
reznom ivicom



Slika br.2. T-v dijagram za oslojeno i neoslojeno glodalo

Na osnovu ovoga se vidi da je eksponent postojanosti alata za glodalo sa oslojenom reznom ivicom za 43% veće u odnosu na isti eksponent za glodalo sa neoslojenom reznom ivicom.

Proračun ekonomskog perioda rezanja i efekata oslojavanja

Uzimajući u obzir troškove obrade po elementarnoj operaciji glodanja žljeba, ekonomski period rezanja može da se izračuna prema sledećoj poznatoj jednačini (2) (3):

$$T_e = \frac{(1 - l)}{m} \left(ts + \frac{a_A}{a_M} \right)$$

gde je:

- T_e (min) - ekonomski period rezanja
 - a_A (din) - troškovi vezani za obnavljanje oštrice alata
 - a_M (din/min) - troškovi vezani za eksploataciju mašine i za lične dohotke
 - ts (min) - vreme potrebno za skidanje i ponovno nameštanje alata kao i ponovno regulisanje mašine
 - m - eksponent postojanosti alata
- Troškovi koji se javljaju kod neoslojenog alata su definisani izrazom: (1)

$$a_{AB} = \frac{C_{AB} + i(1 + Ra) \cdot t_o \cdot S_o}{1 + i} \text{ (din)}$$

dok kod oslojenog alata važi sledeća jednačina, (3)

$$a_{AT} = \frac{C_{AT} + (i \cdot t_o \cdot s_o + i' \cdot t_1 \cdot S_1 + i'' \cdot t_2 \cdot S_2) \cdot (1 + Ra)}{1 + i} \text{ (din.)}$$

Za troškove vezane za eksploataciju mašine i za lične dohodke važi izraz: (1)

$$a_M = M_1 + \frac{S_2}{N_2} + \frac{S_3}{N_3} \text{ (din/min)}$$

gde je:

M_1 (din/min) - direktni trošak vezan za eksploataciju mašine

$$M_1 = \frac{1}{60} \left(\frac{C_M \cdot P_M}{100 F_M \cdot K_M} + \frac{C_p \cdot P_p}{100 F_p \cdot K_p} + \frac{C_R}{F_M \cdot K_M} \right)$$

U tabeli br.3 su navedeni podaci potrebni za izračunavanje ekonomskog perioda rezanja za oba slučaja.

Tabela br.3 Podaci za proračun ekonomskog perioda rezanja

Naziv podataka	Za oslojenu reznom ivicu	Za neoslojenu reznom ivicu
C_A (din) Trošak vezan za nabavku alata	930	930
i^A - Broj mogućih oštrenja alata	1	1
i' - Broj oslojavanja alata	2	2
Ra - Koefficient režijskih troškova alatnice	0,8	0,8
t_o (min) Vreme potrebno za oštrenje alata	25	25
S_o (din/min) Troškovi vezani za lični dohodak oštrača	11	11

Nastavak tabele na sledećoj strani

Nastavak tabele br.3

S ₁	(din/min) Troškovi vezani za lični dohodak radnika koji vrši oslojavanje	5,3	-
S _E	(din/min) Ostali troškovi oslojavanja	2	-
C ^E _M	(din) Cena mašine	25.000.000	25.000.000
P ^M _M	(%) Stopa amortizacije mašine	12,5	12,5
F ^M _M	(čas) Godišnji fond radnih časova za mašinu (dve smene)	3780	3780
K _M	-Stepen iskorišćenja mašine	0,8	0,8
C _P	(din) Cena pribora	200.000	200.000
P _p	(%) Stopa amortizacije pribora	25	25
F _p	(čas) Godišnji fond radnih časova za pribor	3780	3780
K _p	-Stepen iskorišćenja pribora	0,80	0,80
C _{SR}	(din)-Troškovi održavanja	2.500.000	2.500.000
S ₂	(din/min) Troškovi vezani za lični dohodak operatera	10	10
N ₂	-Broj mašina sa kojima se istovremeno rukuje	1	1
S ₃	(din/min) Troškovi vezani za lični dohodak radnika-podešivača	-	-
N ₃	-Broj mašina koje podešava radnik-podešivač	-	-
tp	(min) Pomoćno vreme	0,5	0,5
ts	(min) Vreme zamene alata	5	5
z _{ti}	(min) Razni vremenski gubici	0,5	0,5

Uzimajući u obzir u tabeli br.3 navedene podatke, pristupilo se izračunavanju ekonomskog perioda rezanja za oba slučaja:

a) Za glodalo sa neoslojenom reznom ivicom

$${}^a_{AB}=712,5 \text{ din.} \quad MB=31,28 \text{ din/min} \quad {}^a_{MB}=41,28 \text{ din/min}$$

$$Te_B = \left(\frac{1}{0,23} - 1 \right) \cdot \left(5 + \frac{712,5}{41,28} \right) = 74,5 \text{ min}$$

b) Za glodalo sa oslojenom reznom ivicom

$${}^a_{AT}=843,9 \text{ din} \quad MT=31,28 \text{ din/min} \quad {}^a_{MT}=41,28 \text{ din/min}$$

$$Te_T = \left(\frac{1}{0,33} - 1 \right) \cdot \left(5 + \frac{843,9}{41,28} \right) = 51,6 \text{ min.}$$

Na osnovu poznatih ekonomskih perioda rezanja mogu se izračunati odgovarajuće brzine rezanja:

a) Za glodalo sa neoslojenom reznom ivicom

$$Vo_B = v_1 \left(\frac{T}{Te_B} \right) m = 21,1 \left(\frac{27,7}{74,5} \right)^{0,23} = 16,8 \text{ m/min.}$$

b) Za glodalo sa oslojenom reznom ivicom

$$Vo_T = v_1 \left(\frac{T}{Te_T} \right) m = 21,1 \left(\frac{40,2}{51,6} \right)^{0,33} = 19,4 \text{ m/min}$$

Analizirajući rezultate ispitivanja može se zaključiti da sa aspekta troškova obrade, ekonomična brzina rezanja pri obradi sa oslojenim glodalom iznosi $Vo_T=19,4$ m/min, što znači povećanje oko 15,5% u odnosu na ekonomičnu brzinu rezanja pri upotrebi glodala sa neoslojenim reznim ivicama, a istovremeno i povećanje produktivnosti rada.

Ako se primeni ekonomična brzina rezanja za glodalo sa oslojenom reznom ivicom $Vo_T=19,4$ m/min i $Vo_B=16,8$ m/min za glodalo sa neoslojenom reznom ivicom, onda troškovi obrade iznose:

a) Za glodalno sa neoslojenom reznom ivicom

$$n_B = \frac{1000 \cdot v_{oB}}{D \cdot \pi} = \frac{1000 \cdot 16,8}{6 \cdot \pi} = 891,8 \text{ min}^{-1}$$

$$\text{Usvaja se } n_B = 900 \text{ min}^{-1} \quad (v_B = 16,9 \text{ m/min})$$

Pomoćna brzina je:

$$S_B = S_Z \cdot Z \cdot n_B = 0,018 \cdot 2 \cdot 900 = 32,4 \text{ mm/min. Usvaja se } S_B = 31,5 \text{ mm/min.}$$

Glavno vreme izrade je:

$$t_{gB} = \frac{L}{S_B} = \frac{24}{31,5} = 0,76 \text{ min. } L = L_1 + l_1 + l_2 = 5 + 14 + 5 = 24 \text{ mm}$$

Broj izradjenih komada do zatupljenja ošttrice iznosi:

$$N_B = \frac{T_e}{t_{gB}} = \frac{74,5}{0,44} = 169 \text{ (kom.)} \quad t_{gB}' = \frac{L}{S_B} = \frac{14}{31,5} = 0,44 \text{ min}$$

Troškovi obrade vezani za alat svedeni na jedan žljeb su:

$$a_{A1} = \frac{a_{AB}}{N_B} = \frac{712,5}{169} = 4,21 \text{ din/kom.}$$

Vreme trajanja elementarne operacije je:

$$t_{zB} = t_{gB} + t_p + \frac{t_s}{N_B} + \leq t_i = 0,76 + 0,5 + \frac{5}{169} + 0,5 = 1,79 \text{ min.}$$

Troškovi obrade vezani za mašinu i lične dohotke svedeni na komad su:

$$a_{M1} = a_{MB} \cdot t_{zB} = 41,28 \cdot 1,79 = 73,9 \text{ din/kom.}$$

Ukupni troškovi obrade svedeni na žljeb su:

$$U_B = a_{A1} + a_{M1} = 4,21 + 73,9 = 78,1 \text{ din/kom.}$$

b) Za glodalno sa oslojenom reznom ivicom

$$n_T = \frac{1000 \cdot v_{oT}}{D \cdot \pi} = \frac{1000 \cdot 19,4}{6 \cdot \pi} = 1029,7 \text{ min}^{-1}$$

$$\text{Usvaja se } n_T = 1120 \text{ min}^{-1} \quad (v_T = 21,1 \frac{\text{m}}{\text{min}})$$

Pomoćna brzina je:

$$S_T = S_Z \cdot Z \cdot n_T = 0,018 \cdot 2 \cdot 1120 = 40,32 \text{ mm/min Usvaja se } S_T = 40 \text{ mm/min}$$

Glavno vreme izrade je:

$$t_{gT} = \frac{L}{S_T} = \frac{24}{40} = 0,6 \text{ min}$$

Broj izradjenih komada do zatupljenja ošttrice iznosi:

$$N_T = \frac{T_e}{t_{gT}} = \frac{40,2}{0,35} = 115 \text{ kom.} \quad t_{gT}' = \frac{L}{S_T} = \frac{14}{40} = 0,35 \text{ min}$$

Troškovi obrade vezani za alat svedeni na jedan žljeb su

$$a_{A2} = \frac{a_{AT}}{N_T} = \frac{843,9}{115} = 7,33 \text{ din/kom.}$$

Vreme trajanja elementarne operacije je:

$$t_{zT} = t_{gT} + t_p + \frac{t_s}{N_T} + \leq t_i = 0,6 + 0,5 + \frac{5}{115} + 0,5 = 1,64 \text{ min}$$

Troškovi obrade vezani za eksploataciju mašine i lične dohotke svedeni na komad iznose:

$$a_{M2} = a_{MT} \cdot t_{zT} = 41,28 \cdot 1,64 = 67,69 \text{ din/kom.}$$

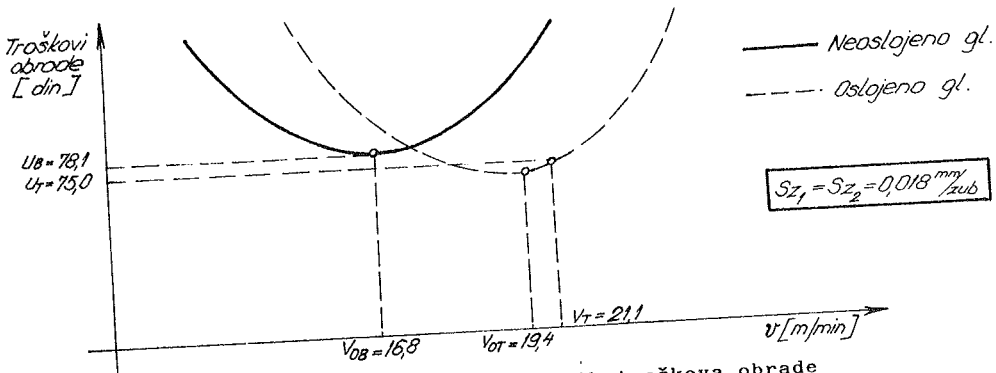
Ukupni troškovi obrade svedeni na jedan žljeb iznose:

$$U_T = a_{A2} + a_{M2} = 7,33 + 67,69 = 75,0 \text{ din/kom.}$$

Ako se pri obradi koriste brzine rezanja $v_B = 16,9 \text{ m/min}$ i $v_T = 21,1 \text{ m/min}$ približno jednake sa ekonomičnim brzinama rezanja- $v_{oB} = 16,8 \text{ m/min}$ i $v_{oT} = 19,4 \text{ m/min}$ može se primetiti da je produktivnost rada veća kod primene oslojenog alata u odnosu na primenu neoslojenog za 9,1%

$$\left(\frac{t_{zB}}{t_{zT}} = 1,091 \right) \text{ a ušteta u ukupnim troškovima obrade iznosi:}$$

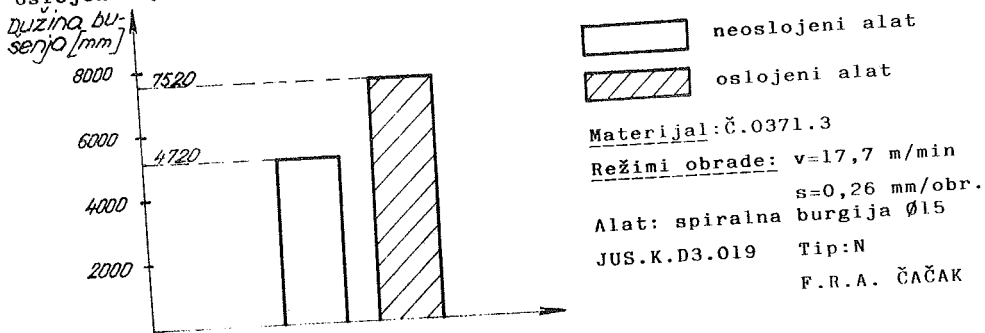
$$\Delta U = U_B - U_T = 78,1 - 75 = 3,1 \text{ din/kom.}$$



Slika br.3. Oblik grafika funkcije ukupnih troškova obrade
 3. NEKI REZULTATI ISPITIVANJA EFEKATA OSLOJAVANJA REZNE
 IVICE ALATA

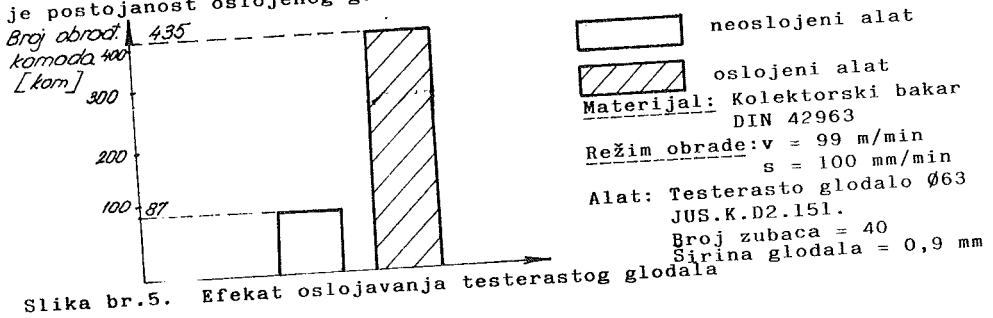
Nekoliko rezultata ispitivanja efekata oslojavanja rezne ivice alata je prikazano na dole navedenim slikama.

Efekat oslojavanja spiralne burgije $\varnothing 15$, pri obradi materijala Č.0371.3. se može videti na slici br.4. Pri eksperimentu su korišćene dve mašinski naoštrene spiralne burgije $\varnothing 15$ JUS.K.D3.019. Tip:N, od kojih je jedna bila oslojena wolfram karbidom. Iz rezultata se vidi da je postojanost oslojena spiralne burgije 1,59 puta veća u odnosu na neoslojenu.



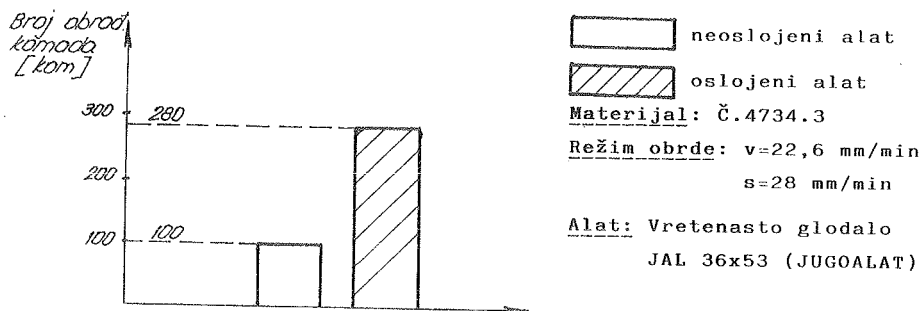
Slika br.4 Efekat oslojavanja spiralne burgije

Pri glodanju kolektorskog bakra DIN 42963 oslojenim testerastim glodalom $\varnothing 63$ dobiveni rezultati, prikazani su na slici br.5. Pri ispitivanju su korišćena dva testerasta glodala od brzoreznog čelika JUS.K.D2.151, od kojih je jedna bila oslojena wolfram karbidom. Iz rezultata se vidi, da je postojanost oslojenog glodala pet puta veća od neoslojenog.



Slika br.5. Efekat oslojavanja testerastog glodala

Na slici br.6 je prikazan efekat oslojavanja vretenastog glodala $\varnothing 36$. Pri glodanju Č.4734 je ustanovljeno da je pri istim uslovima obrade postojanost oslojenog alata 2,8 puta veća nego kod neoslojenog.



Slika br.6. Efekat oslojavanja vretenastog glodala

4. ZAKLJUČAK

Iz rezultata istraživanja se može zaključiti da se primenom alata sa oslojenim reznim ivicama povećava produktivnost rada u odnosu na neoslojene alate, pri čemu se postiže i neznatna ušteda u troškovima obrade. Ovim je dokazano da je primena ove tehnologije, odnosno oslojavanja rezne ivice alata postupkom elektrovarničenja, kod održavanja reznih alata opravdana.

Literatura

- (1) Stanić J., Matematičke osnove tehnoekonomske optimizacije obradnih procesa, Beograd, 1976.
- (2) Die Berechnung der Kostengünstiger Standzeit, WIDIA Technische Information, TI-12 10099, 1970
- (3) Váltólapkás és egyéb forgácsoló szerszámok, Gépgyártástechnológia, XIV évfolyam, 12 sz, 1974.
- (4) Horváth M, Somló J, A forgácsoló megmunkálások optimalása és adaptív irányítása, Budapest, 1979.
- (5) S.Vaidyanathan M, Schlauer, Elektrofunkenverfestigung von Werkzeugschneiden, Kurzberichte der Hochschul gruppe Fertigungstechnik, Stuttgart, 1971.

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

REZULTATI ISPITIVANJA I PRIMENE REZNIH ALATA PRESVUČENIH PREVLAKOM TiN
THE RESULTS OF TESTS AND APPLICATION OF CUTTING TOOLS COATED WITH TiN

D.Erić SOUR "Sloboda", RO FNP, RZ-I RAZVOJ
 32000 Čačak, Jugoslavija

M.Lučić Tehnički remontni zavod
 32000 Čačak

Ključne reči: REZIME: U radu su dati rezultati ispitivanja nekih reznih alata presvučenih slojem TiN. Upotrebom ovakvih alata i u toku ispitivanja i u uslovima serijske proizvodnje, dobili smo zadovoljavajuće rezultate kako u tehnološkom, tako i u ekonomskom aspektu njihovog korišćenja. Pokazatelji dobijeni na ovaj način, dokazuju punu opravdanost primene ovih alata i velike materijalne uštede u proizvodnom procesu, uz srazmerno mala ulaganja.

Alat
Titan-Nitrit
Rezanje

Dey words: ABSTRACT: Test results of some cutting tools coated with layer of TiN are given in the work. Using these tools during testing and in conditions of series production, we have achieved satisfactory results both in technological and economical aspect of their usage. The indicators achieved this way prove full justification of application of these tools and great material savings in production process with relatively small investments.

Tool
Titanium nitride
Cutting

1. Uvod

Poboljšanje osobina materijala je jedan od najznačajnijih zadataka u nauci materijala. Poznato je da možemo posebnim metodama nanošenja takvih prevlaka kod već poznatih materijala postići osobine superiorne dosadašnjim karakteristikama.

Zaštitni tvrdi slojevi titan nitrida (TiN) su debeli nekoliko mikrometara (2 - 5 μ m), a nanose se uz povišenu temperaturu (oko 800K) površine alata. Mikrotvrdoća slojeva TiN iznosi oko 2000 - 2600 po Vickersu. Značajan je koeficijent trenja koji je u direktnoj funkciji otpora prodiranja (Fz) i glavnog momenta (Mz), a manji je za oko 5x u kombinaciji TiN-čelik nego kod kombinacije čelik-čalik.

Prednosti alata presvučenim slojem TiN nad klasičnim su sledeće:

povećanje veka trajanja alata 100-900% (u zavisnosti od načina rada, materijala koji obradujemo, itd),

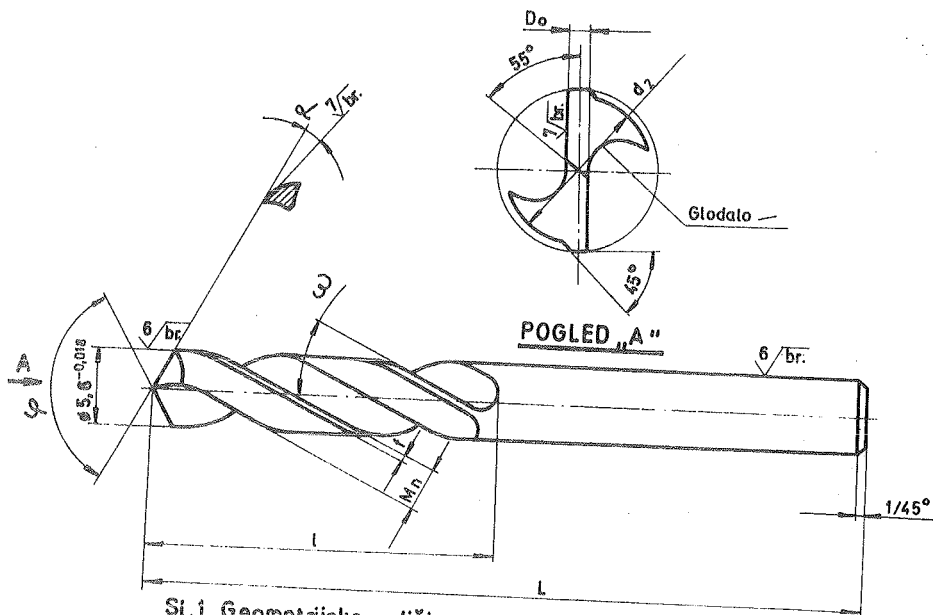
mogućnost povišenog režima rada,
smanjenje troškova proizvodnje,
velika ušteda u vremenu i materijalu,
bolji kvalitet obrade,
smanjenje uvoza alata,
uštede energije.

2.1. Rezultati ispitivanja klasičnih i spiralnih burgija presvučenih prevlakom TiN:

"Fabrika reznog alata" - Čačak je poslala izvesnu količinu reznih alata u firmu "BALZERS" - LIECHTENSTEIN da izvrše uslugu presvlačenja istih slojem titan-nitrida (TiN).

U laboratorijama FRA - Čačak su vršena uporedna ispitivanja pojedinih parametara hrpa-
vosti klasičnih i presvučenih slojem TiN spiralnih burgija dimenzija $\varnothing 5,6$.

U cilju što realnijih porednih rezultata ispitivanja, izabrane su spiralne burgije pri-
bližno istih geometrijskih veličina sa konkretnim vrednostima, datim u tabeli 1. Geome-
trijske veličine koje su se merile na alatu, prikazane su opštim oznakama na sl. 1.



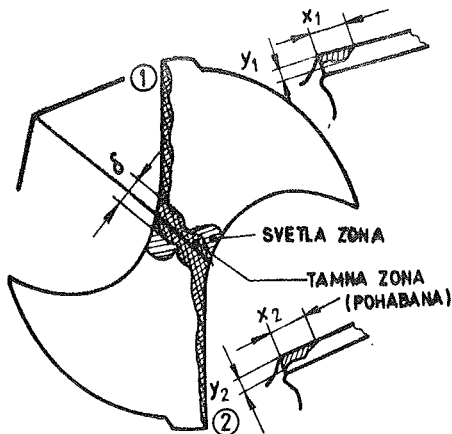
Sl.1 Geometrijske veličine spiralne burgije

U procesu bušenja pri eksploataciji spiralne burgije se habaju. Habanje spiralnih bu-
rgija se javlja po ledjnim i grudnim površinama, po glavnim sečivima, poprečnom se-
čivu i rubovima.

Dimenzije i vrsta materij. SB-je	GEOMETRIJSKE VELIČINE							zadnji konus (mm)	porast jezgra (mm)
	d_0 (mm)	f (mm)	M_n (mm)	d_2 (mm)	ψ (°)	α (°)	ω (°)		
5,6 HSS (C7680) JUS K.D3.020 (DIN 338)	1,27	0,5	3,25	4,95	119	10,5	27°45'	-0,040	1,5
5,6 HSS (C7680) JUS K.D3.020 (DIN 338)	1,07	0,5	3,15	4,95	120	9	26	-0,050	1,5
5,6 HSS-TiN JUS K.D3.020 (DIN 338)	1,065	0,45	3,13	5,00	116	12,5	25	-0,020	1,5
5,6 HSS-TiN slično: DIN 338 (L/l=100/62)	1,11	0,5	3,23	5,00	118	12	27°30'	-0,050	1,5

TABELA 1

U konkretnom slučaju pratiće se habanje poprečnog sečiva i fazeta na rubovima glavnih sečiva. Parametri pohabanosti alata koji će se meriti dati su na sl. 2 a njihove izmerene vrednosti su unete u tabele 2,3,4 i 5.



SL. 2 PARAMETRI POHABANOSTI SB

* - Veličine svetle ("gnječene") zone, prikazane na sl. 2
Uslovi pod kojima su ova ispitivanja vršena su sledeći:

Radni predmet: - materijal: Č1730
- tvrdoća: 770 N/mm² (~18 HRC)

SBVD Ø 5,6 HSS (Č.7680)
JUS K.D3.020(DIN338)

SB VD Ø 5,6 HSS.E (Č.9780)
JUS K.D3.020(DIN338)

paramet. habanja (mm)	DUBINA BUŠENJA (m)					paramet. habanja (mm)	DUBINA BUŠENJA (m)					
	2,500	5,000	7,500	8,750	11,000		2,500	5,000	7,500	8,750	11,000	12,000
X ₁	0,06	0,08	0,10	0,18	0,18	X ₁	0,05	0,07	0,09	0,12	0,20	0,36
Y ₁	0,05	0,07	0,20	0,51	0,58	Y ₁	0,045	0,06	0,43	0,51	0,53	0,60
X ₂	0,10	0,14	0,16	0,28	0,31	X ₂	0,10	0,15	0,16	0,16	0,17	0,71
Y ₂	0,07	0,09	0,18	0,18	0,50	Y ₂	0,08	0,09	0,28	0,40	0,42	0,45
δ	0,10	0,12	0,16	0,22	0,35 (1,4) *	δ	0,05	0,10	0,17	(0,20) (1,35) *	(0,35) (1,4) *	(0,50) (1,57) *

TABELA 2

TABELA 3

SB VD Ø 5,6 HSS (Č.7680)-TiN
slično DIN 338(L/l = 100/62)

SB VD Ø 5,6 HSS (7680)-TiN
JUS K.D3.020(DIN338)

paramet. habanja (mm)	DUBINA BUŠENJA (m)							paramet. habanja (mm)	DUBINA BUŠENJA (m)						
	2500	5000	7500	8750	11000	21000	21500		2500	5000	7500	8750	11000	18000	
X ₁	0,00	0,00	0,09	0,22	0,30	0,31	0,45	X ₁	0,05	0,07	0,12	0,20	0,25	0,51	
Y ₁	0,03	0,06	0,06	0,29	0,48	0,64	0,70	Y ₁	0,03	0,05	0,21	0,51	0,52	0,60	
X ₂	0,035	0,025	0,10	0,30	0,33	0,38	0,53	X ₂	0,04	0,10	0,14	0,30	0,55	0,69	
Y ₂	0,03	0,06	0,09	0,32	0,40	0,57	0,66	Y ₂	0,04	0,06	0,12	0,15	0,17	0,33	
δ	0,09	0,19	0,28	0,31 (0,74) *	0,35 (0,96) *	0,52 (1,58) *	0,59 (1,62) *	δ	0,05	0,15	0,19	0,22 (0,48) *	0,28 (0,73) *	0,35 (0,90) *	

TABELA 5

TABELA 4

Režim rada: $n = 1455 \text{ min}^{-1}$

$S = 0,138 \text{ mm/o}$

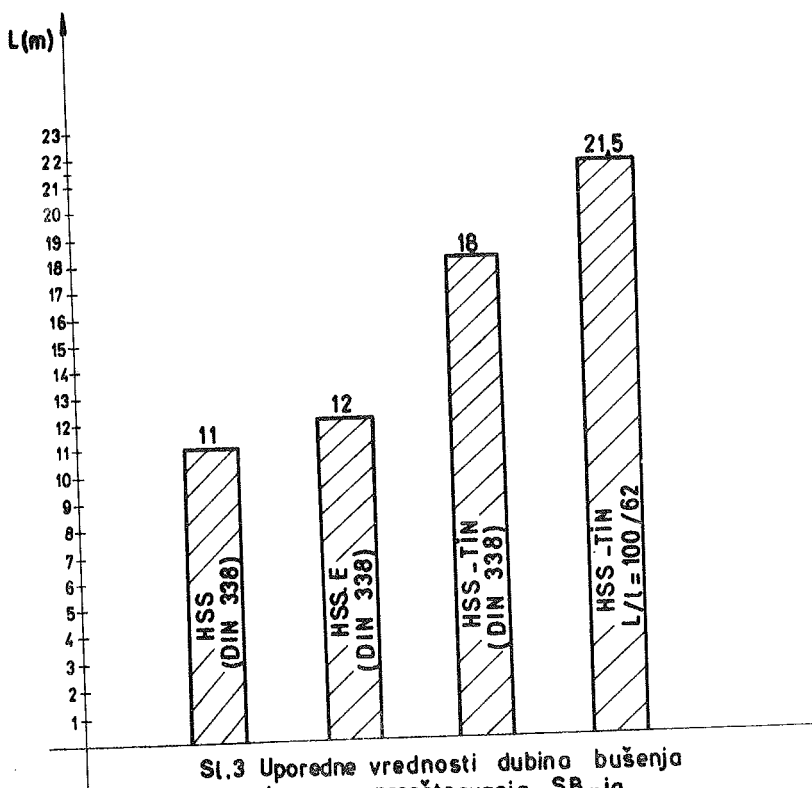
Hladjenje alata: emulzija za bušenje

Iz slike 3 se vidi da je pri istim radnim uslovima dubina bušenja sa TiN burgijom veća za oko 65% od dubine bušenja sa spiralnom burgijom od čelika Č.7680 (HSS), odnosno 50% sa spiralnom burgijom od čelika Č9780 (HSS,E).

U tabeli 6 su date praktično izmerene vrednosti otpora prodiranja (Fz) i glavnog momenta (Mz) za navedene vrste spiralnih burgija.

Uslovi pod kojima su ova merenja vršena su isti kao i oni pod kojima je vršeno i merenje parametara hrapavosti.

Iz tabele 6 se vidi da su pri istim uslovima bušenja otpor prodiranja (Fz) i glavni moment (Mz) manji kod TiN spiralnih burgija nego kod klasičnih, zbog smanjenja koeficijenta trenja između TiN površine alata i materijala koji se obrađuje.



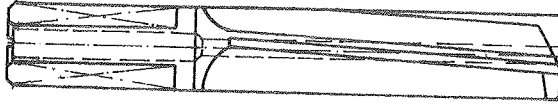
Sl.3 Uporedne vrednosti dubina bušenja do prvog preoštravanja SB-ja

Tip SB	Ø 5,6 HSS JUS K.D3.020 (DIN 338)		Ø 5,6 HSS.E JUS K.D3.020 (DIN 338)		Ø 5,6 HSS-TiN (L/l=100/62)		Ø 5,6 HSS-TiN JUS K.D3.020
	nije bušila	izbuš. 0,660m	nije bušila	izbuš. 0,660m	nije bušila	izbušila 9,240	nije bušila
Fz (N)	1040	1060	960	1020	320	940	400
Mz (Nmm)	1850	1850	1750	1750	1600	1850	150

TABELA 6

2.2. Iskustva u primeni razvrtača presvučenih prevlakom TiN u uslovima serijske proizvodnje

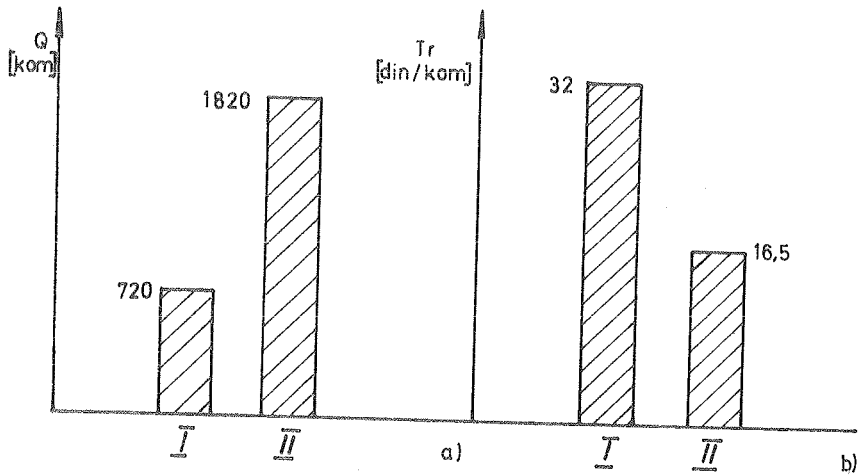
Rezultati navedeni u odeljku 1.1, bili su sasvim dovoljni razlozi da i mi u našoj RO u okviru postojećih mogućnosti počnemo sve intezivnije da se bavimo optimizacijom tehnoloških procesa. Naime u saradnji sa "Fabrikom Reznog Alata" iz Čačka ispitivali smo ponašanje reznih alata presvučenih slojem titan-nitrida. Ispitivanja su vršena sa razvrtačima klasične geometrije presvučenim slojem TiN debljine 5 µm (slika 4).



Sl. 4. Ispitivani razvrtač

Takodje, potrebno je napomenuti da se režim rada mašina (broj obrta, brzina rezanja, posmak) nisu menjali, što znači da su uslovi rada alata sa TiN bili u potpunosti isti, kao i kod klasičnih alata.

U takvim okolnostima alati sa tvrdom prevlakom TiN postigli su neuporedivo bolje rezultate koji su grafički prikazani na slikama 5a, 5b i 6.



Broj urađenih komada i troškovi alata po jednom komadu:

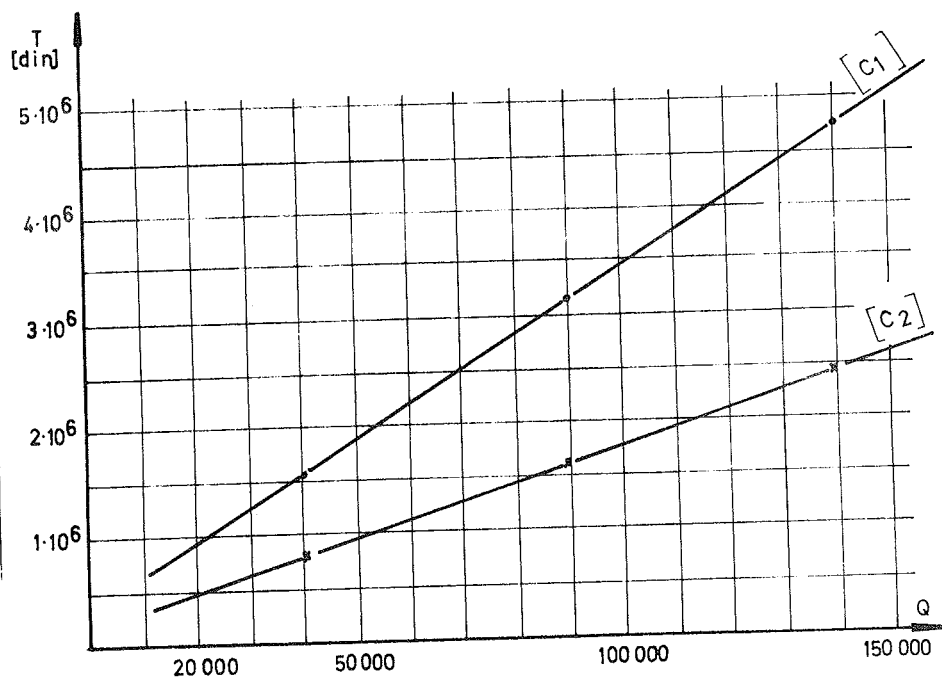
I - Sa klasičnim alatom

II - Sa alatom od Ti-N

Sl. 5

Naime, dok je alat bez prevlake mogao da obradi 720 komada, dotle je alat sa prevlakom obradivao u proseku 1820 komada, što predstavlja poboljšanje od 2,5 puta (slika 5a). Takodje, cena troškova alata svedena na jedan komad koji se obradjuje iznosi 32 dinara po komadu u slučaju upotrebe klasičnog razvrtača, odnosno svega 16,5 dinara po komadu kada se koristi alat sa navedenom tvrdom prevlakom (slika 5b). Naravno, u ove vrednosti troškova uzeta je u obzir viša nabavna cena alata sa TiN, a koja je posledica dodatnog tehnološkog procesa nabacivanja sloja tvrdog metala.

Prethodno navedene činjenice utiču da i troškovi alata u zavisnosti od veličine serije, budu znatno niži kada je reč o upotrebi alata, odnosno razvrtača sa TiN. Na slici 6 prikazana je linearna raspodela troškova alata zavisno od broja uradjenih komada. Kako su troškovi alata veoma značajna stavka u ukupnim troškovima proizvodnje, slika 6 pokazuje da se samo po ovom osnovu, odnosno upotrebom alata sa TiN, može ostvariti znatno ekonomičniji proces.



Troškovi alata u zavisnosti od veličine serije:

[C₁]-pri upotrebi klasičnih alata

[C₂]-pri upotrebi alata za Ti-N

Pored ovih ekonomskih pokazatelja, koji očito idu u prolog primene alata sa TiN, veoma su prisutni i tehnološki razlozi koji se ogledaju pre svega u boljem kvalitetu obradjene površine i mogućnosti primene oštrijih režima rada u procesu proizvodnje.

3. Zaključak

Svedoci smo izuzetno brzog razvoja mašinske tehnike i u okviru toga naročito proizvodnog mašinstva. U takvoj situaciji samo praćenje najnovijih dostignuća omogućava uspešnost proizvodnog procesa. Sve prethodno navedene činjenice i rezultati u vezi alata sa prevlakom TiN, pokazuju da se radi o tehnološkoj inovaciji koja zaslužuje posebnu pažnju, kako iz razloga veoma velikih ušteda u procesu proizvodnje, tako i zbog jednostanosti njene primene.

LITERATURA:

- /1/ Erić D., Marić M., Optimizacija tehnološkog procesa primenom nove kombinovane tehnologije i uporedni pokazatelji proizvodnosti starog i novog postupka, Zbornik V Jugosl.simpozijuma, Nove tehnologije u strategiji tehnološkog razvoja industrije prerade metala, Cavtat, 1986.
- /2/ Navinšek B., Trde zaštitne prevlake in povečanje življenjske dobe orodij, Tiskarna Ljubljana, Ljubljana 1984.
- /3/ Katalozi Fabrike Reznog Alata, Čačak

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

OPTIMIZACIJA PARAMETARA ODVALNOG GLODALA

OPTIMISATION DES PARAMÈTRES DE L'OUTIL POUR LE FRAISAGE HÉLICOÏDAL

V. Prusina: Mašinski fakultet Mostar, Univerzitet "Dž. Bijedić", 88000 Mostar
Jugoslavija

S. Kulagić: Lenjinovo šetalište, 10 - 88000 Mostar.

Ključne riječi: SAŽETAK: Za racionalnu eksploataciju alata veoma je bitan pravilan izbor parametara alata za željeni efekat.
Glodalo U cilju dobivanja optimalnih parametara alata, u okviru ovog rada, formiran je optimizacioni model, u kojem je kao kriterij optimalnosti uzeta
Parametar tačnost izrade, a potom je na računaru izvršena realizacija optimizacionog
Model modela.
Računar

Mots clets: RESUME: Pour une exploitation rationnelle de l'outil il est essentiel de
la fraise choisir correctement des paramètres de l'outil pour l'effet voulu.
le parametre En vue d'obtenir des paramètres optimaux de l'outil dans le cadre de ce
le modele travail on a formé un modèle optimisant, dans lequel comme critère de
l'ordinateur l'optimité on a pris l'exactitude de l'élaboration, après quoi on a fait
sur l'ordinateur la réalisation du modèle optimisant.

1. U V O D

Veoma veliki broj zupčanika izradjuje se po metodi relativnog kotrljanja. U toj masovnoj proizvodnji zupčanika angažovan je i veliki broj odvalnih glodala. Tačnost izrade zupčanika odvalnim glodanjem u direktnoj je ovisnosti od geometrijskih i konstruktivnih parametara odvalnog glodala i ima širi značaj u kompleksnoj tačnosti, pa i ekonomičnosti proizvodnje.

Poznavanjem uticaja pojedinih parametara na tačnost izrade i njihovim optimalnim izborom direktno se može uticati na preciznost i ekonomičnost rada alata, što u uslovima masovne proizvodnje daje velike pozitivne efekte.

U okviru ovog rada istražene su uticajnosti parametara alata, spoljnog prečnika i ukupne dužine glodala, na pokazatelje tačnosti izrade zupčanika. Na osnovu dobivenih matematskih zavisnosti formiran je optimizacioni model, a potom izvršena, na računaru, realizacija optimizacionog modela.

2. MATEMATSKI MODEL ZA OPTIMIZACIJU PARAMETARA ODVALNOG GLODALA

Da bi se formirao matematski model za optimizaciju parametara alata, potrebno je imati matematske ovisnosti tih parametara i, u ovom slučaju, pokazatelja tačnosti izrade zupčanika. S obzirom da ne postoji dovoljan broj pomenutih ovisnosti, u ovom radu korištenjem eksperimentalno-matematskog metoda, definisane su zavisnosti parametara alata (D i L) i pokazatelja tačnosti izrade zupčanika, kako slijedi u daljnjem tekstu.

2.1. Definisanje zavisnosti pokazatelja tačnosti izrade zupčanika i parametara alata

2.1.1. Uslovi eksperimenta

Predmet obrade - cilindrični zupčanik sa pravim zubima od čelika Č.4320.

A i a t - za ispitivanje su korištena odvalna glodala prema tabeli 1.

TABELA 1.

Red. broj	D [mm]	L [mm]	d [mm]	n [mm]	α [o]	g	Osnovni profil	Klasa tačnosti
1.	100	88	32	3	20	1	I	A
2.	100	69	32	3	20	1	I	A
3.	90	78	32	3	20	1	I	A
4.	80	88	32	3	20	1	I	A
5.	80	69	32	3	20	1	I	A

- grudni ugao $\gamma = 0^\circ$
- materijal - brzovezni čelik
- proizvođač "JUGOALAT" Novi Sad

Oznake u tabeli su:

D - vanjski prečnik,

L - ukupna dužina glodala,

d - prečnik nasadnog otvora,

m - modul,

α - ugao zahvata,

g - broj početaka.

Mašina - obrada zupčanika vršena je na mašini za odvalno glodanje modela 5K 324A sovjetske proizvodnje.

Rashlada sredstva -rezanol 20 EP, proizvođač INA Zagreb.

Režim obrade: $n = 80$ o/min. - broj obrtaja,
 $s = 0,8$ mm/o - pomak,
 $d = 6,6$ mm - dubina rezanja.

2.1.2. Metod ispitivanja

Za definisanje izraza za pokazatelje tačnosti izrade zupčanika u zavisnosti od parametara alata korišten je eksperimentalno-analitički metod utvrđivanja matematskih modela koji bazira na višefaktornom planu eksperimenta [3].

Tehnika Izvodjenja eksperimenta zasnivala se na obradi zupčanika sa pomenutim glodalima, a potom mjerenja posmatrane veličine.

Uz navedene uslove eksperimenta dobiveni su podaci [1] [2] za definisanje zavisnosti pokazatelja tačnosti izrade zupčanika od parametara alata.

- | | |
|--------------------------------------|--|
| 1. Odstupanje profila zuba zupčanika | - $A_{ev} = 1,65336 D^{1,68905} L^{-1,11581} [\mu m]$ |
| 2. Mjera preko zuba | - $w = 41,4099 D^{0,0054} L^{-0,0058} [mm]$ |
| 3. Odstupanje pravca zuba | - $A_{\beta} = 0,0445 D^{2,38949} L^{-1,32574} [\mu m]$ |
| 4. Radijalno bacanje | - $A_r = 0,13559 D^{2,46164} L^{-1,22518} [\mu m]$ |
| 5. Osnovni korak | - $t_b = 8,55702 D^{0,0036} L^{0,00411} [mm]$ |
| 6. Tetivna debljina zuba | - $s = 3,28432 D^{0,06274} L^{0,01645} [mm]$ |
| 7. Odstupanje konture zuba | - $A_k = 2,65 \cdot 10^{-7} D^{3,33157} L^{0,71076} [\mu m]$ |

Na osnovu dobivenih zavisnosti i intervala varijacije promjenjivih pri eksperimentu može se formirati matematski model za optimizaciju parametara odvalnog glodala.

Jedan od bitnijih pokazatelja tačnosti izrade zupčanika je odstupanje profila boka zuba zupčanika. Ta činjenica je uticala na odluku da se za funkciju cilja, u optimizacionom modelu, odabere izraz za odstupanje profila zuba, a kriterij optimalnosti da to odstupanje bude minimalno. Pri tome mora se uzeti u obzir zadovoljenje i ostalih pokazatelja tačnosti izrade zupčanika, kao i ostalih parametara koji se mogu dovesti u vezu sa optimizirajućim parametrima, a čije funkcionalne zavisnosti mogu poslužiti kao ograničenja u optimizacionom modelu.

Optimizacioni model ima slijedeći izgled:

Funkcija cilja:

$$A_{ev} = 1,65336 \text{ D } 1,68905 \text{ L } -1,11581 \text{ [}\mu\text{m]} \longrightarrow \text{min.}$$

Ograničenja:

1. Mjera preko zuba

$$41,4099 \text{ D } 0,0054 \text{ L } -0,0058 \quad \cong \quad 41,40 \quad (1)$$

$$41,4099 \text{ D } 0,0054 \text{ L } -0,0058 \quad \cong \quad 41,2784 \quad (2)$$

2. Odstupanje pravca zuba

$$0,0445 \text{ D } 2,38949 \text{ L } -1,32574 \quad \cong \quad 18 \quad (3)$$

3. Radijalno bacanje

$$0,13559 \text{ D } 2,46164 \text{ L } -1,22518 \quad \cong \quad 73 \quad (4)$$

4. Osnovni korak

$$8,55702 \text{ D } 0,0036 \text{ L } 0,0041 \quad \cong \quad 8,879 \quad (5)$$

$$8,55702 \text{ D } 0,0036 \text{ L } 0,0041 \quad \cong \quad 8,833 \quad (6)$$

5. Tetiva debljina zuba

$$3,28432 \text{ D } 0,06274 \text{ L } 0,01645 \quad \cong \quad 4,74 \quad (7)$$

$$3,28432 \text{ D } 0,06274 \text{ L } 0,01645 \quad \cong \quad 4,61 \quad (8)$$

6. Odstupanje konture zuba

$$2,65 \cdot 10^{-7} \text{ D } 3,33157 \text{ L } 0,71076 \quad \cong \quad 30 \quad (9)$$

7. Vanjski prečnik

$$D \quad \cong \quad 100 \quad (10)$$

$$D \quad \cong \quad 80 \quad (11)$$

8. Ukupna dužina glodala

$$L \quad \cong \quad 88 \quad (12)$$

$$L \quad \cong \quad 69 \quad (13)$$

Optimizacioni model prilagodjen za linearno programiranje ima izgled:

$$[\text{Min}] F = 1,60905 X_1 - 1,11581 X_2 + 0,22764$$

$$-0,005 X_1 + 0,0058 X_2 \geq 0,0001 \quad (1)$$

$$-0,005 X_1 + 0,0058 X_2 \leq 0,0138 \quad (2)$$

$$2,38949 X_1 - 1,32574 X_2 \leq 2,60691 \quad (3)$$

$$2,46164 X_1 - 1,22518 X_2 \leq 2,73109 \quad (4)$$

$$0,0036 X_1 + 0,00411 X_2 \leq 0,01604 \quad (5)$$

$$0,0036 X_1 + 0,00411 X_2 \geq 0,01378 \quad (6)$$

$$0,06274 X_1 + 0,01645 X_2 \leq 0,15933 \quad (7)$$

$$0,06274 X_1 + 0,01645 X_2 \geq 0,14726 \quad (8)$$

$$3,33157 X_1 + 0,71076 X_2 \leq 8,05387 \quad (9)$$

$$X_1 \leq 2 \quad (10)$$

$$X_1 \geq 1,90309 \quad (11)$$

$$X_2 \leq 1,94448 \quad (12)$$

$$X_2 \geq 1,83885 \quad (13)$$

Realizacijom formiranog modela na računaru dobivene su optimalne veličine $D_{opt} = 80$ mm i $L_{opt} = 88$ mm. Da bi se praktično uvjerilo u poboljšanu formu alata, vršena je obrada zupčanika sa glodalima standardnih i optimalnih parametara. Uporedni rezultati i postignuti efekti dati su u tabeli 2.

TABELA 2.

Red. broj	POKAZATELJ TAČNOSTI	Srednja vrijednost pokazatelja		E F E K A T [%] + povećanje tačn. - smanjenje tačn.
		Standardno glodalo	Glodalo sa optimalnim parametrima	
1.	Odstupanje profila boka zuba [μm]	24	21	+ 12,5
2.	Mjera preko zuba [mm]	41,390	41,265	-
3.	Odstupanje pravca zuba [μm]	6	3	+50
4.	Tetivna debljina zuba [mm]	4,648	4,65	-
5.	Osnovni korak [mm]	8,846	8,865	-
6.	Radijalno bacanje [μm]	35	30	+ 14,3
7.	Odstupanje konture zuba [μm]	10	11	- 10
8.	Hrapavost R_a [μm]	0,37	0,25	+ 32,4

3. ZAKLJUČAK

Na osnovu iznijetog u ovom radu mogu se izvući slijedeći zaključci:

- Pri kompoziciji optimizacionog modela nisu obuhvaćeni svi uticajni parametri, ali model daje mogućnost proširenja zašto su potrebna šira teoretska i eksperimentalna istraživanja funkcionalnih zavisnosti.
- Optimizacija je izvedena prema optimizacionom modelu i programu za računar, pri čemu su optimirani parametri alata (D i L), koji minimiziraju odstupanje profila zuba zupčanika.
- Upoređivanjem rezultata mjerenja i kontrole zupčanika može se zaključiti da se sa glodalom optimiranih parametara postiže veća tačnost, kako to pokazuje tabela 2.

4. LITERATURA

- [1] Prusina V.: Optimizacija forme alata za izradu zupčanika relativnim kotrljanjem. Doktorska disertacija. Mostar, Mašinski fakultet 1986.
- [2] Prusina V.: Uticaj parametara alata na tačnost izrade zupčanika. Rad pripremljen za 21. savjetovanje proizvodnog strojarstva Jugoslavije.
- [3] Stanić J.: Metod inženjerijskih mjerenja. Beograd, Mašinski fakultet, 1975.

21 SAVETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

ODREĐJIVANJE NAPONSKOG STANJA U MODULNIM ODVALNIM GLODALIMA
METODOM KONAČNIH ELEMENATA

STRESS ANALYSIS IN HOBS BY FINITE ELEMENT METHOD

V. Šimon

Vanredni profesor Tehnološkog fakulteta u Novom
Sadu, 21000 Novi Sad, V. Vlahovića 2

Ključne reči:

Glodalo
Napon
Konačni elemenat

SAŽETAK: U radu je razradjena metoda za analizu naponskog stanja u odvalnim glodalima za izradu evolventnih cilindričnih zupčanika. Metoda obuhvata računanje otpora rezanja, kao stvarnog opterećenja zubaca, i određivanje naponskog stanja u zupcima i telu glodala. Za računanje otpora rezanja korišćena je analitička metoda, bazirana na eksperimentalnim rezultatima iz literature, a naponsko stanje glodala određivano je metodom konačnih elemenata. Korišćenjem odgovarajućeg programa za računar određeno je i dijagramski prikazano naponsko stanje jednog odvalnog glodala iz prakse. Metoda je sa uspehom primenjena na proizvodima "Jugoalat" iz Novog Sada.

Key words:

Hob
Stress
Finite element

ABSTRACT: In this paper a method is developed for the stress analysis of hobs. The method includes the calculation of cutting forces of gear hobbing, as actual external loads of hob teeth, and the determination of the corresponding stresses in hob teeth. The cutting forces are determined analytically, but using testing results. For the stress analysis a finite element computer program is developed. By using this program the stress distribution in a hob from practice is calculated and shown in a diagram. The method is successfully applied to the products of the company "Jugoalat" in Novi Sad.

1: Uvod

U cilju povećanja produktivnosti pri odvalnom glodanju zupčanika razradjene su nove tehnologije za povećanje postojanosti rezne ivice zubaca glodala radi omogućavanja oštrijih režima obrade. Sa povećanjem brzine rezanja i posmaka povećava se produktivnost ali i mehaničko i termičko opterećenje

zubaca. Ovom problemu nije posvećena dovoljna pažnja iako preopterećenje zubaca može dovesti do njihovog odlomljivanja.

U ovom radu razradjena je metoda za analizu naponskog stanja u odvalnim glodalima za izradu evolventnih cilindričnih zupčanika. Metoda obuhvata računanje otpora rezanja, kao stvarnog opterećenja zubaca, i određivanje naponskog stanja u zupcima i telu glodala.

Za računanje otpora rezanja korišćena je analitička metoda, bazirana na eksperimentalnim rezultatima iz literature.

Naponsko stanje glodala određivano je metodom konačnih elemenata. S obzirom da se radi o trodimenzionalnoj analizi naponskog stanja, korišćen je izoparametarski konačni elemenat sa krivim graničnim površinama i 20 čvornih tačaka. Odgovarajući program za računar sadrži i dva specifična podprograma: za automatsko generisanje mreže konačnih elemenata u zupcu i telu glodala, i za preračunavanje otpora rezanja u spoljašnje sile opterećenja odgovarajućih čvornih tačaka elemenata.

Korišćenjem tako razradjenog programa za računar određeno je i dijagramski prikazano naponsko stanje jednog odvalnog glodala iz prakse.

2. Određjivanje otpora rezanja pri odvalnom glodanju cilindričnih zupčanika

Svaka tačka rezne ivice zubaca glodala opterećena je otporom rezanja F koji čine sledeći komponentni otpori:

- F_{gl} - glavni otpor rezanja u pravcu brzine rezanja
- F_{po} - otpor pomoćnom kretanju
- F_{pr} - otpor prodiranju

Deljenjem preseka strugotine na elementarne površine ΔA , svaku elementarnu dužinu rezne ivice Δl napadaju odgovarajući elementarni otpori rezanja:

$$\vec{\Delta F} = \begin{bmatrix} K_{pr} \cdot \Delta l \cdot h_s^{1-c_x} \\ K_{po} \cdot \Delta l \cdot h_s^{1-c_y} \\ K_{gl} \cdot \Delta l \cdot h_s^{1-c_z} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Za specifične otpore rezanja K_{pr} , K_{po} , K_{gl} i za eksponente c_x , c_y , c_z korišćeni su podaci iz literature [1] - [4].

Debljina strugotine h_s računata je kao najkraće rastojanje između izabrane tačke rezne ivice tretiranog zupca glodala (i) i prodorne tačke normale rezne ivice u istoj tački kroz površinu koju generiše prethodni zubac glodala ($i-1$). Matematička interpretacija uslova tog presecanja je:

$$\frac{x_z^{(i-1)} - x_z^{(i)}}{n_{xz}^{(i)}} = \frac{y_z^{(i-1)} - y_z^{(i)}}{n_{yz}^{(i)}} = \frac{z_z^{(i-1)} - z_z^{(i)}}{n_{zz}^{(i)}} \quad (2)$$

pri čemu su:

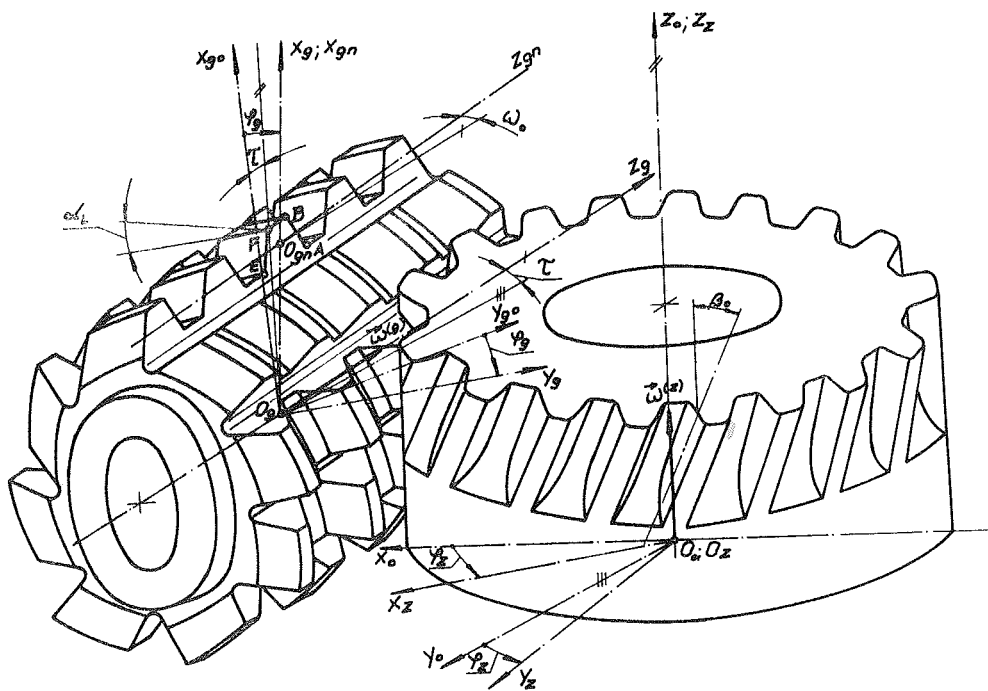
$\vec{r}_z^{(i)}$, $\vec{n}_z^{(i)}$ vektor položaja izabrane tačke i vektor normale rezne ivice tretiranog zupca glodala u koordinatnom sistemu K_z , vezanom za zupčanik (sl. 1). Definisani su sledećim jednačinama:

$$\vec{r}_z^{(i)} = T_z^{(i)} \cdot T_o^{(i)} \cdot T_g^{(i)} \cdot T_{gn} \cdot \vec{r}_{gn}^{(i)} \quad (3)$$

$$\vec{n}_z^{(i)} = T_z^{(i)} \cdot T_o^{(i)} \cdot T_g^{(i)} \cdot T_{gn} \cdot \vec{n}_{gn}^{(i)}$$

$\vec{r}_z^{(i-1)}$ je vektor položaja tačaka površine koju generiše prethodni zubac glodala. Odredjen je jednačinom:

$$\vec{r}_z^{(i-1)} = T_z^{(i-1)} \cdot T_o^{(i-1)} \cdot T_g^{(i-1)} \cdot T_{gn} \cdot \vec{r}_{gn}^{(i-1)} \quad (4)$$



Slika 1. Odvalno glodanje cilindričnih zupčanika

gde su:

\vec{r}_{gn} , \vec{n}_{gn} - vektor položaja i vektor normale rezne ivice u koordinatnom sistemu K_{gn} , vezanom za grudnu površinu zupca glodala (sl. 1).

T_z, T_o, T_g, T_{gn} - matrice za transformaciju koordinata izmedju pojedinih koordinatnih sistema (sl. 1).

Nakon rešavanja jednačine (2), debljina strugotine u izabranoj tački rezne ivice računa se po obrascu:

$$h_s = \sqrt{(x_z^{(i)} - x_z^{(i-1)})^2 + (y_z^{(i)} - y_z^{(i-1)})^2 + (z_z^{(i)} - z_z^{(i-1)})^2} \quad (5)$$

3. Metoda konačnih elemenata za određivanje naponskog stanja u zupcu i telu glodala

S obzirom da se radi o trodimenzionalnoj analizi naponskog stanja u zupcima i telu glodala sa složenim graničnim površinama, korišćen je izoparametarski konačni elemenat sa krivim graničnim površinama i 20 čvornih tačaka (sl. 2b).

Ravnoteža elemenata iskazana je jednačinom:

$$[K(e)] \{ \delta(e) \} = \{ F(e) \} \quad (6)$$

gde je:

$$[K(e)] = \iiint [B]^T [D] [B] dv$$

S obzirom da se radi o izoparametarskom elementu koriste se iste interpolacijske funkcije za aproksimaciju geometrije elemenata i za aproksimaciju polja pomeranja. Za čvorne tačke u temenima elemenata odgovarajuća interpolacijska funkcija sledećeg je oblika:

$$N_i = \frac{1}{8} (1 + \zeta_i \zeta) (1 + \eta_i \eta) (1 + \xi_i \xi) (\zeta_i \zeta + \eta_i \eta + \xi_i \xi - 2) \quad (7)$$

gde su:

$$\zeta_i = \pm 1, \eta_i = \pm 1, \xi_i = \pm 1$$

Za čvorne tačke na sredini ivica elemenata koriste se interpolacijske funkcije sličnog oblika.

Odgovarajuća matrica krutosti određena je jednačinom:

$$[K(e)] = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 [B]^T [D] [B] \det[J] d\zeta d\eta d\xi \quad (8)$$

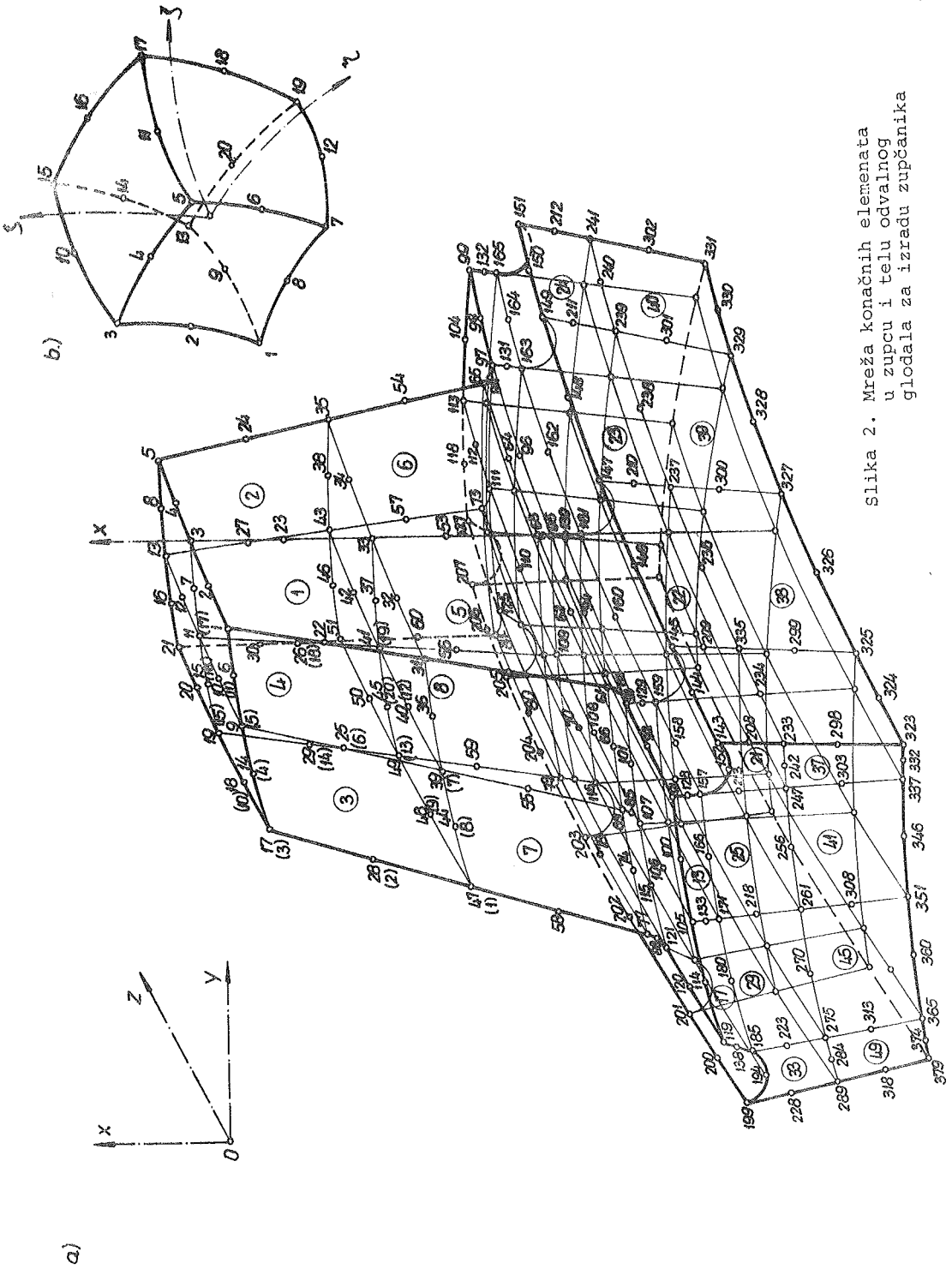
de su:

$[B]$ - matrica izvoda interpolacijskih funkcija

$[D]$ - matrica elastičnosti

$[J]$ - matrica Jakobijan transformacije

Za računanje integrala (8) korišćena je Gausova kvadratura sa tri tačke.



Slika 2. Mreža konačnih elemenata u zupcu i telu odvalnog glodala za izradu zupčanika

Zanemarivanjem zapreminskih sila, spoljašnje opterećenje elemenata predstavljaju otpori rezanja dejstvujući po reznim ivicama zupca, tj. po određenoj jednoj ivici određenih elemenata. Da bi se ti otpori rezanja preračunali u opterećenje čvornih tačaka konačnih elemenata, rezne ivice se dele na pogodan broj segmenata. Ukupni otpori rezanja koji dejstvuju po pojedinim segmentima rezne ivice aproksimiraju se sa koncentrisanim silama u središtima tih segmenata. Za računanje opterećenja čvornih tačaka korišćena je sledeća jednačina:

$$\{F_{ei}(e)\} = \sum_{j=1}^{N_F} N_i (\zeta_{Fj}, \eta_{Fj}, \xi_{Fj}) \{F_j\} \quad (9)$$

gde je:

N_F - broj koncentrisanih opterećenja $\{F_j\}$ po tretiranom elementu koja aproksimiraju otpore rezanja.

Za rešavanje dobijenog sistema jednačina korišćena je metoda frontalnih eliminacija. Sa tako određenim pomeranjima računaju se odgovarajući naponi po sledećoj jednačini:

$$\{\sigma\} = [D][B] \{\delta(c)\} \quad (10)$$

Odredjuju se normalni naponi, glavni naponi i rezultujućii naponi po Misesu (11) u tačkama Gausovog numeričkog integriranja.

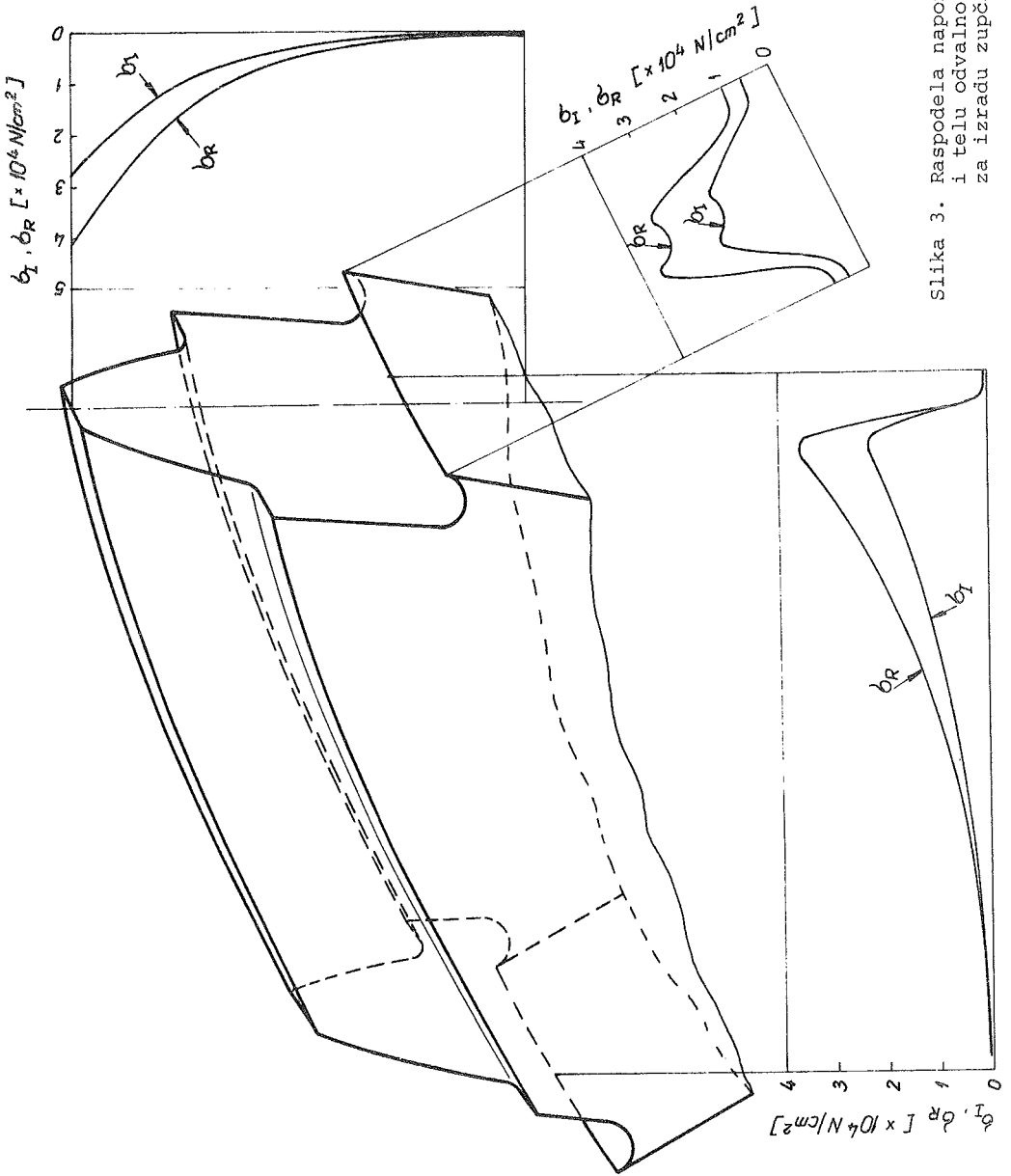
$$\sigma_R = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)} \quad (11)$$

Na osnovu tako razradjene metode, razvijen je odgovarajući program za računar koji sadrži i specijalan podprogram za automatsko generisanje mreže konačnih elemenata u zupcu i telu glodala. Tako generisana mreža prikazana je na sl. 2a.

4. Rezultati

Korišćenjem programa za računar određeno je naponsko stanje u jednom standardnom odvalnom glodalu za izradu cilindričnih zupčanika, modula $m = 4$ mm. Dobijena raspodela napona u najopterećenijem zupcu glodala prezentirana je na sl. 3. Krive dijagrama prikazuju raspodelu maksimalnih vrednosti najvećeg glavnog napona (σ_1) i rezultujućeg napona po Misesu (σ_R) u slojevima elemenata po glavnim pravcima zupca glodala.

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da je najviše opterećen vrh zupca glodala i to na mestima prelaznih zaobljenja. Pri tome, dominiraju naponi na pritisak i smicanje, a naponi savijanja u podnožju zupca su relativno mali.



Slika 3. Raspodela napona u zupcu i telu odvalnog glodala za izradu zupčanika

4. Literatura

- [1] Mitrović R., "Modelska ispitivanja procesa odvalnog glodanja", Doktorska disertacija, Zagreb, 1977.
- [2] Bourakis K., "Ermittlung des zeitlichen Verlaufs der Zerspankraftkomponenten beim Wälzfräsen, Teil 1: Digitalrechner programm FRDYN", VDI-Z, Vol.121, Nr.19, 1979, s.943-950.
- [3] Bourakis K., "Ermittlung des zeitlichen Verlaufs der Zerspankraftkomponenten beim Wälzfräsen, Teil 2: Einflüsse technologischer Parameter der Werkzeuggeometrie und der Werkradgeometrie", VDI-Z, Vol.121, Nr.20, 1979, s.1016-1026.
- [4] König W., Bouzakis K., "Determination of the Time Course of the Cutting Force Components in Gear Hobbing", International Power Transmissions and Gearing Conference, San Francisco, August 1980.
- [5] Simon V., "Optimization of Gear Hobs Based on Tooth Strength", IX International Symposium "Computer at University", Cavtat, May 1987.

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

UTICAJ PARAMETARA ALATA NA TAČNOST IZRADE ZUPČANIKA ODVALNIM GLODANJEM
INFLUENCE OF TOOL PARAMETERS ON PRECISION OF GEAR FABRICATION BY
DISINTEGRATED MILLING

V. Prusina

Mašinski fakultet Mostar, Univerzitet "Dž. Bijedić"
88000 MOSTAR, Jugoslavija

Ključne riječi:

Glodalo
Zupčanik
Računar
Tačnost
Parametar

SAŽETAK: Za projektovanje i eksploataciju alata od bitnog značaja je poznavanje uticaja pojedinih parametara na tačnost izrade zupčanika. U radu se govori o uticaju spoljnjeg prečnika D i ukupne dužine L odvalnog glodala na tačnost izrade zupčanika odvalnim glodanjem. Do te spoznaje došlo se na osnovu literaturnih i eksperimentalnih istraživanja. Rezultati istraživanja dati su u obliku matematskih ovisnosti i dijagramske interpretacije.

Key words:

Cutter
Gear
Computer
Precision
Parameter

ABSTRACT: For desing and exploitation of tools, it is of great importance the knowledge of influences for certain tool parameters on gear fabrication precision. It is spoken in work about influence of cutter diameter D and total length L of disintegrated cutler upon precision of gear fabrication by disintegrated milling. This knowladge has been achieved on the basic of literature and experimental research. Research results were given in the form of mathematical dependences and diagram interpretation.

1. Uvod

U procesu izrade zupčanika odvalnim glodanjem veoma veliki broj parametara, a medju njima i parametri alata, utiču na tačnost izrade. Zbog toga potrebno je da se što detaljnije izanaliziraju i ispitaaju uticaji parametara alata, kako na tačnost izrade tako i na ukupne efekte izrade, kako bi se na osnovu tih rezultata mogli odabrati optimalni parametri alata za željene efekte.

U ovom radu se daje uticaj spoljnjeg prečnika i ukupne dužine odvalnog glodala na tačnost izrade zupčanika.

2. Uticaj spoljnjeg prečnika i ukupne dužine odvalnog glodala na odstupanje profila obradjivanog zupčanika

Uticaj spoljnjeg prečnika i ukupne dužine odvalnog glodala na odstupanje profila zupčanika, ovdje je dat na osnovu matematskog modela [1] za definisanje odstupanja profila obradjivanog zupčanika nastalo usljed pomjeranja i ukrštanja obrtne i geometrijske ose odvalnog glodala.

Prema konstataciji u radu [1], matematski modeli, predloženi od drugih autora, nisu potpuni ili su suviše prosti i često dovode do nepravilnog zaključka. Tako prema [2] greška sprežanja ne zavisi od prečnika odvalnog glodala već samo od normalnog modula. Matematski model za definisanje odstupanja profila obradjivanog zupčanika nastalo usljed pomjeranja i ukrštanja osa glodala pri njegovom namještanju [1] daje mogućnost analize uticaja svih parametara alata na grešku namještaja, a time i na odstupanje profila zupčanika.

Koristeći se konkretnim ulaznim podacima i računajući grešku namještanja dobiveni su nenormalni rezultati, što je navelo na detaljniju analizu dobivanja matematskog modela. Pri tome su uočene neke greške u modelu. Popravljeni model i redoslijed proračuna dat je preko algoritma (sl. 1) na osnovu koga je napravljen program za računar [3] kako bi se lakše izračunavala navedena greška.

Prema rezultatima dobivenim na računaru [3] mogu se napraviti dijagrami uticaja pojedinih parametara alata na grešku profila izradjivanog zupčanika. U ovom radu su dati dijagrami uticaja dužine i spoljnjeg prečnika glodala na grešku profila zupčanika sl. 2.

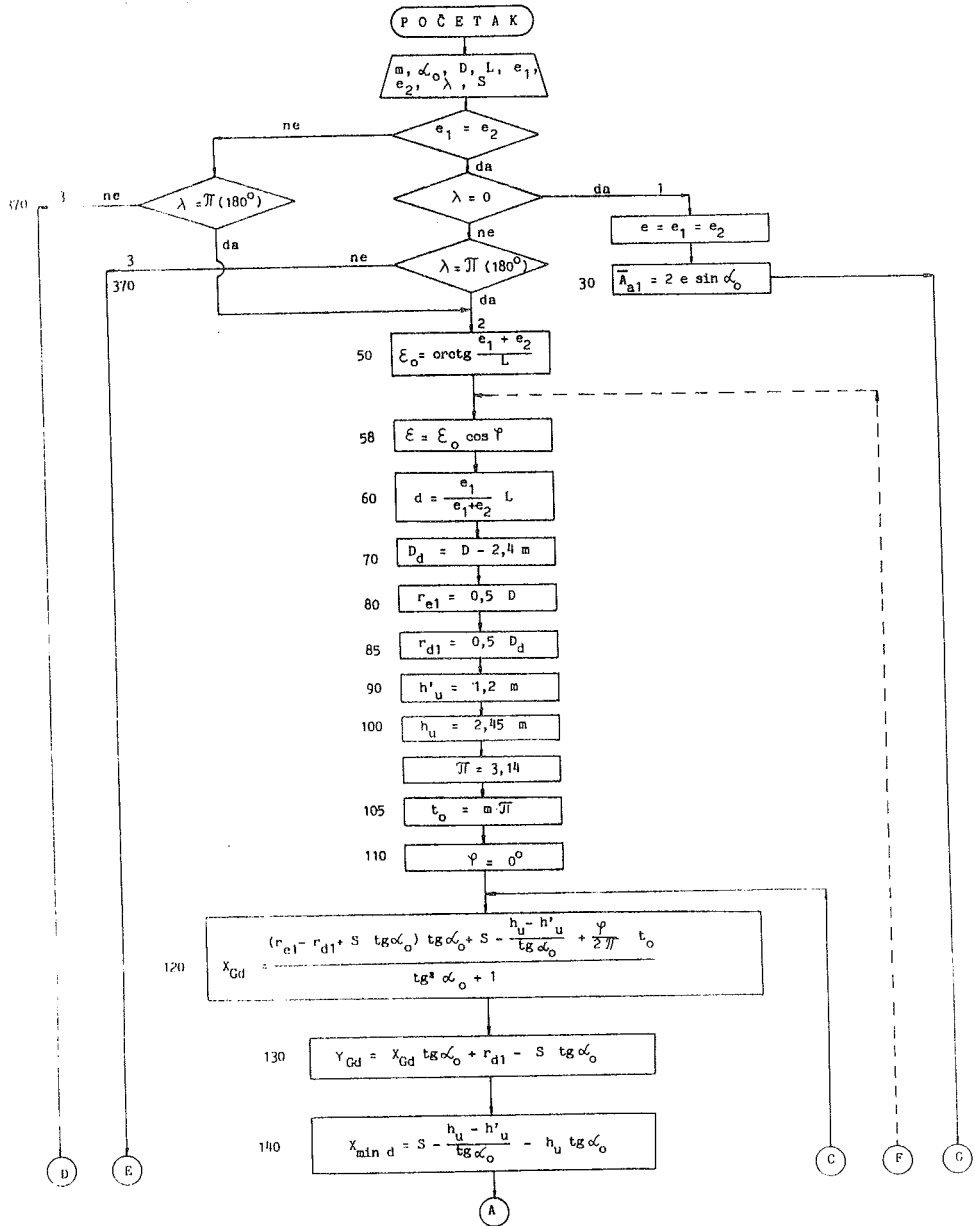
Iz dijagrama se vidi da prečnik i dužina glodala imaju uticaj na tačnost izrade što me je navelo da na eksperimentalan način nastavim ispitivanje uticaja spoljnjeg prečnika i dužine glodala na pokazatelje tačnosti izrade zupčanika.

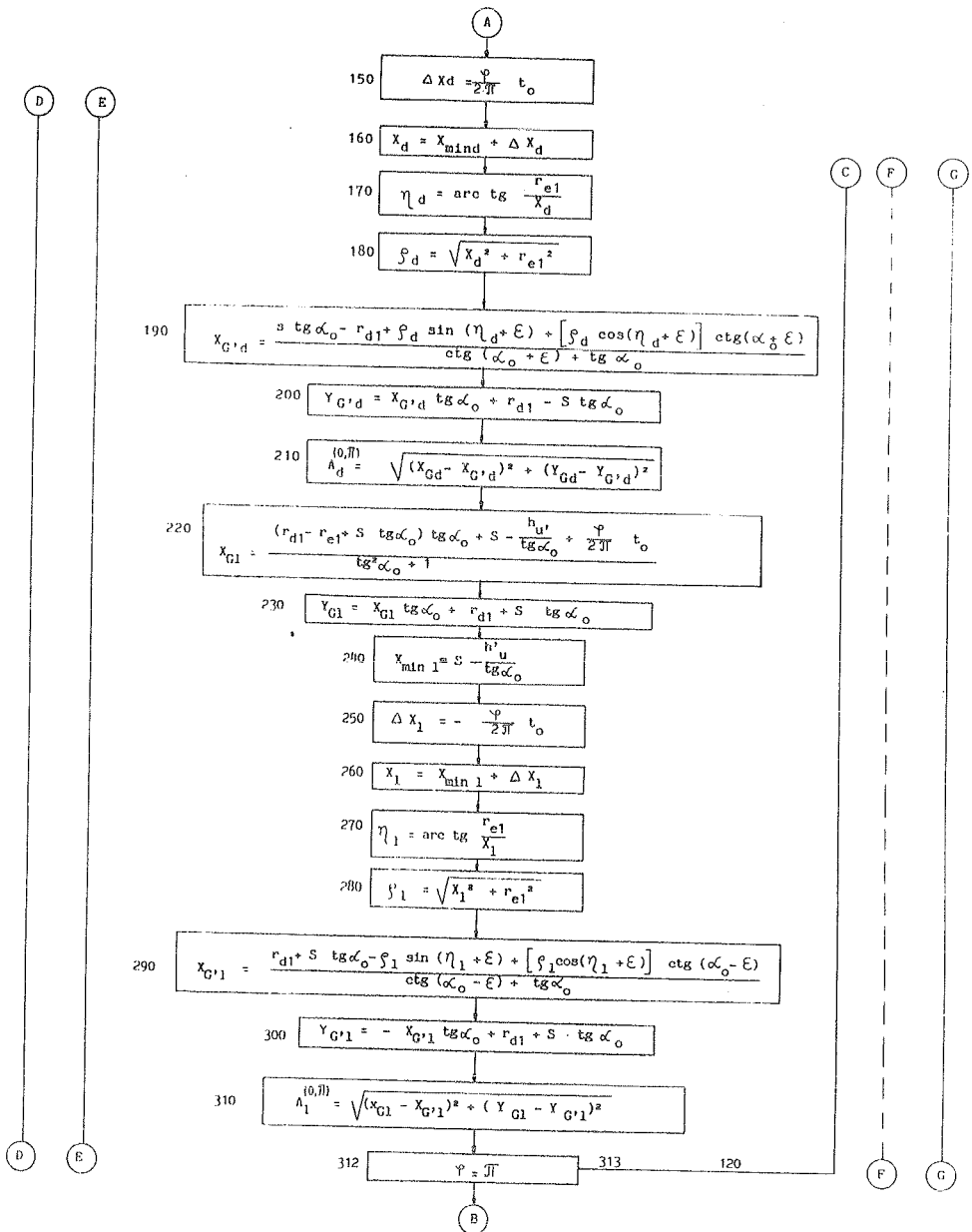
3. Definisanje zavisnosti pokazatelja tačnosti izrade zupčanika od parametara odvalnog glodala

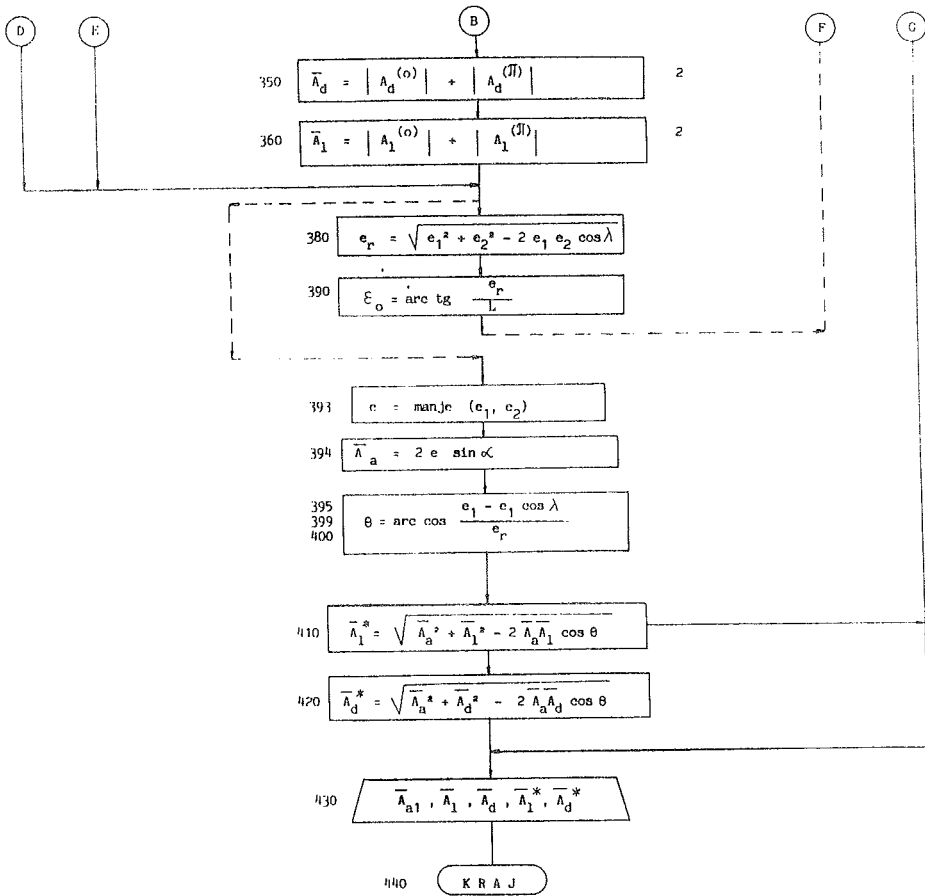
3.1. Uslovi obrade

Predmet obrade - cilindrični zupčanik sa pravim zubima od čelika č.4320.

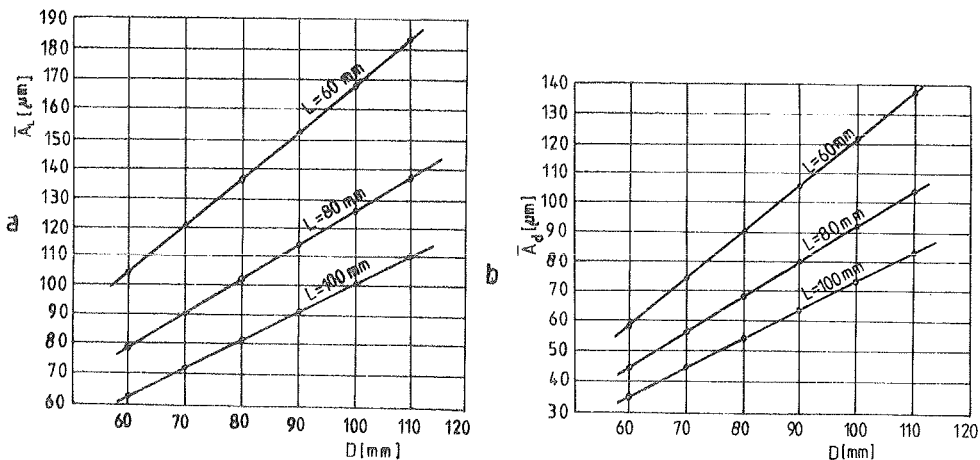
Alat - za ispitivanje su korištena odvalna glodala prema tabeli 1.







Slika 1. Algoritam za izračunavanje greške namještanja



Slika 2. Dijagram zavisnosti odstupanja profila boka zuba od spoljnjeg prečnika i ukupne dužine glodala:
 a) za lijevu stranu
 b) za desnu stranu.

Tabela 1.

Red. broj	D [mm]	L [mm]	d [mm]	m [mm]	α [°]	g	osnovni profil	Klasa tačnosti
1	100	88	32	3	20	1	I	A
2	100	69	32	3	20	1	I	A
3	90	78	32	3	20	1	I	A
4	80	88	32	3	20	1	I	A
5	80	69	32	3	20	1	I	A

- grudni ugao $f = 0^\circ$
- materijal - brzorezni čelik
- proizvođač "JUGOALAT" Novi Sad

Oznake u tabeli su:

- D - vanjski prečnik,
- L - ukupna dužina glodala,
- d - prečnik nasadnog otvora,
- m - modul,
- α - ugao zahvata,
- g - broj početaka.

Mašina - obrada zupčanika vršena je na mašini za odvalno glodanje modela 5K 324A sovjetske proizvodnje.

Rashladno sredstvo - rezanol 20 EP, proizvođač INA Zagreb.

Režimi obrade: $n=80$ o/min - broj obrtaja,

$s=0,8$ mm/o - pomak,

$d=6,6$ mm - dubina rezanja.

Tabela 2.

Broj eksp	Plan eksperimenta					Rezultati mjerenja		
	D [mm]	L [mm]	Kodovi			Pokazatelji tačnosti		
			X0	X1	X2	\bar{A}_{ev} [μm]	\bar{A}_w [mm]	\bar{A}_r [μm]
1.	100	88	+1	+1	+1	26,67	41,378	45
2.	90	78	+1	0	0	25,00	41,400	40
3.	100	69	+1	+1	-1	36,33	41,360	70
4.	90	78	+1	0	0	25,33	41,392	42
5.	90	78	+1	0	0	25,00	41,393	40
6.	80	88	+1	-1	+1	19,00	41,265	30
7.	80	69	+1	-1	-1	24,00	41,388	35
8.	90	78	+1	0	0	24,33	41,402	40

3.2. Metod ispitivanja

Za definisanje izraza za pokazatelje tačnosti izrade zupčanika u zavisnosti od parametara alata korišten je eksperimentalno - analitički metod utvrđivanja matematskih modela koji bazira na višefaktornom planu eksperimentata [4].

Tehnika izvodjenja eksperimenta zasnivala se na obradi zupčanika sa glodalima različitih parametara, a potom mjerenja posmatrane veličine. Na ovaj način dobiveni podaci alata su u tabeli 2. [3].

Matematska obrada podataka eksperimenta iz tabele 2v izvedena je pomoću metode najmanjih kvadrata. Efekat značajnosti koeficijenta regresije provjeren je pomoću kriterija studenta, a adekvatnost modela primjenom kriterija Fisher-a [4] uz stepen pouzdanosti $P=0,95$. Na taj način došlo se do izraza:

- za odstupanje evolvente boka zuba zupčanika

$$A_{ev} = 1,65356 D^{1,68905} L^{-1,11581} \quad [\mu\text{m}] \quad (1)$$

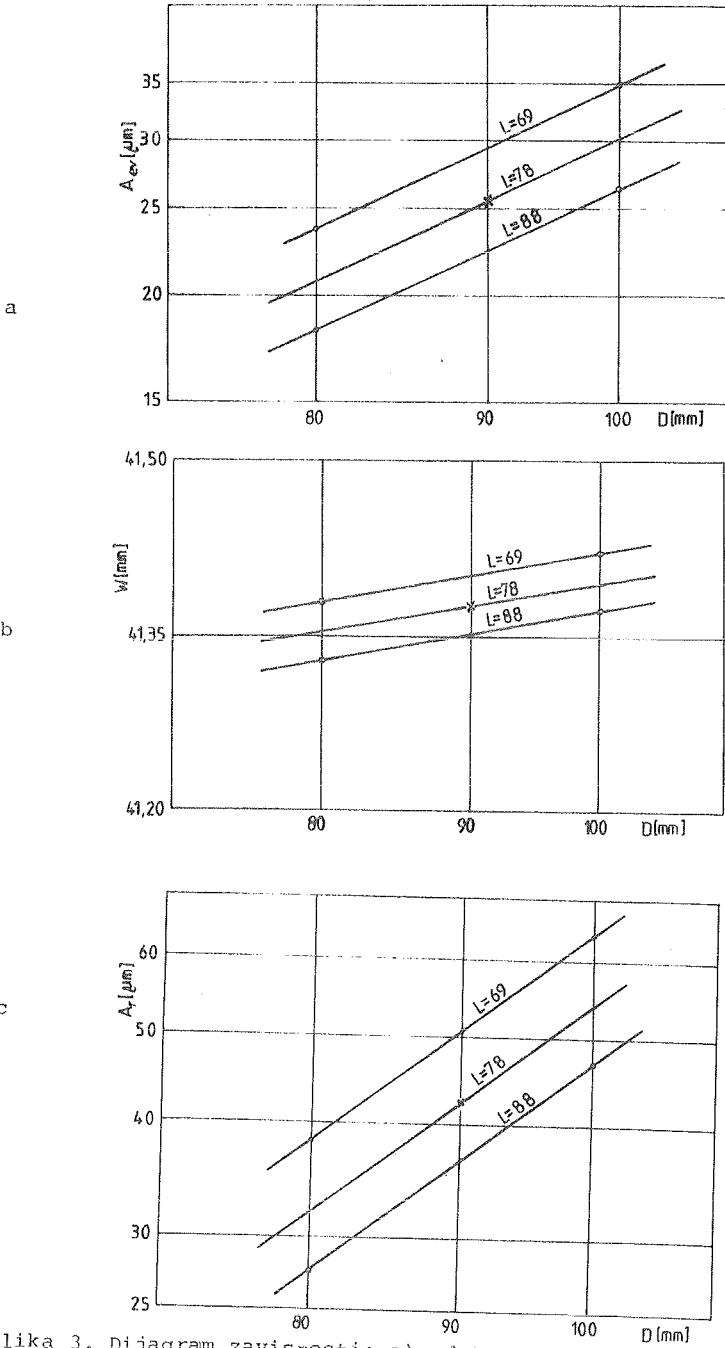
- za mjeru preko zuba

$$W = 41,4558 D^{0,80457} L^{-0,00518} \quad [\text{mm}] \quad (2)$$

- za radijalno bazanje

$$A_r = 0,13559 D^{2,46164} L^{-1,22518} \quad [\mu\text{m}] \quad (3)$$

Na osnovu izraza (1) do (3) sačinjeni su dijagrami zavisnosti pokazatelja tačnosti i parametara alata D i L sl. 3, iz kojih se može uočiti kako parametri glodala DiL utiču na pojedine pokazatelje tačnosti izrade zupčanika odvalnim glodanjem.



Slika 3. Dijagram zavisnosti: a) odstupanja evolvente boka zuba zupčanika, b) mjere preko zuba, c) radijalnog bacanja, od parametra d i L .

4. Z a k l j u č a k

Na osnovu ispitivanja prikazanih u radu može se zaključiti da ukupna dužina i spoljni prečnik glodala imaju uticaj na tačnost izrade zupčanika. Analizirajući dobivene izraze i dijagrame dolazi se do zaključka da se greške izrade smanjuju pri povećanju ukupne dužine glodala i pri smanjenju spoljnog prečnika glodala, a povećavaju sa smanjenjem ukupne dužine glodala i povećanju spoljnog prečnika. Pored toga što dobiveni izrazi služe za analizu uticaja parametara glodala na tačnost izrade zupčanika, mogu poslužiti kao elementi matematskog modela za optimizaciju parametara alata.

5. L i t e r a t u r a

- [1] Enache S., Oproescu G., Strojescu E.: The establishment of positioning errors influence of the parallel hobbing cutter on the machining accuracy of the spur wheels. CIRP Ann., 1981, 30 No.1, 293-297.
- [2] Borchert W.: Untersuchungen über die Auswirkung von Wälzfräserfehlern auf die Flankenform der Stirnradverzahnung. Diss. Berlin, 1972.
- [3] Prusina V.: Optimizacija forme alata za izradu zupčanika relativnim kotrljanjem. Doktorska disertacija. Mostar, Mašinski fakultet, 1986.
- [4] Stanić J.: Metod inženjerijskih mjerenja. Beograd, Mašinski fakultet, 1975.

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

PRIMJENA PREVUČENIH PROVLAKAČA PRI OBRADI
DISKA PLINSKE TURBINE

DIE ANWENDUNG DER BESCHICHTETEN RÄUMWERKZEUGE
BEI DER BEARBEITUNG DES GASTURBINENDISKUS

A. Pavić RO JUGOTURBINA - Istraživanje i razvoj,
J. Brnardić 47000 KARLOVAC, Jugoslavija

M. Macura RO JUGOTURBINA - Tvornica plinskih turbina,
S. Mušnjak 47000 KARLOVAC, Jugoslavija

Ključne riječi: SAŽETAK: Ispitivana je mogućnost primjene provlakača od brzoreznog
Provlačenje čelika prevučenog titannitridom. Izvedeni su pokusi sa neprevučenim
Trošenje i prevučenim provlakačima i uspoređeni rezultati. Na kraju su dati
Postojanost zaključci i preporuke za praksu.
Plinska turbina

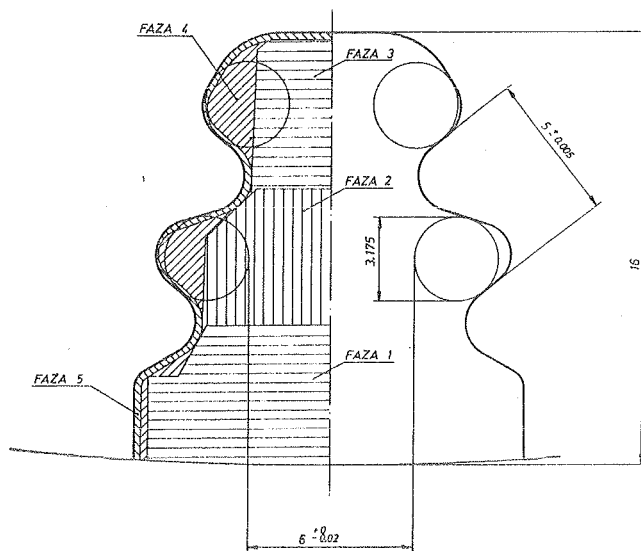
Schlagwörter: ZUSAMMENFASSUNG: Die Möglichkeit der Anwendung des mit Titannitrid
Räumen beschichteten Räumwerkzeuges aus Schnellarbeitstahl wurde geprüft.
Verschliess Es wurden Versuche mit unbeschichteten und beschichteten Räumwerk-
Standzeit zeugen durchgeführt und die Ergebnisse wurden verglichen. Zum Schluss
Gasturbine wurden Beschlüsse und Empfehlungen für die Praxis gegeben.

1. Uvod

Dijelovi turbomlaznih motora se u većini slučajeva izrađuju od specijalnih visokolegiranih čelika čije su karakteristike prilagođene veoma teškim i složenim uvjetima rada. Takvi čelici su u pravilu teškoobrađivi. Zahtjevana točnost izrade dijelova je u uskim granicama (oko 0,008 mm), a hrapavost obrađene površine Ra = 0,8 μ m. Jedan od takvih dijelova je disk kompresora koji po svom obodu ima 24 jednako raspoređena utora složenog jelastog profila u koji se učvršćuje lopatica (slika 1).

S obzirom na složeni oblik, te zahtjevanu točnost i kvalitetu obrađene površine, jedini postupak obrade koji uz visoku kvalitetu alata može dati zadovoljavajuće rezultate, jeste provlačenje. Ovaj postupak je vrlo produktivan i pouzdan i jednostavan je za pripremu i izvođenje operacije. I pored veoma skupe opreme (stroj, alati) postupak obrade provlačenjem je prilično ekonomičan. Detaljniji podaci o obradi provlačenjem dati su u literaturi [1, 2, 3].

S obzirom na svoje velike prednosti, u industriji se sve više primjenjuju alati od brzoreznog čelika (BČ) prevučeni tankim slojem titannitrida (TiN). Pored znatnog poboljšanja triboloških karakteristika ovih alata, njihova prednost je i u poboljšanju tehnoloških svojstava obrađene površine obratka (manja hrapavost, veća i stabilnija dimenzionalna točnost pri obradi, itd.) što je naročito važno pri obradi složenih dijelova plinskih turbina (turbomlaznih motora). Podaci o alatima prevučeni sa TiN dati su u literaturi [4, 5].



Slika 1. Profil utora u disku sa naznačenim redom faza obrade profila (FAZE 1 do 5)

Znatni problemi u proizvodnji koji su nastajali pri radu sa neprevučenicima provlakačima (brzo istrošenje, netočnost mjera itd.), inicirali su akcije da se pokuša obrada sa provlakačima prevučenicima sa TiN u Institutu "Jožef Štefan" u Ljubljani što je i učinjeno. Cilj ovog rada je da se ispita mogućnost primjene prevučenicima provlakača i njihovo potpuno uvođenje u proizvodnju za obradu utora u disku kompresora turbomlaznog motora.

2. Plan i izvođenje pokusa

Najprije su izvršeni pokusi obrade provlačenjem kompletnog profila utora u disku kompresora sa provlakačem prevučenicima sa TiN i izvršena su potrebna tehnološka mjerenja obratka (kvaliteta obrađene površine, točnost postignutih mjera itd.). Dobiveni rezultati bili su potpuno zadovoljavajući i sada je trebalo ispitati resurse kao trajnost, odnosno postojanost ovih provlakača radi plana nabavki, uvoza, zaliha alata itd., a što je najvažnije da se odredi koliko se diskova može obraditi do momenta istrošenja alata. Ispitivani su neprevučeni i prevučeni provlakači.

Materijal obratka (diska): specijalni legirani čelik oznake (prema firmi Rolls-Roys) BSEM 686 sastava: 0,3 do 0,5 % C, do 0,4 % Ni, 2,5 do 3,5 % Cr, 0,7 do 1,2 % Mo, 0,1 do 0,3 % V, 0,1 do 0,35 % Si, 0,4 do 0,8 % Mn, do 0,025 % P, do 0,020 % S. Tvrdoća je 423 HV₃₀, a čvrstoća na kidanje R_m = 1300 N/mm².

Materijal alata: brzorezni čelik sinterovani ASP-30 švedske proizvodnje sastava: 1,3 % C, 4 % Cr, 5 % Mb, 6 % W, 3 % V, 8 % Co.

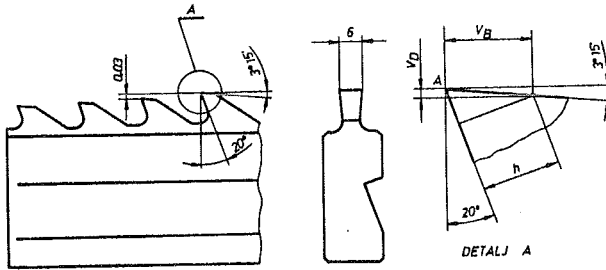
S obzirom na ograničen (i nedovoljan za ispitivanje resursa alata) broj diskova u proizvodnji, cjelokupno ispitivanje izvršeno je sa provlakačem faze 3 (vidi slike 1 i 2) koji ima 15 zubaca.

Sredstvo za hlađenje i podmazivanje (SHP): ILLOBROUCH 11 (Castrol).

Stroj. Specijalni stroj za vertikalno vanjsko provlačenje Artur Klink (Z.Njemačka).

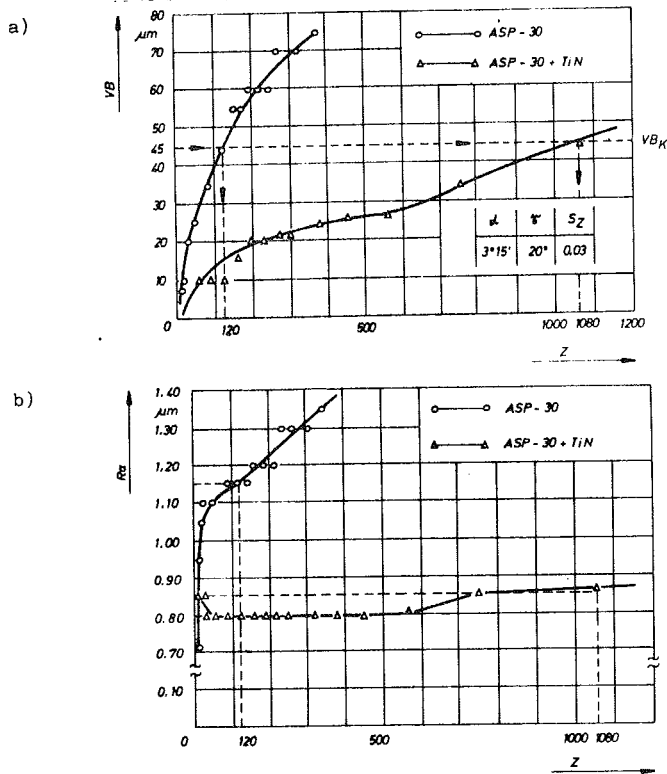
Tražena hrapavost: R_a = 0,8 μm, tražena točnost ± 0,005 mm (korak jelastog profila).

Režim obrade: brzina rezanja $v = 6 \text{ m/min}$, posmak po zubu $s_z = 0,03 \text{ mm}$, dužina utora (dužina obrade) $l_1 = 28 \text{ mm}$.



Slika 2. Izgled provlakača za fazu 3 provlačenja

Praćena je širina pojasa trošenja alata VB na stražnjoj površini reznog klina na velikom alatnom mikroskopu OPTON točnosti $0,001 \text{ mm}$, a hrapavost obrađene površine R_a na uređaju C3A Feinprüf Mahr. Pokusi i sva mjerenja izvršeni su u Tvornici plinskih turbina - Jugoturbina. Rezultati pokusa prikazani su dijagramski na slici 3.



Slika 3. Prikaz rezultata pokusa za neprevučeni i prevučeni provlakač
 a) Krivulja trošenja $VB = f(z)$; b) Krivulja hrap. $R_a = f(z)$
 z - broj provučenih utora

Da bi se mogla odrediti i usporediti rezna sposobnost za oba provlakača, potrebno je odrediti kriterij istrošenja alata. Pri tom je potrebno uzeti u obzir (slika 2).

- a) Trošenje na stražnjoj površini reznog klina VB;
- b) Dimenziono trošenje alata VD i njegov utjecaj na dimenzije obratka (utora);
- c) Dodatak za oštrenje na prednjoj površini alata;
- d) Hrapavost R_a obrađene površine.

Oštrenje ovog vrlo skupog provlakača vrši se isključivo na prednjoj površini odstranjivanjem dodatka h koji treba biti što manji radi mogućnosti većeg broja oštrenja i obično iznosi 0,02 do 0,04 mm.

Za $h = 0,04$ mm, $\alpha = 3^\circ 15'$ i $\gamma^* = 20^\circ$ prema slici 2, detalj A, dobija se:

$$VB = 0,043 \text{ mm}, \quad VD = 0,0025 \text{ mm}$$

Slijedi da bi, s obzirom na dodatak za oštrenje alata, kriterij istrošenja iznosio $VB_K = 0,045$ mm (zaokruženo). Pri tom još uvijek nije ugrožena dimanzija obratka jer dimenziono trošenje iznosi $VD = 2,5 \mu\text{m}$. Ovim su dovedeni u vezu faktori navedeni pod a), b) i c). Što se tiče hrapavosti R_a , ona je zadana na $0,8 \mu\text{m}$. U slučaju da se ne ostvari u potpunosti, potrebno je vršiti doradu poliranjem.

Prethodno razmatranje određivanja kriterija istrošenosti provlakača bazirano je na tome da se pri oštrenju sa prednje površine skine što manji dodatak i to toliki da se ujedno odstrani sa stražnje površine alata širina pojasa trošenja VB. Tako naoštren provlakač daje dobre rezultate u obradi.

3. Analiza rezultata pokusa

Iz dijagrama na slici 3 vidi se da je trošenje na stražnjoj površini daleko intenzivnije kod neprevučenog provlakača koji je do momenta istrošenja izradio 120 utora (ili 5 diskova). Za isti kriterij istrošenja, prevučeni provlakač obradio je 1080 utora (ili 45 diskova) što je za 9 puta više. Pri tom je postignuta hrapavost kod neprevučenog provlakača $R_a = 1,15 \mu\text{m}$, a kod prevučenog $R_a = 0,85 \mu\text{m}$ što je uz neznatnu doradu sasvim zadovoljavajuće.

Također su izvedeni pokusi sa prevučenim provlakačem nakon njegovog prvog oštrenja. Postignuta je još manja hrapavost, tj. $R_a = 0,5$ do $0,6 \mu\text{m}$, dok je postojanost bila manja od novog provlakača za cca 30 %. Ustvari, oštrenjem se smanjio radijus zaobljenja oštrice provlakača (koji je bio povećan zbog prisustva sloja TiN debljine 3 do $4 \mu\text{m}$).

4. Zaključci

U obradi provlačenjem utora u disku plinske turbine, primjenom provlakača od brzoreznog čelika ASP-30 prevučenih sa TiN dobiva se 9 puta veća postojanost u odnosu na primjenu istih neprevučenih provlakača. Također se dobiva i znatno bolja kvaliteta obrađene površine (manja hrapavost) čime skoro u potpunosti otpada dorada poliranjem što je također značajna ušteda.

Nakon prvog brušenja prevučenog provlakača dobije se još bolja kvaliteta obrađene površine, dok je postojanost manja za oko 30 %.

Kriterij istrošenja od $VB_K = 0,045$ mm uzet je za slučaj oštrenja prednje površine za $h = 0,04$ mm. Pošto se ovdje radi o vrlo skupim alatima, u daljnjim istraživanjima bilo bi potrebno iznaći optimalni kriterij istrošenja alata u operaciji provlačenja diskova.

Literatura:

- [1] König, W. : Fertigungsverfahren, Band 1, VDI - Verlag, Düsseldorf 1981.

- [2] Kacev, P. G. : Obrabotka protjagivaniem, Mašinostroenie, Moskva 1986.
- [3] Kacev, P. G. : Protjažnie raboti, Visšaja škola, Moskva 1985.
- [4] Vogel, J. : PVD -Schichten für den Verschleißschutz von Werkzeugen, VDI-Z 127 (1985) Nr. 17, S. 691-696.
- [5] Wegerhoff, H. : Beschichtete Räumwerkzeuge zum Bearbeiten von Werkstücken höherer Festigkeit, VDI-Z 127 (1985) Nr. 21, S. 857-863.

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA PRIMENE REZNIH ALATA OD KERAMIKE PRI OBRADI REZANJEM

TECHNO-OKONOMISCHE ANALYSE DER ANWENDUNG VON KERAMISCHNEIDWERKZEUGEN BEIM
SCHNEIDVERFAHREN

P. Dašić, Industrija "14.oktobar", OOUR Razvoj proizvoda i proizvodnih procesa,
S. Milošević, 37000 Kruševac, Jugoslavija
Đ. Filipović,
D. Brkić:
Lj. Todorović: Industrija "14.oktobar", OOUR fabrika građevinskih i poljoprivrednih
mašina, 37000 Kruševac, Jugoslavija

REZIME: U radu se razmatra tehno-ekonomska analiza opravdanosti primene rezne keramike, sa aspekta proizvodnosti i troškova obrade, za konkretne radne predmete iz proizvodnog programa Industrije "14.oktobar" i to kao zamena reznih alata od brzoreznog čelika i od tvrdog metala za obradu struganjem sa reznim alatima od keramike.

ZUSAMMENFASSUNG: Diese Arbeit umfaßt die techno-ökonomische Analyse der Anwendung von Schneidkeramik von Aspekt der Produktivität und Bearbeitungskosten fuer die konkrete Werkstueck aus dem Produktionsprogramm der Industrie "14.oktobar" und zwar als Austausch der Schnellstahl -und hartmetall schneidwerkzeugen fuer die Spanbearbeitung mit den Keramischneid werkzeugen.

1. UVOD

Jednostavna sredstva za smanjenje troškova obrade pri obradi rezanjem, bez nabavki novih investicija, je uvođenje i primena savremenih reznih alata (novo razvijenih reznih materijala, novo razvijene rezne geometrije i novo razvijenih fleksibilnih sistema alata). U ovom radu biće razmatrana svojstva oksidne, mešane i nitridne rezne keramike i njena perspektiva primene u oblasti obrade rezanjem u proizvodnim pogonima Industrije "14.oktobar".

Pravilnom primenom rezne keramike mogu se kod malih i srednjih serija postići veliki rezultati u povećanju produktivnosti, a kod velikih serija je potrebno kao i pri upotrebi tvrdog metala, da se zadnji procenti uštede postignu ispitivanjem, jer se samo tako može uzeti u obzir uticaj stanja mašine alatke, samog radnog predmeta itd, što je i cilj ovog rada.

Principijelno različita struktura tvrdog metala i rezne keramike kao reznog materijala zahteva i principijelno drukčije smernice za njenu primenu i optimizaciju. Habanje rezne keramike nije zavisno od brzine rezanja kao što je to kod tvrdog metala. Zbog ovog se pri upotrebi rezne keramike bira najveća moguća brzina rezanja s obzirom na ograničenja mašine alatke i radnog predmeta a optimizira se korak.

Pri primeni velikih brzina rezanja pri upotrebi rezne keramike glavna vremena su dosta kratka u poredjenju sa pomoćnim vremenima u ukupnoj strukturi vremena obrade. Pa se pri primeni rezne keramike optimizacija pomoćnog vremena u nikakvom slučaju ne sme zanemariti, što se bez ikakvog ulaganja postiže smanjenje troškova obrade i povećanje produktivnosti.

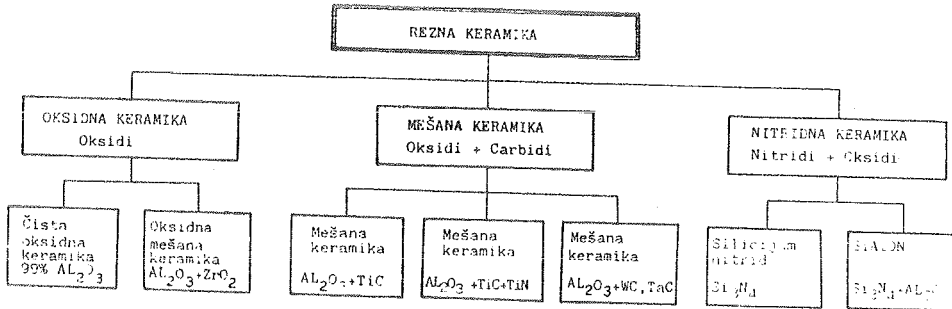
2. OBLASTI PRIMENE REZNIH ALATA OD KERAMIKE

Rezni alati od keramike izradjeni su od metalnih i nemetalnih čestica iz klase oksida, karbida i nitrida /4/, čija su osnovna svojstva: visoka tvrdoća, velika otpornost na habanje i pritisak, visoka hemijska stabilnost i kod vrlo visokih temperatura.

2.1. Podela rezne keramike

U osnovi razlikuju se tri vrste rezne keramike sl. 2.1 /2/:

- oksidna keramika (oksidi),
- mešana keramika (oksidi + carbidi) i
- nitridna keramika (nitridi + oksidi).



Sl. 2.1 Klasifikacija rezne keramike

Oksidna keramika (bela keramika) je čista oksidna keramika sa 99% Aluminijumoksida Al_2O_3 a ostatak najčešće čine oksidi magnezijuma MgO , hroma CrO ili cirkonijuma ZrO i mešana oksidna keramika sa oko 90% Aluminijumoksida Al_2O_3 i najčešće do 10% oksida cirkonijuma ZrO_2 koji se dodaje radi poboljšanja žilavosti i otpornosti na promenljiva termička naprezanja. Oksidna keramika je izuzetno finog zrna, otporna je na habanje i poseduje veliku tvrdoću na visokim temperaturama.

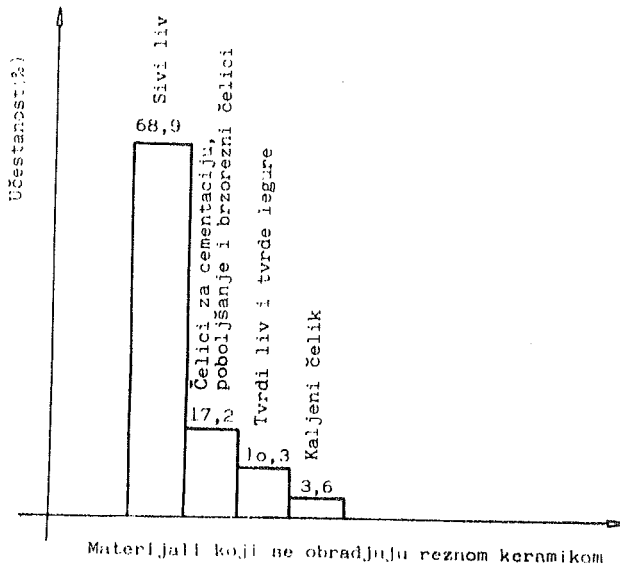
Mešana keramika se sastoji od oko 60% Aluminijumoksida Al_2O_3 sa dodatkom do 40% karbida titana TiC , volframa WC , tantala TaC , silicijuma SiC i nitrida TiN ili karbonitridda TiC/N . Mešana keramika ima ekstremno veliku čvrstoću reznih ivica i vrlo je otporna na habanje.

Nitridna keramika je čisti Silicijumnitrid Si_3N_4 sa dodatkom oksida itrija YO , magnezijuma MgO ili aluminijuma AlO i SiAlON sa Silicijumnitridom Si_3N_4 i Aluminijumoksidom Al_2O_3 . Nitridna keramika ima veliku postojanost pri mehaničkim i termičkim promenama, ima veliku žilavost i veliku tvrdoću na visokim temperaturama.

2.2. Oblasti primene reznih alata od keramike

Udeo reznih alata od keramike najveći je u oblasti obrade metala struganjem i uglavnom zavisi od materijala i vrste zahvata i iznosi od 2-6%. Medjutim, znatno veći udeo rezne keramike je 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 može da obradi jedna oštrica za vreme svoje postojanosti, osnovna je karakteristika rezne keramike, koja je našla primenu u kompletnoj mašinogradnji, a naročito u automobilskoj industriji zbog velikih serija /7/.

Rezna keramika se u početnoj fazi razvoja primenjivala pretežno za obradu sivog liva u velikoserijskoj proizvodnji, sa malim udelom tvrdog liva i tvrdih materijala. Razvojem reznog materijala u pravcu veće čvrstoće, postignuto je da udeo čelika u području primene ima tendenciju rasta sl. 2.2 /6/.



Sl. 2.2 Oblast primene rezne keramike.

Rezna keramika se izrađuje u obliku izmenljivih pločica i primenjuje se u oblasti grube i fine obrade struganjem, glodanjem i rendisanjem sivog liva, skoro svih vrsta čelika kao i kaljenih čelika veće tvrdoće 40-65 HRC, dok se zbog prirode osnovnog hemijskog sastava rezne keramike, ne preporučuje u oblasti obrade aluminijuma, titana i njihovih legura.

Oksidna keramika se primenjuje za grubu i finu obradu sivog liva i čelika pri velikim brzinama rezanja.

Mešana keramika je pogodna za grubu i finu obradu struganjem i glodanjem tvrdog liva, kaljenih čelika, čelika za cementaciju i poboljšanje kao i brzoreznih čelika pri velikim brzinama rezanja. Pri obradi kaljenih čelika potrebno je u prethodnim obradama ukloniti koru, ostatke peska ili šupljine.

Nitridna keramika se primenjuje u oblasti obrade struganjem i glodanjem sivog liva i livenih materijala sa nepovoljnim uslovima rezanja, uz nagle prekide rezanja, uz primenu rashladnog sredstva ili pri velikim zahtevima za dimenzionalne tačnosti obratka sa srednjim i velikim brzinama rezanja. Zbog visoke cene, nitridna keramika se primenjuje u velikoserijskoj proizvodnji naročito na automatskim linijama i fleksibilnim tehnološkim sistemima /7/.

Za grubu obradu slobodno kovanih, kovanih i presovanih delova gde su u procesu kovanja ili presovanja nastale veće greške, rezna keramika nije našla neku veću primenu.

I pored preimущества u pojedinim oblastima obrade metala rezanjem rezna keramika nije našla opštu primenu u domaćoj mašingradnji. Razlozi za ovo su višestruki. Rezni alati od keramike se mogu lako mehanički oštetiti i pre upotrebe. Pri primeni srednjih brzina rezanja pri upotrebi tvrdog metala glavna vremena su dosta kratka u poređenju sa pomoćnim vremenima u ukupnoj strukturi vremena obrade, pa dalje povećanje brzine rezanja pri primeni rezne keramike ne dovodi do proporcionalnog smanjenja vremena obrade. Smanjena žilavost i otpornost na savijanje uslovljavaju povećanu osetljivost na udarna (prekidno rezanje, šupljine u materijalu) 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 liva zbog drobljene strugotine. Jedan od nedostataka je i mali broj mašina koje imaju veliku pogonsku snagu i koje mogu ostvariti tako velike brzine rezanja už odgovarajuću stabilnost /1/.

3. FUNKCIJE TEHNO-EKONOMSKE ANALIZE PRIMENE REZNIH ALATA OD KERAMIKE

Kao osnovne funkcije tehnno-ekonomske analize pri obradi struganjem mogu se uzeti proizvodnost (ukupno vreme obrade) i troškovi obrade /1/.

3.1. Funkcija proizvodnosti

Za nivo elementarne operacije proizvodnost je izražena preko recipročne vrednosti ukupnog vremena obrade.

$$P = \frac{60}{t_u} \quad (\text{kom/h}) \quad (3.1)$$

Ukupno vreme trajanja pojedine elementarne operacije može da se rasčlani na dve grupe: ciklusno i vanciklusno vreme, a ove dalje na krajnje elemente strukture:

$$t_u = t_{pz} + (t_g + t_{pm} + t_{pr}) \cdot K_d + T_s \cdot \frac{t_g}{T} \cdot K_d \quad (3.2)$$

gde je : K_d - organizacioni faktor i korekcijski faktor koji uzima u obzir vreme za opsluživanje mašine i fiziološke potrebe radnika,

$T_s = k \cdot t_{ka} + t_l$ - vreme korekcije i zamene alata,

k - broj korekcija za vreme trajnosti sečiva,

t_{ka} - vreme korekcije reznog alata,

t_l - vreme zamene alata.

Ako se u izraz (3.2) uvedu izrazi za glavno vreme obrade pri uzdužnom struganju (t_u), vreme korekcije i zamene alata (T_s) i postojanost alata (T), u funkciji elemenata režima rezanja dobijamo ukupno vreme obrade za jedan zahvat.

$$t_u = t_{pz} + (t_{pm} + t_{pr}) \cdot K_d + \frac{L \cdot D \cdot K_d}{320} \left[\frac{1}{v \cdot s} + T_s \cdot \frac{v^{\frac{1}{m}-1} \cdot s^{\frac{y}{m}-1} \cdot t^{\frac{x}{m}-1}}{C_v^{\frac{1}{m}}} \right] \quad (3.3)$$

2.1.2. Funkcija troškova obrade

Vrednost troškova materijala i pojedinih dodatnih troškova teško je ili nemoguće svesti na nivo elementarne operacije. Pri tehnno-ekonomskoj analizi tehnološke varijante ovi troškovi su u većini slučajeva stalni i ne zavise od promene tehnološkog rešenja pa se ne uzimaju pri formiranju matematičkog modela odnosno funkcije troškova obrade kao funkcije tehnno-ekonomske analize.

Pošto se u većini metaloprerađivačkih organizacija koristi pojam "norma čas mašine", to je najsvrsishodnije troškove obrade elementarne operacije struganja izraziti sledećom jednačinom/1/:

$$T_z = t_u \cdot C_M + A_1 = t_u \cdot C_M + \left(\frac{C_1}{z} + \frac{C_2}{z \cdot N} \right) \cdot \frac{t_g}{T} \quad (3.4)$$

gde je : C_M - norma čas mašine za jedan minut vremena obrade, gde se izvršava elementarna operacija i koja obuhvata cenu koštanja mašine, električnu energiju, troškove za remont i održavanje, troškove proizvodnih i neproizvodnih radnika, troškove za izradu perforirane trake,

A_1 - troškovi eksploatacije alata sa izmenljivim pločicama,

C_1 - cena izmenljive pločice,

C_2 - cena držača pločice sa mehaničkim stezanjem i rezervnih delova,

z - broj sečiva izmenljive pločice,

N - planiran broj izmenljivih pločica koje može da izdrži jedan držač pločice za vreme njegovog veka trajanja.

Ako se u jednačinu troškova obrade (3.4) uvrste jednačine za glavno vreme obrade pri uzdužnom struganju na NU strugu i postojanost alata i jednačina (3.3) dobićemo izraz za troškove obrade u funkciji od režima rezanja:

$$T_z = \left[t_{pz} + (t_{pm} + t_{pr}) \cdot K_d \right] \cdot C_M + \frac{L \cdot D \cdot \Delta \cdot K_d \cdot C_M}{320} \left[\frac{1}{v \cdot s \cdot t} + (T_s + A) \cdot \frac{v^{\frac{1}{m}-1} \cdot s^{\frac{y}{m}-1} \cdot t^{\frac{x}{m}-1}}{C_v^{\frac{1}{m}}} \right] \quad (3.5)$$

gde je : $A = (1/C_M \cdot K_d \cdot z) \cdot (C_1 + C_2/N)$ - koeficijent troškova eksploatacije alata sa izmenljivim pločicama.

4. ANALIZA IZBORA ELEMENATA REŽIMA REZANJA PRI PRIMENI REZNIH ALATA OD KERAMIKE

Pri izboru elemenata režima rezanja pri primeni reznih alata od keramike pojavljuju se tri osnovne razlike u poredjenju sa izborom elemenata režima rezanja pri primeni reznih alata od tvrdog metala /3/:

- habanje reznih alata od keramike u toku obrade je do granične brzine rezanja skoro **proporcionalno** brzini rezanja,
- glavna mašinska vremena su zbog obrade sa velikim brzinama rezanja kraća od pomoćnih vremena i
- prema uobičajenim jednačinama optimizacije brzine rezanja i postojanosti alata, dobijeni podaci za obradu sa primenom reznih alata od keramike su

dosta veliki da nisu ostvarivi u praksi ili zbog suviše malog broja obrtaja ili suviše male pogonske snage mašine.

Ove razlike slede iz razlike u eksponentu m iz Taylor-ove jednačine postojanosti alata koji za tvrdi metal iznosi $m = 0,125-0,4$ a za rezu keramiku $m = 0,4-0,8$. Novija istraživanja pokazuju da se vrednosti za eksponent m za neke materijale još više približavaju graničnoj vrednosti $m = 1,0/3$. Prema tome pri izboru elemenata režima rezanja pri primeni reznih alata od keramike izabere se najveća moguća brzina rezanja s obzirom na ograničenja kao što su pogonska snaga mašine, ograničenja najvećim raspoloživim brojem obrtaja glavnog vretena mašine, obrazovanje strugotine i vibracije, a optimizira se korak uz respektovanje ograničenja kao što su kvalitet obradjene površine obratka, najveći i najmanji raspoloživi korak mašine, korak s obzirom na otpornost držača pločice na savijanje, korak s obzirom na dozvoljeni ugib obratka i procesu obrade, i korak s obzirom na najveću i najmanju vitkost strugotine / 1,3,9/.

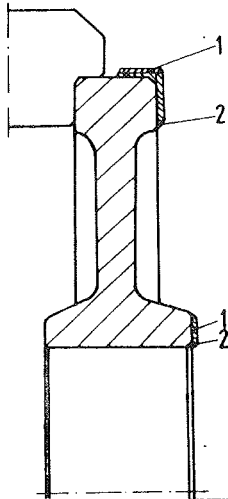
5. TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA PRIMENE REZNE KERAMIKE

Kao praktični primer tehnološke analize primene reznih alata od keramike uzeta je gruba obrada struganjem zupčanika na kNU strugu MD5S, sa učešćem 3 alata sa istim reznim pločicama, na seriji od $n=150$ komada. Ista operacija do tada je radjena na istoj mašini sa učešćem 2 alata. Za sva tri rezna alata od keramike brzina rezanja iznosi $v = 750$ m/min, a za oba reza alata od tvrdog metala iznosila je $V = 130$ m/min. Na sledeće dve strane prikazana je tehnološka varijanta obrade sa tvrdim metalom i sa reznom keramikom i popunjen nosač informacija o praktičnoj pogonskoj proveru tehnološke varijante sa reznom keramikom. Uočava se da su u nosaču informacija za pogonsku proveru tehnološke varijante zastupljeni podaci o materijalu, mašini, obratku, reznom alatu, elementima režima rezanja, habanju alata, hrapavosti obradjene površine, obliku strugotine i ostalom /1/. U toku procesa obrade sa reznim alatima od keramike praćeno je habanje alata na ledjnoj površini, hrapavost obradjene površine i oblik strugotine /1/.

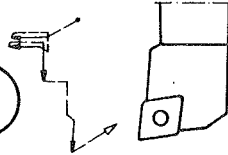
Uopredna tehnološka analiza vremena obrade, proizvodnosti i troškova obrade zupčanika sa tvrdim metalom i reznom keramikom prikazana je u tabeli na sl.5.1/1/. Iz tabele se uočava da se u strukturi vremena obrade primenom reznih alata od keramike drastično smanjuje glavno mašinsko vreme za 220,72% a ukupno vreme obrade za 27,33%, koliko se povećava i proizvodnost. Relativno malo povećanje ukupnog vremena obrade, bez obzira na drastično smanjenje glavnog vremena, objašnjava se malim odnosom glavnog i pomoćnog vremena pri obradi sa tvrdim metalom, koje je iznosilo 29,77% glavno vreme i 70,23% pomoćno vreme. Kod obrade sa reznim alatima od keramike ovaj odnos je drastično smanjen u korist glavnog vremena koje iznosi samo 11,82% a pomoćno vreme iznosi 88,18%. Značajna veća proizvodnost se pri primeni reznih alata od keramike može postići kod radnih predmeta čiji je odnos glavnog i pomoćnog vremena u ukupnoj strukturi vremena obrade veći u korist glavnog vremena, to jest kod radnih predmeta sa velikim učešćem alata u zahvatu (procesu obrade). Iz tabele se uočava da se troškovi alata drastično smanjuju primenom reznih alata od keramike za 237,84%, bez obzira što su rezni alati od keramike skuplji od reznih alata od tvrdog metala. Razlozi za ovo su sledeći: pri obradi sa reznim alatima od tvrdog metala upotrebljene su izmenjive pločice oblika C sa 4 rezne ivice, a pri obradi sa reznim alatima od keramike upotrebljene su izmenjive pločice oblika S sa 8 reznih ivica i pri obradi sa tvrdim metalom za skoro sve zahvate upotrebljen je jedan rezni alat čija je postojanost alata bila $T = 11,455$ min, a manjan je posle 15 uradjenih komada, pa je vreme zamene reznog alata i korekcije za seriju od 150 komada dosta veliko u odnosu na obradu sa reznim alatima od keramike. Ukupni troškovi obrade zupčanika sa reznim alatima od keramike smanjuju se za 33,55%. Na sl.5.2 grafički je predstavljena tehnološka analiza vremena obrade, proizvodnosti i troškova obrade zupčanika sa tvrdim metalom i reznom keramikom/1/.

Industrija 14. „OKTOBAR“ Kruševac	UVOĐENJE U PRIMENU REZNIH ALATA OD KERAMIKE PRI OBRADI REZANJEM U INDUSTRIJI „14. OKTOBAR“ - KRUŠEVAC	
Karakteristike obratka		Karakteristike obradnog sistema
Broj pozicije:	150198	Tip mašine: MD 5S
Broj operacije:	10	Proizvođač mašine: MAX MULLER
Materijal:	ZF-6 (16MnCr5)	Pogonska snaga P_M (KW): 25
Stanje materijala:	ZARENO	Maksimalni obrtni moment M_{M} (Nm): 2500
Zatezna čvrstoća σ_B (KN/cm ²):	55	Broj obrtaja n min/max (a/min): 20-4000
Tvrdoća HB:	120-185	Korak s min/max (mm/o): 0,1-4,0
Kvalitet obrađene površine R_a (mm): 3,2-6,3		

I - TEHNOLOŠKA VARIJANTA SA TVRDIM METALOM

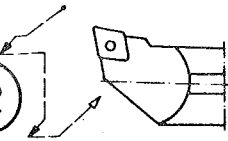


T1



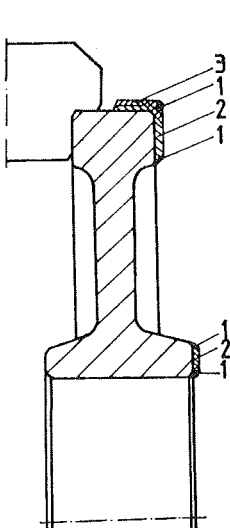
4.1.01.52.804
PCLNL 2525M 12
CNMG 120412-15 P 20
 $v = 130$ m/min
 $s = 0,35$ mm/o
 $t = 1,75-1,25-1,7$ mm

T2

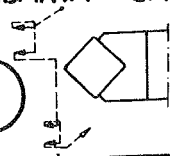


4.1.01.52.811
S32U-PCLNL 12
CNMG 120412-15 P 20
 $v = 130$ m/min
 $s = 0,3$ mm/o

II - TEHNOLOŠKA VARIJANTA SA REZKOM KERAMIKOM

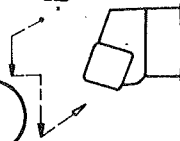


T1



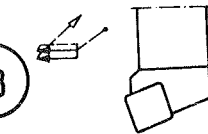
4.1.01.52.805
CSDNN 2525M 12
SNMN 120816T03030 SN80
 $v = 750$ m/min
 $s = 0,35$ mm/o

T2



4.1.01.52.806
CS-NR 2525M 12
SNMN 120816T03030 SN80
 $v = 750$ m/min
 $s = 0,35$ mm/o
 $t = 1,7$ mm

T3

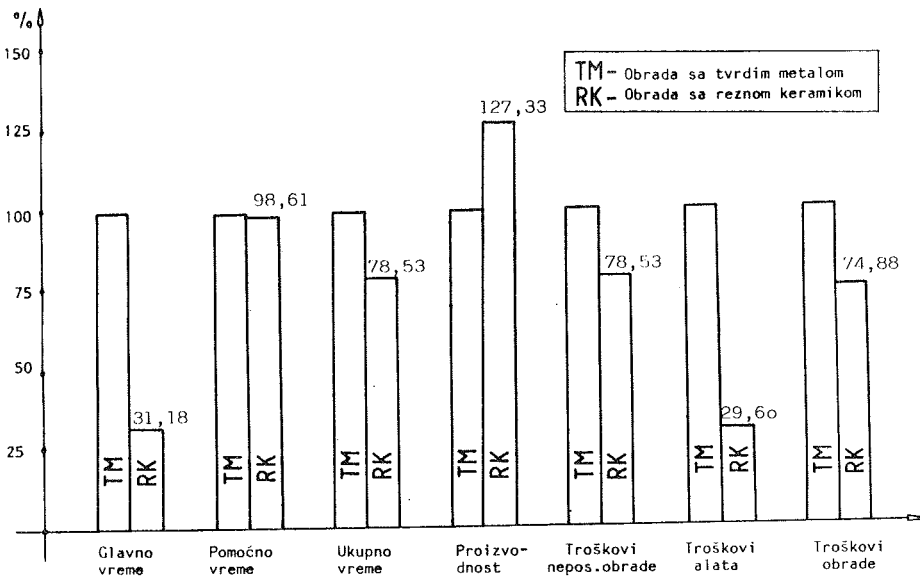


4.1.01.52.804
CS-NL 2525M 12
SNMN 120816T03030 SN80
 $v = 750$ m/min
 $s = 0,35$ mm/o
 $t = 1,75 - 1,25$ mm
 $i = 2$

PODACI ZA STRUGANJE				Izdati: 06.05.1987.								
Naziv dela	Zupčanik	Skica zahvata:										
Materijal	ZF 6	Alat br.1. Obarenje ivica										
Stanje materijala	Žareno	Alat br.2. Poprečno struganje										
Zatezna čvrstoća σ_m (KN/cm ²)	55	Alat br.3. Uzdužno struganje										
Tvrdoća	120-185 HB											
Tip mašine	MD 5S											
Proizvodjač mašine	Max Müller											
Pogon. snaga P_M (KW)	25											
Broj obrtaja n (o/min)	20-4000											
Korak s (mm/o) min/max	0,01-4,00											
Dužina obrade												
Prečnik obrade												
Tolerancija												
Hrapavost obrad.površ. R_a	3,2-6,3				Obradi bez SFP							
Rezni alat	1	2	3	Skica habanja alata:								
Držać pločice	CSNN2525M12	CS-NR2525M12	CS-NL2525M12	 								
Pločica	SNMN 126816 T03030	SNMN 126816 T03030	SNMN 126816 T03030									
Vrsta reznog materijala	SN 80	SN 80	SN 80									
Proizvodjač reznog alata	SPK Feldmuehle	SPK Feldmuehle	SPK Feldmuehle									
Režimi obrade												
Dubina obrade t (mm)	3-8	1,7	1,75-1,25									
Broj prolaza i	4	1	2									
Korak s (mm/o)	0,35	0,35	0,35									
Brzina rezanja v (m/min)	750	750	750									
Broj obrtaja n (o/min)	1156-2000	1236-2000	1142-1156									
Glavno mašinsko vreme t_{GA}	0,08	0,126	0,07									
Br. koraka za T_e N(kom/sec)	70	90	150									
Postojanost alata T_e (min)	5,60	11,34	10,5									
Izlazne karakteristike												
Habanje ledjne površine h	1,2	0,9	0,6									
Dubina kratera e												
Skraćenje vrha alata Δh												
Hrapavost obrad.površ. R_a	3,20	2,90	2,50									
Oblik strugotine	Spiralna	Kratka cilind.	Kratka cilind.									
Skica oblika strugotine:				Klasifikacija oblika strugotine:								
1	2	3										

VARIJANTA	Glavno vreme tg (min)	Pomoćno vreme tp (min)	Ukupno vreme tu (min)	Proizvodn. P(kom/h)	Troškovi nepos.obr Tno(din)	Troškovi alata &1(din)	Troškovi obrade To(din)
I - TEHNOLOŠKA VARIJANTA SA TVRDIM METALOM	0,975	2,300	3,275	18,32	655,00	52,889	707,889
II - TEHNOLOŠKA VARIJANTA SA REZKOM KERAMIKOM	0,304	2,268	2,572	23,33	514,40	15,655	530,055
POVEĆANJE - SMANJENJE II - VARIJANTE (%)	-220,72	-1,41	-27,33	+27,33	-27,33	-237,84	-33,55
ODNOS II PREMA I - VARIJANTI (%)	31,18	98,61	78,53	127,33	78,53	29,60	74,88

Sl. 5.1 Uporedna tehnološka analiza obrade zupčanika



Sl.5.2 Grafički prikaz tehnološke analize obrade zupčanika

U ukupnoj strukturi troškova obrade zupčanika sa reznim alatima od tvrdog metala najveći su troškovi pomoćnog vremena 64,98%, a zatim troškovi glavnog vremena 27,55% i troškovi alata 7,47%. Kod obrade zupčanika sa reznim alatima od keramike povećavaju se troškovi pomoćnog vremena na 85,58%, dok se troškovi glavnog vremena smanjuju na 11,47%, a troškovi alata na 2,95%.

ZAKLJUČAK

Iz izloženog slede osnovni zaključci:

- Pri primeni rezne keramike potrebno je pridržavati se uputstva vezanih za pravilan izbor i raspored zahvata i prolaza, naročito pri započinjanju rezanja,
- Primenom reznih alata od keramike na primeru obrade zupčanika postiže se povećanje proizvodnosti za 27,33% i smanjenje ukupnog vremena obrade za 27,33% i troškova obrade za 33,55%,
- Pri primeni reznih alata od keramike drastično se smanjuju troškovi alata, za 237,84% na primeru obrade zupčanika, bez obzira što su isti skuplji od reznih alata od tvrdog metala,
- Pri primeni reznih alata od keramike najveću pažnju treba posvetiti izboru brzine rezanja (broj obrtaja glavnog vretena mašine) s obzirom na ograničenje raspoloživom snagom mašine,
- Znatno veliko povećanje proizvodnosti i smanjenje ukupnog vremena obrade i troškova obrade postiže se kod obradaka sa velikim učešćem alata u zahvatu (procesu obrade),
- Znatno veliko povećanje proizvodnosti i smanjenje ukupnog vremena obrade i troškova obrade postiže se u oblasti obrade kaljenih čelika i u oblasti struganja radijalnih pravouglanih žljebova,
- Pri primeni rezne keramike na primeru obrade zupčanika, pomoćna vremena su dosta velika, zbog obrade sa velikim brzinama rezanja, pa se njihova optimizacija u nikakvom slučaju ne sme zanemariti.

LITERATURA

- /1/ Dašić P., Uvodjenje u primenu reznih alata od keramike pri obradi rezanjem u Milošević S., proizvodnim pogonima Industrije "14.oktobar", naučno-istraživački projekat, Todorović Lj., jekat, Kruševac, 1987- 1990.
Brkić D.i dr.:
- /2/ Technisches Handbuch 606D, Hertel Schneid keramik, Werkzeugfabrik Hertel
- /3/ Gomoll V.V.: Optimierungsrichtlinien für den Einsatz von Schneidkeramik beim Drehen, VDI-Z Bd.123, 1981.Nr.20, 181-190.
- /4/ Dworak U.: SPK-Schneid keramik, Die Entwicklung zum Hochleistungs- Schneidstoff für die tagliche Praxis, Schneidkeramik-Tage, Dusseldorf, 1984, 4-10
- /5/ Abel R., Kraft H.: SPK+Werkzeuge, Neue Systeme für das Drehen und Fräsen mit Schneidkeramik, Schneidkeramik-Tage, Dusseldorf, 1984., 11-26
- /6/ Glockner R.: Moderne Anwendungstechnik optimiert die Produktion und steigert die Wirtschaftlichkeit Schneidkeramik-Tage, Dusseldorf, 1984., 27-46.
- /7/ Johannsen P., Einsatz der Nitridkeramik in der Zimmermann R.: Serienfertigung, Lehrgang Nr.8867/65.021, Schneidkeramik, TA, Esslingen, 1986.
- /8/ Stark C.V.: Tiefschleifen von technischen keramiken, VDI-Z Bd.128, 1986., Nr.20, 785-790
- /9/ Anwendung und Einsatz von SPK-Schneidkeramik.
Firmenschrift der SPK-Feldmühle AG, Werk Plochingen.

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

KONCENTRISANO HABANJE ALATA I OBLICI STRUGOTINE
CONCENTRATED TOOL WEAR AND CHIP FORMS

S.Radonjić

Tehnički fakultet Čačak,
32000 Čačak, Jugoslavija

V.Šolaja

Mašinski fakultet Beograd, LOLA Institut,
11000 Beograd, Jugoslavija

Ključne reči:

Koncentrisano
habanje
Strugotina
Obradjena
površina

SAŽETAK: U ispitivanju radnih površina pohabanog alata primenjene su moderne eksperimentalne metode (skening mikroskop i elektronski mikroanalizator), i učinjen je pokušaj da se doprinese boljem razumevanju mehanizma koncentrisanog habanja alata, kao i da se dokaže postojanje "primarne", "sekundarne" i "tercijarne" strugotine.

Key words:

Concentrated
wear
Chips
Machined
surface

ABSTRACT: In examining the working surfaces of a worn cutting tool by applying the modern experimental methods (scanning electron microscope and electron probe analyser), the authors made an attempt to contribute to a better understanding of concentrated tool-wear mechanism, and to prove the existence of the "primary", "secondary" and "tertiary" chips, when cutting with a worn tool.

1. Uvod

Pri završnoj obradi čelika na strugu nejednoliko habanje sečiva alata ima bitan uticaj i na kvalitet obrade. Poseban vid nejednolikog habanja, nazvan "koncentrisano habanje", bilo je predmet izučavanja poslednjih tridesetak godina. Osnove za razumevanja ovog fenomena, važnog i za praksu metaloprerađe, dao je drugi autor u istraživanjima započetim još 1952.godine /1,2/.

U ovom radu, koji predstavlja produžetak istraživanja koncentrisanog habanja, potvrđene su neke ranije hipoteze, a koristeći savremene metode (skening mikroskop i elektronski mikroanalizator) pokušao je dalji pristup mehanizmu koncentrisanog habanja, a takodje i identifikacija različitih

vidova strugotine.

2. Osvrt na koncentrisano habanje alata

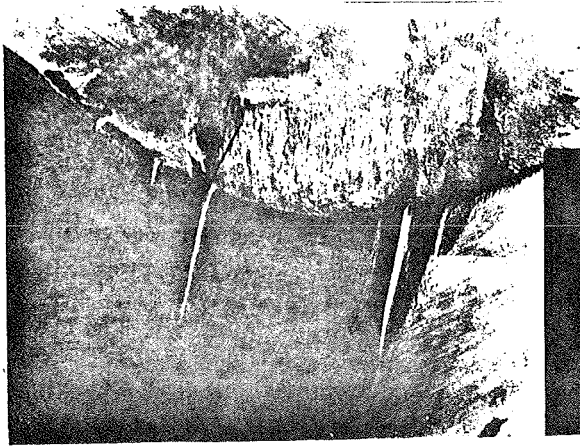
Koncentrisano habanje lokalizovano na granična područja kontakta između alata i strugotine, odnosno radnog predmeta, veoma je kompleksan fenomen, a intenzitet pojave je rezultat kombinovanog dejstva niza uticajnih faktora, kao što su pored ostalog:

- na mestu pojave žljeba alat je u kontaktu sa površinskim slojem ojačanim usled plastičnog deformisanja i sabijanja obradjivanog materijala za vreme prethodnog obrtaja predmeta;
- zbog male debljine preseka strugotine na mestu pojave žljeba velike su specifične sile rezanja;
- na mestu kontakta postižu se visoke temperature pri kojima kiseonik iz vazduha stupa u hemijsku reakciju sa kobaltnom fazom tvrde legure i karbidima volframa i titana, pri čemu formirani oksidi imaju nižu tvrdoću od tvrdoće tvrdih legura, što stvara povoljne uslove za intenzivnije habanje alata;
- koncentrisano habanje se javlja kao rezultat neravnomernosti termoelektričnih procesa na lednjoj površini alata.

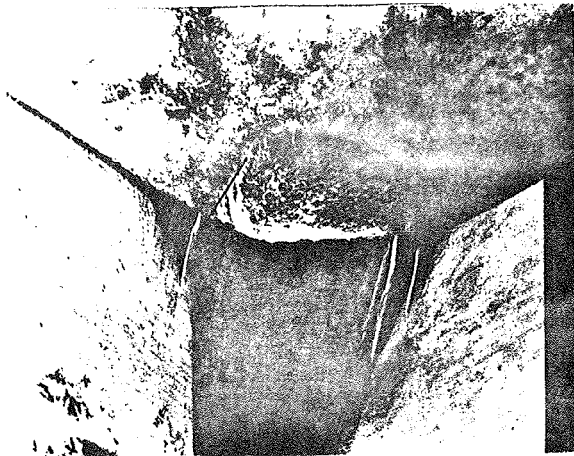
Izučavanje ovog fenomena je od važnosti ne samo za postojanost alata, već i za kvalitet obradjene površine. Eksperimentalna istraživanja su pokazala da se deo sečiva na kojem se javlja koncentrisano habanje zakonomerno reprodukuje na obradjenoj površini, čime ono utiče na promenu kvaliteta obrade u vremenu.

3. Identifikacija koncentrisanog habanja alata primenom skening mikroskopa i elektronskog mikroanalizatora

Zahvaljujući primeni skening mikroskopa i elektronskog mikroanalizatora omogućeno je detaljno izučavanje stanja alata posle obrade. Pored drugih faktora, koji definišu proces rezanja, bitan uticaj na karakter habanja alata ima i vrsta obradjivanog materijala. Na mikrofotografijama 1. i 2. prikazan je pohabani vrh alata sa koncentrisanim habanjem pri obradi Č.1430, odnosno Č.1730. Zapaža se razlika u karakteru habanja: pri obradi Č.1730 alat se intenzivnije haba po grudnoj i lednjoj površini, a takodje i sečivo. Na pomoćnoj reznoj ivici je, nadalje, prisutno više žljebova za kraće vreme rezanja, što je posledica intenzivnijeg radijalnog habanja sečiva. Pritom se pretpostavlja da je pri obradi Č.1730 izraženije abrazivno habanje usled nemetalnih uključaka, prisutnih u ovom materijalu. Primenom elektronskog mikroanalizatora napravljen je snimak koncentracije Fe na pohabanom delu alata sa koncentrisanim habanjem. Kod svih uzoraka zapaža se prisustvo Fe u tragovima na formiranim žljebovima. Pri tome je najveća koncentracija na prvom, najviše pohabanom žljebu, što govori da je u procesu rezanja prisutna mikroathezija između obradjivane



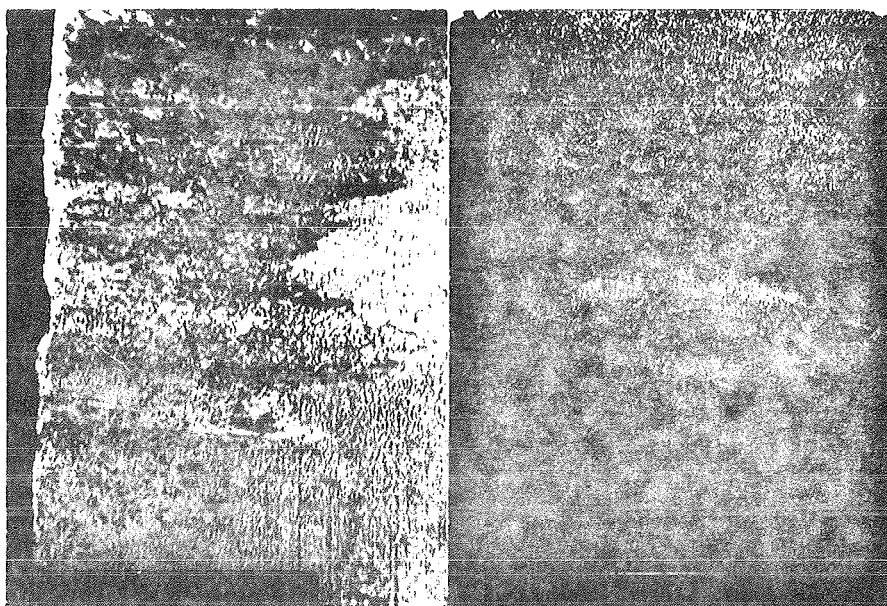
Sl.1. Pohabani vrh alata sa koncentrisanim haban-
njem (P10, $r=0,4$ mm, $\dot{C}.1430$, $v=148$ m/min,
 $s=0,107$ mm/o, $\delta=0,2$ mm, $l=6,26$ Km)-SEI-100x



Sl.2. Pohabani vrh alata sa koncentrisanim haban-
njem (P10, $r=0,4$ mm, $\dot{C}.1730$, $v=171$ m/min,
 $s=0,107$ mm/o, $\delta=0,2$ mm, $l=4,11$ Km)
- SEI-100x

površine i površine alata. Na slici 3. data je pohabana ledjna površina alata sa koncentrisanim haban-
njem (a) i na istoj površini koncentracija Fe (b).

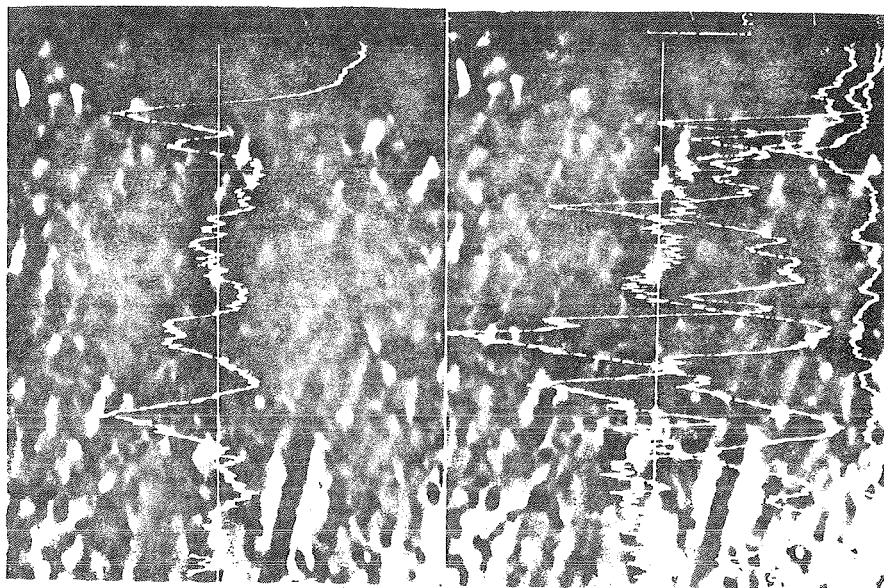
Da bi se potvrdila pretpostavka da je, osim abrazivnog i athezionog koncentrisanog habanja prisutno i difuziono habanje, napravljena je analiza koncentracije elemenata alatnog materijala u graničnom površinskom sloju



(a-COMPO-300x)

(b-x_{Fek}-300x)

Sl.3. Koncentrisano habanje alata - (a), koncentracija Fe - (b) za alat sl.2.



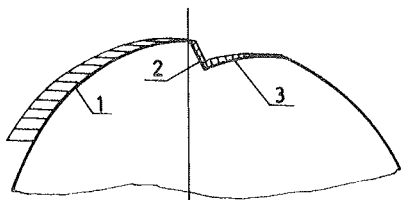
Sl.4. Koncentracija elemenata u površinskom sloju alata datog na sl.1. (P10,C.1430,v=148 m/min) - BSE-COMPO-3000x

prvog žljeba, i to na dužini od 1 μm od sečiva u pravcu grudne površine, kako je to prikazano na slikama 1. i 2. Na slici 4. dati su rezultati jednog eksperimenta koji se odnose na alat iz slike 1.

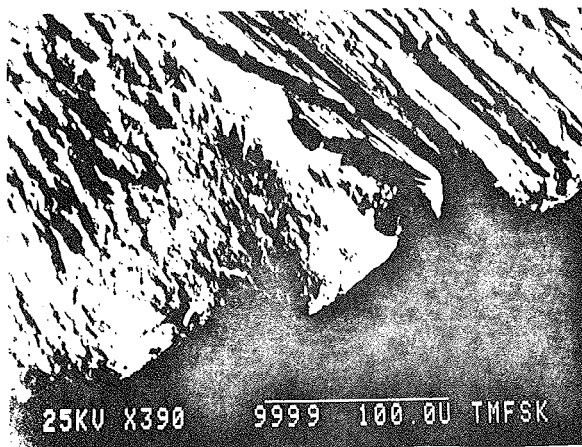
Kod svih ispitivanih uzoraka zapaženo je da je promena Co i Ti u graničnom području neznatna, a pad W dosta izražen; Fe je skoro ravnomerno raspoređeno na ovoj dužini. Tendencija pada W u graničnom području može da se dovede u vezu sa difuzijom.

4. Pojavni oblici strugotine pri koncentrisanom habanju alata

Pored toga što se sa vremenom rezanja produbljuje i proširuje, formirani prvi žljeb istovremeno i reže. Prema pojednostavljenom modelu na slici 5. prisutna su pored "primarnog", još dva sečiva "sekundarno" i "tercijarno" na kojima bi trebalo očekivati da će se izdvajati strugotine "višeg reda".



Sl.5. Sečiva na reznom alatu:
1-primarno, 2-sekundarno
i 3-tercijarno sečivo

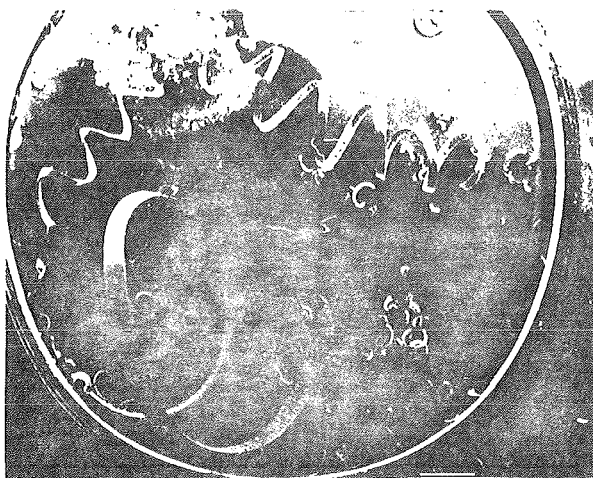


Sl.6. Mikrofotografija koncentrisanog habanja alata
(P10, pri obradi Č.1430)

U toku eksperimentalnih istraživanja koncentrisanog habanja pri obradi struganjem bila je zapažena i sitna strugotina, definitivno različita od glavnog toka. Pretpostavlja se da je reč o strugotini izdvojenoj sa sekundarnog (imajući u vidu pomeranje žljeba u smeru pomoćnog kretanja) i sa tercijarnog sečiva (koje bi trebalo da je približno paralelno sa primarnim sečivom i ima istu ulogu). Eksperimentalno verifikovanje ove pretpostavke je za sada otežano, jer se obradjuje pri visokim brzinama rezanja, te dolazi do njihovog raspršivanja.

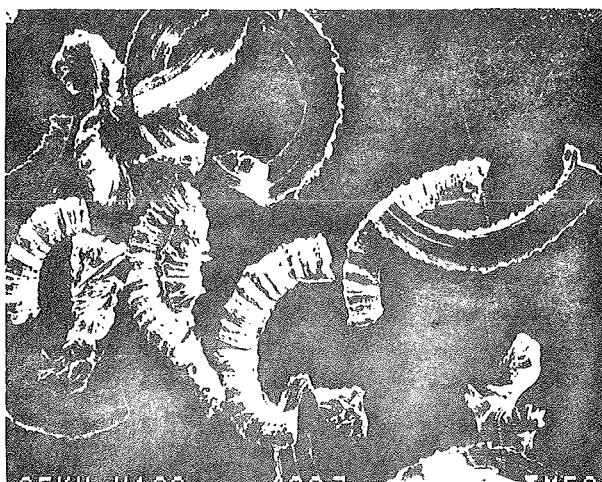
Na mikrofotografiji 6., posmatrano sa grudne strane, vidljiva su dva žljeba koncentrisanog habanja sa sekundarnim i tercijarnim sečivom. Na prvom žljebu vidljivi su tragovi kretanja sitne strugotine, čiji je pravac približno paralelan sekundarnom sečivu.

Pojavni oblici strugotine pri koncentrisanom habanju alata prikazani su na slici 7. Najveća strugotina je primarna strugotina izdvojena na primarnom sečivu. Ostali oblici strugotine su izdvojeni na sekundarnom i tercijarnom sečivu pri formiranom prvom žljebu koncentrisanog habanja alata.



Sl.7. Pojavni oblici strugotine pri koncentrisanom habanju alata (P10, C.1430, $v=200$ m/min, $s=0,107$ mm/c i $\delta=0,1$ mm)- $\times 10$

Najsitnija strugotina prikazana je pri većem povećanju na slici 8. Upoređujući sve oblike sitne strugotine sa primarnom strugotinom zapaža se određena sličnost: i na ovim strugotinama razlikuje se leđnja strana strugotine (klizi po alatu), prednja ili slobodna strana, a takodje i bočna strana sa izraženim lamelarnim deformacijama. Sve to utvrđuje pretpostavku da je u pitanju normalni proces rezanja nekim drugim sečivom, znatno manjim od primarnog.



Sl.8. Najsitnija strugotina (P10, č.1430,
 $v=200$ m/min, $s=0,107$ mm/o i $\delta=0,1$ mm)-x1000

Različiti oblici i veličine dopunske strugotine mogu da budu posledica i posebnih efekata u procesu rezanja: greben formiran na površini radnog predmeta pri prolazu kroz prvi žljeb od momenta prvog kontakta sa sečivom na razmaku koraka noža "s" od prvog žljeba biva delimično sastrugan, uz istovremeni efekat na formiranje drugog žljeba na sečivu. Međutim, ovo je predmet daljih istraživanja.

5. Zaključak

Neke ranije pretpostavke o koncentrisanom habanju pri završenoj obradi čelika na strugu potvrđene su i proširene zahvaljujući savremenoj eksperimentalnoj tehnici, pri čemu je reč o dejstvu abrazivnog, athezionog, ali takodje i difuzionog habanja.

Takodje je uvedeno razlikovanje tzv. "primarne", "sekundarne" i "tercijarne" strugotine, a predviđena je mogućnost pojave još jednog vida sitne strugotine.

6. Literatura

- /1/ Šolaja V., Wear of Carbide Tools and Surface Finish Generated in Finish Turning of Steel, Wear, Delft, 1 (1958) 40
- /2/ Šolaja V., A Contribution to the Surface Finish Evaluation in Machining, Annals of the CIRP, Berne, 21 (1972) 1, p.151-152, kompletna verzija u: Saopštenja IAMA, 16 (1972) 2265-2276
- /3/ Radonjić S., Dalji prilozi ispitivanju završne obrade na strugu, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd (1986)
- /4/ Šolaja V., Radonjić S., Lukić Lj., Dva priloga stavu o koncentrisanom habanju reznog alata kao univerzalnom fenomenu, Proizvodne tehnologije, Zbornik radova 20. sav. proizvod. mašin. Jugoslavija, Beograd (1986).

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

VPLIV SINTETIČNE HLADILNO-MAZALNE TEKOČINE NA OBDELOVALNOST AVSTENITNEGA
NERJAVNEGA JEKLA IN JEKEL ZA OBDELAVO NA AVTOMATIH

THE EFFECT OF THE SYNTHETIC COOLING/LUBRICATING FLUID ON THE MACHINABILITY
OF AUSTENITIC STAINLESS STEEL AND THE CUTTING STEEL

- J. Kopač Fakulteta za strojništvo, Univerze E. Kardelja
61000 Ljubljana, Jugoslavija
- Z. Seljak Fakulteta za strojništvo, Univerza E. Kardelja
61000 Ljubljana, Jugoslavija

Ključne besede: Hladilno-mazalne tekočine, ki jih uporabljamo pri odrezavanju se delijo v več skupin: rezalna olja, emulzije, polysintetični in sintetični pripravki. Pravilna izbira pripomore k zboljšanju obdelovalnosti, ker se poveča obstojnost orodja, izboljša se hrapavost površine, istočasno pa obdelovanec za določen čas zaščitimo proti koroziji. Ob tem je pomembna pravilno izbrana koncentracija obdelovalne tekočine. V prispevku je prikazan kratek pregled hladilno-mazalnih tekočin in razlaga vpliva le-teh na sistem obdelovanec - orodje. Z enačbami obstojnosti smo prikazali izboljšanje obdelovalnosti ob uporabi hladilno-mazalne tekočine SHMT. Prav tako smo zajeli tudi prikaz vpliva na hrapavost obdelane površine.

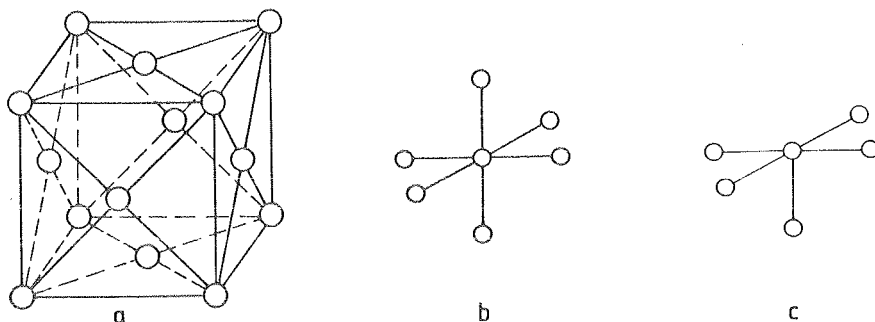
Key words: The cooling/lubricating fluids used in cutting can be divided into several groups: cutting oils, emulsions, semisynthetic and synthetic substances. The right choice of these agents helps to improve the machinability, increasing the tool life, surface hardness and at the same time protecting the workpiece against corrosion. The choice of the concentration of the machining fluid is here very important. The contribution presents a short survey of the cooling/lubricating fluids and explains their effect on the workpiece/tool system. By means of tool life equations the improvement of the machinability was illustrated using the cooling/lubricating agent called SHMT. Finally also the effect on the roughness of the machined surface is presented.

1. HLAJENJE IN MAZANJE PRI REZALNEM PROCESU

Splošni pristop k problematiki trenja, mazanja in obrabe je v prispevku /1/ obravnaval že Albert Struna. V današnjem jeziku bi obravnavano tematiko lahko imenovali tudi tribologija. Zaradi odvisnosti od mnogih pogojev, predvsem pa od obratovalnih okoliščin, se pojavljajo na drsnih ploskvah zelo različne oblike trenja in obrabe. Obrabo skušamo na različne načine zmanjšati na najmanjšo možno mero. Razlikujemo lahko tri različne vrste trenja, in sicer: suho, mejno in tekočinsko.

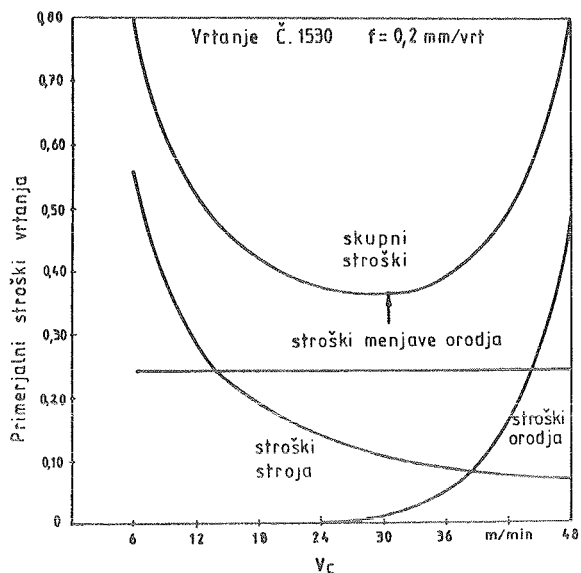
Delec kristala, ki je prikazan na sliki 1a v obliki kubične elementarne celice, je sestavni element posameznega kristala. Kristalno omrežje na sliki 1a ima idealno gladke ploskve.

Za drsne pojave je največjega pomena razvrstitev atomov na površini. Atom iz notranjosti kovine, slika 1b, je vezan na šest nasprotno nabitih atomov. Če na površini zgornji atom manjka, slika 1c, deluje le pet vezi. Taka skupina je električno nenasičena, ker ima za vezavo z enim atomom še prosto energijo. Tako nastale nevezane površinske napetosti so odločilne za drsne pojave pri kovinah in zato tudi pri mazanju. Kadar drsita dve idealno gladki površini druga po drugi, je treba s tornim delom premagovati proste površinske napetosti oziroma sile. Površinski atomi ene kovine prihajajo pri drsenju v območje sil, ki jih povzročajo atomi na površini druge. Za drsno gibanje potrebna sila mora biti večja od privlačnih sil omenjenih atomov.



Slika 1: Kubična kristalna rešetka

- a - kristalno omrežje
- b - vezanje atoma iz notranjosti kovine
- c - električno nenasičena skupina atomov



Slika 2: Vpliv rezalne hitrosti na optimalno obdelavo

Kako majhen obseg imajo idealno gladke površine, je razvidno iz znane slike pod mikroskopom, ki prikazuje obdelano površino in je videti kot miniaturno pogorje. Trdnost površine je določena s silami omrežja in obdelovalnim postopkom. Ker znašajo v kristalnem omrežju dimenzije le nekaj Å, je razumljivo, da se pri odrezavanju iztrgujejo neenakomerni delci, ki so mnogo več kakor samo kristali. Pri fini obdelavi se trdnost površine poveča. S poliranjem se namreč vrhovi površine vtiskajo v doline. Tako dobimo večjo gostoto materiala in ojačanje površine.

Pri medsebojnem drsenju dveh kovin se torej dotikajo površinski vrhovi in je zaradi strižnih uporov potrebna večja gibalna sila. Opisan način suhega trenja pa obstaja le teoretično, kajti na površinah so vedno prisotne različne prevleke - vlaga, oksidi, olje... V takih primerih prehaja suho trenje v mejno. Mejno trenje se pojavlja med drsnima ploskavama zaradi molekularnih sil, če je med njima še "tretja" snov, praviloma nekaj maziva. Pri tekočinskem trenju so torni pojavi odvisni samo še od maziva, tako da je struktura drsnih površin komaj še odločujoča.

Vpliv hladilno-mazalnih tekočin je torej dokazano pozitiven, še posebej pri postopkih odrezavanja, kjer se skušamo izogibati pretiranemu trenju na rezalnem robu prav zaradi obrabe orodja. Obraba orodja je povezana s Taylorjevo enačbo obstojnosti ne samo v tribološkem sistemu pač pa tudi iz vidika ekonomike obdelave.

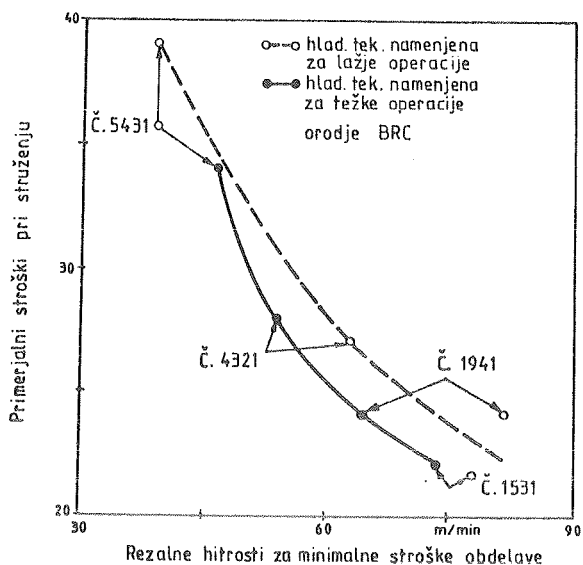
Cena hladilno-mazalne tekočine je v primerjavi s strojem in orodjem zelo majhna /2/, tako da se za boljši izkoristek le-teh moramo odločiti za uporabo mazanja. Na sliki 2 je prikazan vpliv variranja stroškov orodja in stroja na optimalno rezalno hitrost. Le-ta se znatno poveča, ko v sistem vključimo hladilno-mazalno tekočino.

Z uporabo različnih kvalitete hladilnih tekočin jih je mogoče razdeliti v dve pomembni skupini; ena je uporabna za odrezavanje pri lažjih operacijah, v drugo skupino pa štejemo tiste, s katerimi uspešno odrezujemo pri težkih pogojih obdelave. Obdelava različnih vrst obdelovalnih materialov zahteva prilagoditev razalne hitrosti kljub uporabi pravilno izbrane hladilno-mazalne tekočine. Iz slike 3 je razvidno, da z izbiro optimalne rezalne hitrosti dobimo za vsak primer minimalno ceno obdelave.

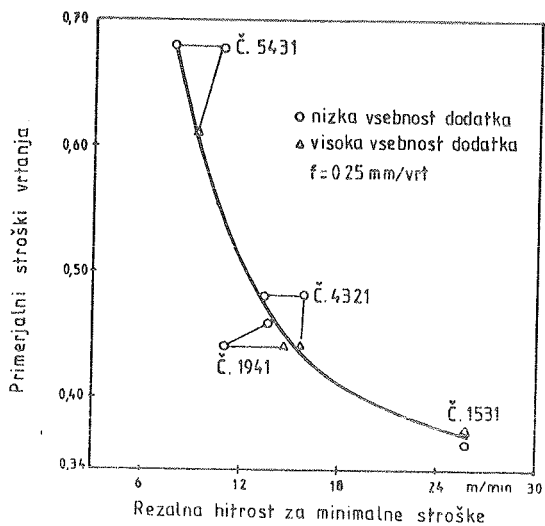
Izbira težjih pogojev obdelave težko obdelovalnih materialov zahteva temu ustrezne hladilne tekočine. Z vsebnostjo dodatkov hladilni tekočini reguliramo njene hladilno-mazalne efekte. Na sliki 4 vidimo, da uspemo znižati stroške obdelave pri vrtnanju s povečano vsebnostjo dodatka hladilni tekočini.

Z raziskavami je bilo ugotovljeno, da se pri plastičnem preoblikovanju pri nastajanju odrezka generira 2/3 do 3/4 celotne toplote v rezalnem procesu. Preostali del pa je posledica trenja med odrezkom in orodjem /3/. Z zmanjšanjem temperature na rezalnem robu povečamo obstojnost orodja po naslednji enačbi:

$$t^{28} \cdot T = K$$



Slika 3: Vpliv vrste hladilne tekočine in obdelovalnega materiala na minimalne stroške pri struženju



Slika 4: Vpliv dodatkov hladilne tekočine in obdelovalnega materiala na minimalne stroške pri vrtanju

t^{28} temperatura na orodju / °C /

T obstojnost orodja / min /

K konstanta / $(567)^{28}$ /

Ob tem je temperatura na orodju pri struženju običajnih jekel 600 °C, pritisk na orodje pa 1500 N/mm². Kot je razvidno iz slike 5, je zato hlajenje neobhodno potrebno, saj se v nasprotnem primeru obstojnost orodju zmanjša na minimalno vrednost.

Dolžina strižne cone se s hlajenjem bistveno skrajša, s tem so pritiski na orodje manjši in ne nastajajo zvarni spoji med orodjem in obdelovancem, kot to kaže slika 6. Z dovajanjem hladilne tekočine odstranimo tudi suho trenje, tako da je med orodjem in obdelovancem prisoten vmesni nosilni film, ki povzroča tekočinsko trenje. Ob tem sočasno zaščitimo pred korozijo tudi obdelovanec, ki se je v fazi obdelave omočil s hladilno mazalno tekočino. Dodatki v hladilni tekočini ustvarijo na obdelani površini tanek film molekul, ki so negativno nabite. S tem so tesno vezane na površino obdelovanca v obliki polarizacijskega filma. Drug način kemične zaščite pred korozijo pa je s pasivizacijskim filmom. Oba primera prikazuje slika 7.

V testiranje hladilno mazalnih tekočin spada tudi določanje mazalnih lastnosti /4/. Primerena metoda je z Reichertovo tehtnico, ki jo kaže slika 8. Deluje kot dvojni ročni mehanizem, po katerem se trdno vpet preizkusni valjček vtiska v vrteči jekleni obroč, ki je do spodnje tretjine potopljen v hladilno mazalno sredstvo.

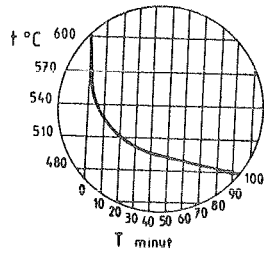
Pri odločitvi o uporabi hladilno mazalne tekočine moramo torej izbrati med hladilnim in mazalnim učinkom. Hladilni učinek je odločilen še posebej takrat kadar obdelujemo toplotno slabo prevodne materiale, kamor spadajo tudi avstenitna nerjavna in visoko legirana manganova jekla. Ob tem izbiramo torej primerno hladilno sredstvo, ki dopušča obdelavo pri večjih rezalnih hitrostih, ne da bi presegli dopustno temperaturno obremenitev rezalnega robu.

Opisanim zahtevam ustrezajo sintetske raztopine, kar je razvidno tudi iz slike 9 /5/.

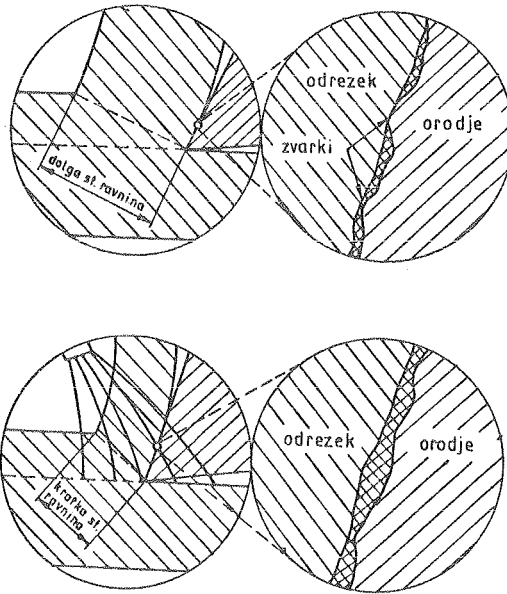
Razlika v dopustni povečani rezalni hitrosti glede na dopustno temperaturo pri odrezavanju je znatno. V praktičnem primeru obdelovalnosti jo lahko izrazimo z obstojnostjo orodja. Pri vrtnanju se skupna prevrtana globina poveča oziroma vrtamo lahko z večjimi rezalnimi hitrostmi, kadar uporabljamo sintetično raztopino - slika 10.

2. OPIS SINTETIČNE HLADILNE TEKOČINE SHMT /6/

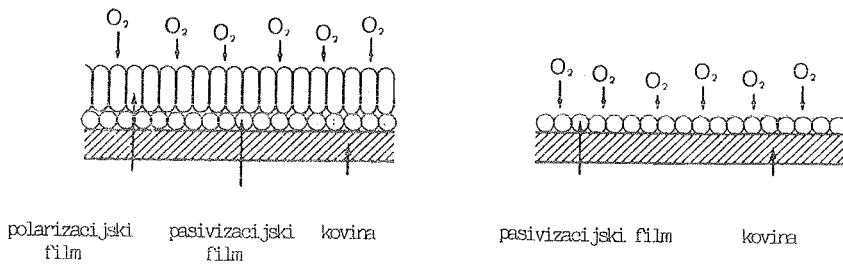
Izdelana je na osnovi kondenzacijskih produktov visokomolekularnih spojin /6/. Za znižanje površinske napetosti raztopine vsebuje SHMT omakalno komponento, ki vpliva na dobro omočenje in s tem na odvajanje toplote. Mazalna komponenta je sintetični produkt, ki istočasno deluje kot inhibitor korozije. Je zeleno rumenega izgleda, fluorescentna in bistra viskozna tekočina. V vodi je dobro topna v vseh razmerjih. Priporoča se 4 odstotna vodna raztopina tam, kjer prevladuje zahteva po hlajenju, ob zahtevi po mazanju (rezanje navojev, freziranje zobnikov, posnemanje), pa povečamo odstotek raztopine na 8 - 15 %.



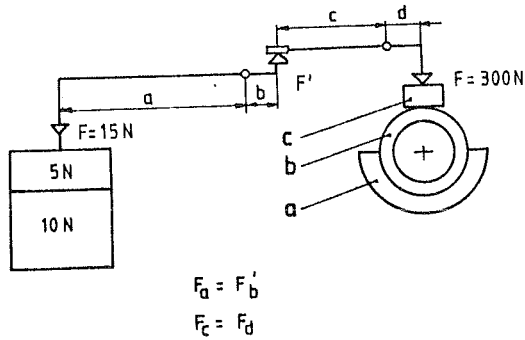
Slika 5: Vpliv temperature na obstojnost orodja



Slika 6: Vpliv hladilne tekočine na dolžino strižne cone

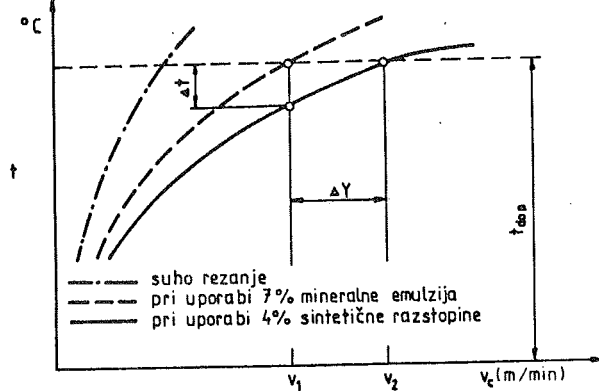


Slika 7: Proti korozijska zaščita obdelovanca

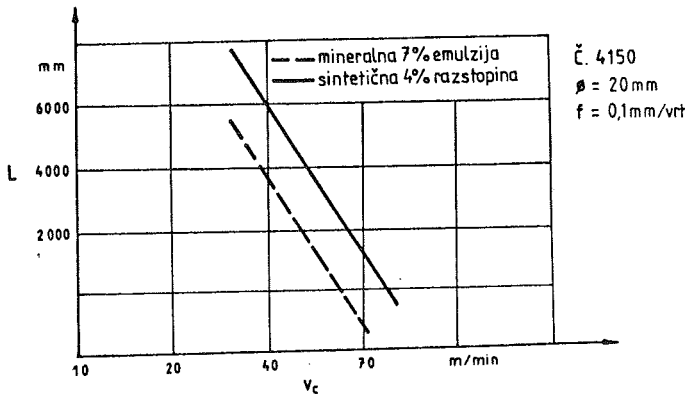


Slika 8: Osnova delovanja Reichertove tehtnice

- a - mazalno sredstvo
- b - jekleni obroč
- c - preizkusni valjček



Slika 9: Vpliv hladilne tekočine na povečanje obdelovalne hitrosti



Slika 10: Obstočnost orodja glede na uporabo mineralne emulzije in sintetične raztopine

Pri koncentraciji 2 % ali manj pride na izdelkih do znakov korozije.

3. VPLIV SHMT NA OBSTOJNOST ORODJA IN HRAPAVOST OBDELANE POVRŠINE

Pri raziskavah uporabnosti hladilno mazalnega sredstva SHMT smo se odločili za testiranje na obdelovancih za obdelavo na avtomatih ATJ 100 Pb in na nerjavnih jeklih Č.4572 /7/. Material smo obdelovali z vrtnjem in struženjem. Pri tem smo zasledovali obstojnost orodja pri nehlajenem rezalnem procesu in pri hlajenju s SHMT. Poleg obstojnosti pa smo zasledovali še hrapavost obdelane površine.

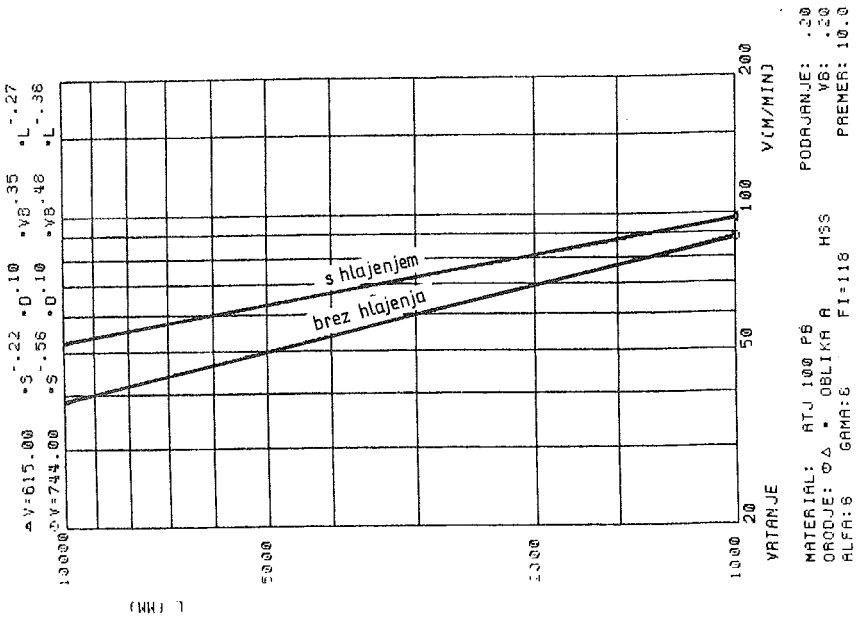
Slika 11 prikazuje vpliv hlajenja na spremembo Taylorjeve enačbe obstojnosti. Iz diagrama je razvidno, da se z uporabo SHMT znatno zboljša obstojnost orodju iz hitroreznega jekla. Ob tem so dopustne večje rezalne hitrosti za struženje jekla za avtomate, prav tako sprememba rezalne hitrosti ne vpliva v tolikšni meri na spremembo obstojnosti orodja, kot na primer pri obdelavi brez hlajenja.

Podobne ugotovitve lahko podčrtamo, ko gre za vrtnje jekla ATJ 100 Pb. Razliko zasledimo le v tem, da z naraščanjem rezalne hitrosti zgubljammo efekt izdatnega hlajenja in se tako približujejo vrednosti za obstojnost orodja z in brez uporabe hlajenja pri rezalnih hitrostih nad 100 m/min. Pojav je razviden iz slike 12 in ga lahko tolmačimo kot razumljiv pojav, ki je prisoten zaradi specifičnega postopka obdelave z vrtnjem. Z naraščanjem rezalne hitrosti namreč hladilna tekočina vse težje prodira na rezalni rob. Zato so za vrtnja priporočljiva orodja, ko dovajamo hladilno tekočino skozi sveder. Na tak način bi še dodatno izboljšali obstojnost orodja tudi pri večjih hitrostih vrtnja.

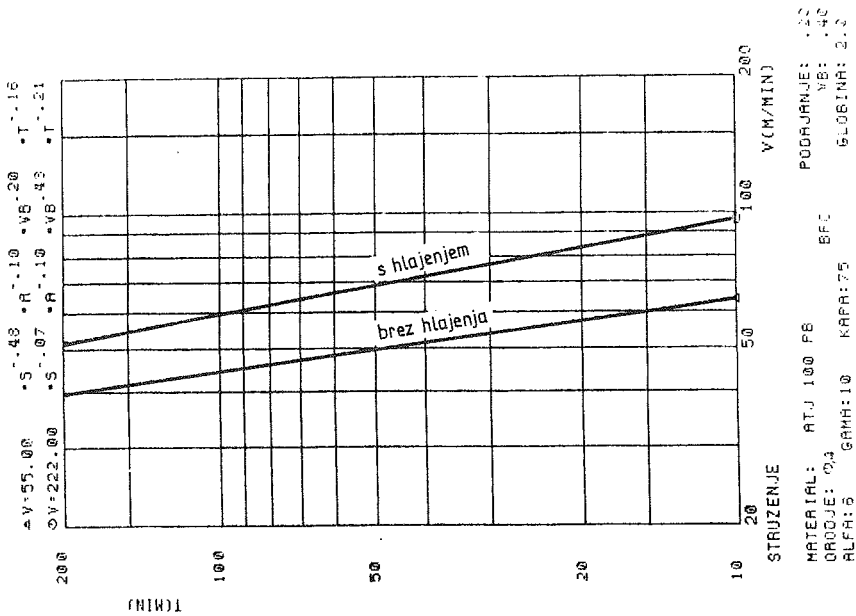
Tako svedri kot stružni noži iz hitroreznega jekla dopuščajo rezalne hitrosti celo do 100 m/min, ko obdelujemo material ATJ 100 Pb in ob tem postopek hladimo s SHMT. Razmere pa se znatno spremenijo, kadar vrtamo avstenitna nerjavna jekla. Slabo odvajanje toplote, ki je lastnost, značilna za avstenitni material, utrditve odrezka in obdelane površine in podobno, ne dopuščajo obdelave z visokimi rezalnimi hitrostmi. Pri vrtnju brez hlajenja je rezalna hitrost 8,5 m/min tista, s katero uspemo z enim svedrom zvrtni skupne dolžine $L = 1000$ mm. Ob tem moramo upoštevati še priporočila INFOS-a, kjer je predpisana globina posamezne izvrtine $L' = 2.D$.

S hlajenjem se rezalna hitrost za dosego enake obstojnosti orodja poveča na 14 m/min. Na sliki 13 lahko opazimo še podoben trend približevanja krivulj obstojnosti kot je opisan za vrtnje avtomatskih jekel.

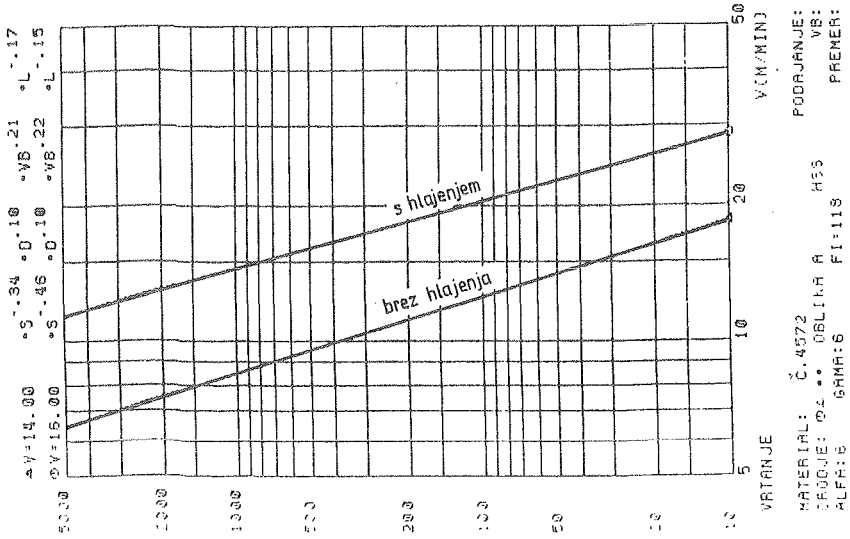
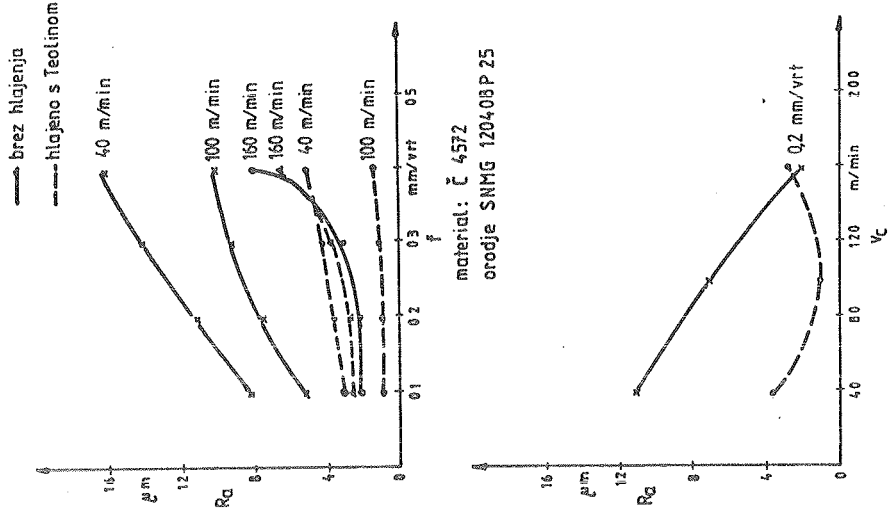
Pri vrtnju je pomembna le izdelava izvrtine, dočim s struženjem poleg odzemanja materiala stremimo tudi za končno kvaliteto obdelane površine. Na hrapavost obdelane površine vpliva nešteto činiteljev in to od parametrov dela, obdelovalnega materiala in orodja in kot je iz slike 14 razvidno nenazadnje tudi hladilna tekočina. Velike hrapavosti obdelane površine brez uporabe hladilnega sredstva potrjujejo trditve, ki smo jo zapisali v uvodnem delu referata. Suho trenje brez filma med orodjem in obdelovancem dobesedno trga delce iz površine obdelovanca in se s tem močno poveča hrapavost. Iz komentiranega diagrama lahko zaključimo,



Slika 12: Vrtnanje s SHMT



Slika 11: Struženje s SHMT



Slika 14: Vpliv Teolina na hrapavost stružene površine

Slika 13: Vrtanje nerjavnega avstenitnega jekla brez hlajenja in z uporabo SMT

da ima SHMT poleg dobrih hladilnih lastnosti tudi ugodne mazalne lastnosti, ki se prezentirajo v povečanju obstojnosti uporabljenih orodij in v zmanjšanju hrapavosti obdelanih površin.

4. SKLEPNE UGOTOVITVE

S primerjavo rezultatov obstojnosti ugotovimo, da se izboljša obstojnost orodju iz hitroreznega jekla pri hlajenju za 6 krat napram nahlajenem postopku pri struženju jekla ATJ 100 Pb. Pri vrtnanju pa je ta razlika 2 kratna. Ob primerjavi so upoštevane obstojnosti pri rezalnih hitrostih 60 m/min. Rezultati potrjujejo teorijo suhega in tekočinskega trenja.

Pri vrtnanju nerjavnega jekla Č.4572 s hitrostjo 15 m/min pa ugotovimo, da se obstojnost orodju iz hitroreznega jekla poveča za 22 krat v primerjavi z nehlajenim postopkom. Vpliv na zmanjšanje hrapavosti struženega vzorca ATJ 100 Pb je pri hlajenju precejšen, saj je hrapavost R_a manjša za 150 %. Za nerjavno jeklo pa se vrednosti zmanjšajo še več, to je celo do 7 krat.

Vsi naštetih podatki kažejo na ugoden vpliv sintetičnega hladilnega sredstva, še posebej pri odrezavanju nerjavnih avstenitnih jekel.

5. LITERATURA

- /1/ Albert Struna: Sodobna mnenja o trenju, mazanju in obrabi, Strojniški vestnik 1959 - 4, 5 Ljubljana
- /2/ P. M. Holmes and J. Whittle: The Influence of cutting oils on the economics of machining, 6th International M. T. D. R. Conference, Manchester 1965
- /3/ Cincinnati Milacron: Cimcool Kühlmittel, katalog
- /4/ dr. Srečko Bergant: Obdelovalna olja, Ljubljana 1976
- /5/ Staša Kosler, Adolf Šoštar: Uporaba sintetičnih tekočin za hlajenje in mazanje pri obdelavi kovin z odrezavanjem, Maribor 1975
- /6/ SHMT - Teol Ljubljana: Hladilno mazalno sredstvo Teolin, katalog
- /7/ Z. Seljak, J. Kopač: Raziskava uporabnosti hladilnega sredstva Teolin pri odrezavanju posebnih jekel, Ljubljana 1982

21.SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

KRIVE HABANJA ZAVOJNIH BURGIIJA DOBIJENIH RAZLIČITIM
TEHNOLOGIJAMA IZRADE

WEAR CURVE OF SPIRAL DRILLS OBTAINED BY DIFFERENT
TECHNOLOGIES

R. Ječmenica	Tehnički fakultet Čačak, Univerzitet "Svetozar Marković", 32000 Čačak, Jugoslavija,
B. Kršljak	Tehnički fakultet Čačak, Univerzitet "Svetozar Marković", 32000 Čačak, Jugoslavija,
D. Randjić	Tehnički fakultet Čačak, Univerzitet "Svetozar Marković", 32000 Čačak, Jugoslavija

Ključne reči:
Burgija
Habanje
Tribologija
Tehnologija

SAŽETAK: U radu se analizira proces habanja zavojne burgije kao veoma složenog i u mašinogradnji veoma zastupljenog alata. Kompleksnost geometrijske forme zavojne burgije i složenost uslova procesa bušenja nepredvidivo se reperkutuju na tribološke karakteristike zavojnih burgija. Ovi odnosi se još više poslozjavaju ako se u analizu uključi i tehnologija izrade zavojnih burgija, što je upravo i učinjeno u ovom radu. Sva rasmatranja i zaključivanja su eksperimentalno obrazložena i potvrđena.

Key words:
DRILLS
WEAR
TRIBOLOGI
TECHNOLOGI

ABSTRACT: The wear process of a spiral drill as a complex and highly used tool in machine tooling is analyzed in the paper. The complexity of geometrical form of a spiral drill and the complexity of grinding process conditions unpredictably influence the tribological properties of spiral drills. These relations are even more complicated if the technology of spiral drills is included, what is just been in this paper. All investigations and conclusions are experimentally explained and confirmed.

1.0 Uvod

Zavojna burgija, posmatrajući njezin geometrijski oblik, predstavlja veoma kompleksan rezni alat pa samim tim je i specifičnost njezinog procesa habanja veća. Uslovi pod kojima se odvija proces bušenja čine i proces habanja burgija kao reznog alata složenim i to znatno složenijim od većine drugih reznih alata. Svi faktori i parametri koji na bilo koji način utiču na proces bušenja a time i na habanje burgije mogu se svrstati u geometrijske, mehaničke, metalurške, dinamičke kao i na spektar režima obrade kao i uslova obrade.

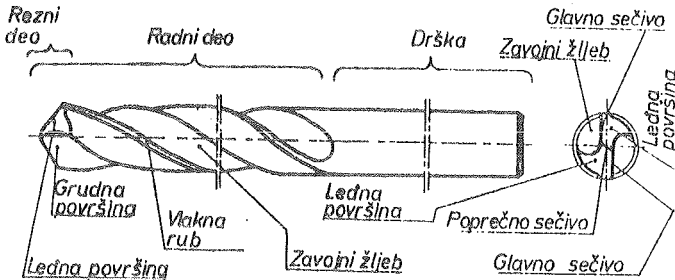
Svojstva alatnog materijala i materijala radnog predmeta, kao što su str-

uktura, hemijski sastav, mehaničke osobine, zatim geometrija reznih i ostalih elemenata burgije, brzina rezanja, korak, dubina bušenja, vrsta sredstva za hladjenje i podmazivanje i njihov protok, tačnost i krutost sistema alat-radni predmet-mašina itd. su samo deo kompleksa faktora čija se pojava odražava na karakter habanja burgije.

U procesu rezanja, svi elementi zavojne burgije su u manjoj ili većoj meri izloženi habanju i mogu se svrstati u pet karakterističnih oblika pojaseva habanja, o čemu će biti kasnije više reči.

2.0 Zavojna burgija kao element obradnog sistema

Zavojna burgija ima veoma složenu geometrijsku formu. Njezin geometrijski oblik definisan je mnoštvom geometrijskih elemenata od kojih svaki na specifičan način ima uticaja na mehaniku procesa rezanja, kvalitet obradjene površine, oblik strugotine, vek trajanja alata itd. Na radnom delu i vrhu burgije, vidi sl.1, uočava se osam površina višeg reda:



Sl.1 Geometrijski elementi zavojne burgije sa cilindričnom drškom-JUS K.03.023

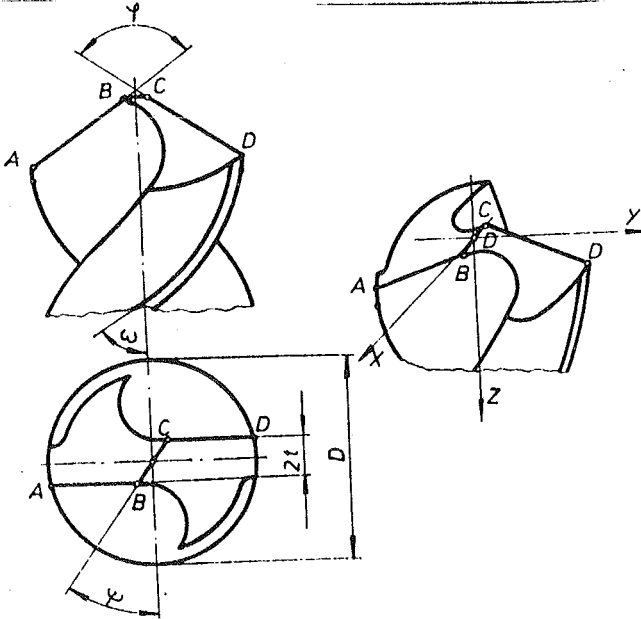
Od pomenutih osam površina višeg reda III koje definišu geometriju radnog dela burgije imamo:

- dva konoidna helikoida, generišu ih dve simetrično postavljene duži pri zavojnom kretanju oko ose burgije,
- dve helikoidalne površine, generišu ih krive višeg reda, koje zajedno sa konoidnim helikoidima obrazuju dva zavojna žljeba za odvod strugotine iz zone rezanja, kao i dovod sredstva za hladjenje i podmazivanje,
- dve konusne, ravne zavojne, površine koje se formiraju pri oštrenju burgije, i
- dve cilindrične površine (rubovi i zaledja), čija se ose poklapaju sa osom burgije, videti sliku 2.

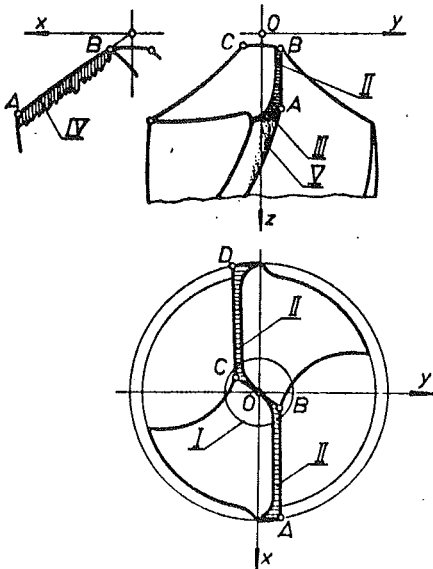
3.0 Karakteristične zone habanja zavojnih burgija

Svi elementi geometrijske forme zavojne burgije koji su u kontaktu sa predmetom obrade izloženi su u manjoj ili većoj meri habanju. Intenzitet, oblik i karakter ovih vidova habanja je veoma različit i zavisi, pored ostalog i od geometrijske forme burgije, tehnologije izrade burgije itd. U ovom radu analizirat će se samo aspekt tehnologije izrade zavojnih burgija. Zavisno od uticaja na postojanost burgije razlikujemo primarno i seku-

ndarno habanje. Primarno habanje direktno utiče na postojanost burgije (T), na broj mogućih oštrenja, aksijalni otpor (F_z), obrtni momenat (M) i ukupan vek trajanja alata (T_u), videti sl.3.



Sl.2 Izgled vrha i delimično radnog dela zavojne burgije



Sl.3 Zone i pojasevi habanja zavojne burgije [1]

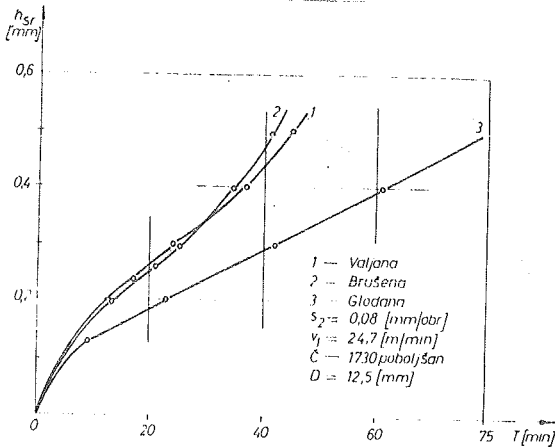
Sekundarni vid habanja nije ovako rigorozan prema reznjoj sposobnosti burgije. U trenutku kada je primarno habanje dostiglo kritične vrednosti i

kada je rezna sposobnost burgije opala takodje do kritične vrednosti, parametri sekundarnog habanja su još u fazi granica početnog habanja. Prema sl.3 imamo: I-je zona habanja na predelu poprečnog sečiva; II-je habanje po ledjnim površinama u ubliku pojasa habanja; III-je zona habanja u blizina tačkaka A i D; IV-je habanje po grudnim površinama u vidu pojasa habanja i V-je zona habanja po fazeti i njenoj ivici. Ranije je rečeno, da ovih pet zona habanja svrstavaju se u zone primarnog i zone sekundarnog habanja.

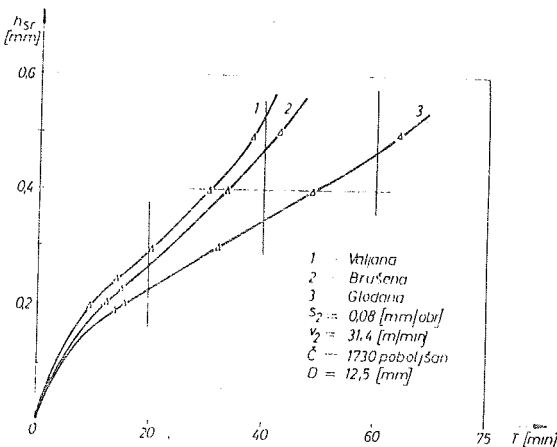
4.o Uslovi istraživanja

U eksperimentu su korišćenje zavojne burgije $\phi 12$ mm, sa cilindričnom drškom JUS K.D3.023, izradjene tehnologijama valjanja, brušenja i glodanja, kao i režimi rezanja: $s(0,056; 0,08$ i $0,112$ mm/obr.), $V(24,7; 31,4$ i $39,2$ m/min). Materijal radnog predmeta je Č 1730-poboljšan.

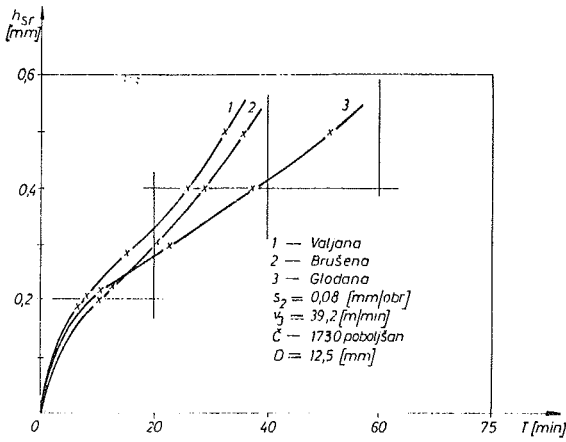
5.o Rezultati eksperimenta



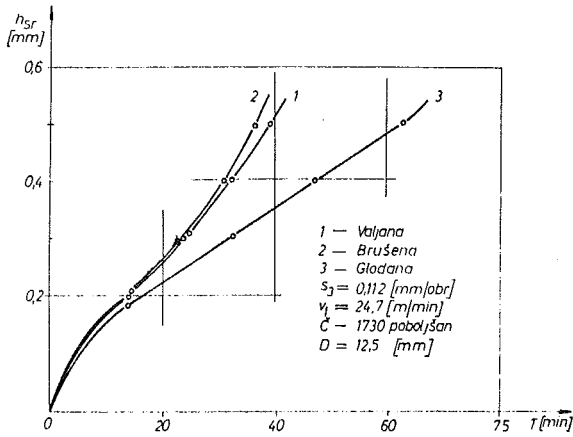
Sl.4 Krive habanja burgija pri $s=0,08$ i $v=24,7$



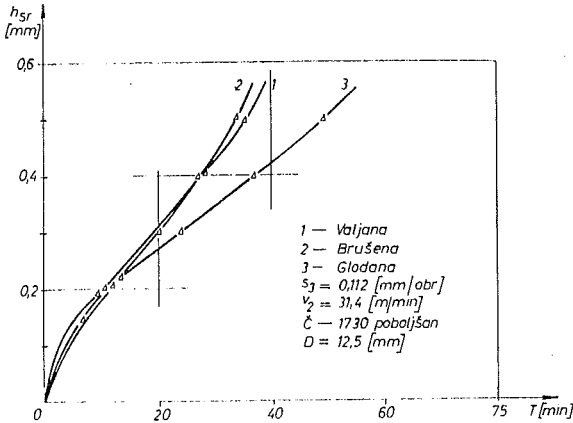
Sl.5 Krive habanja burgija pri $s=0,08$ i $v=31,4$



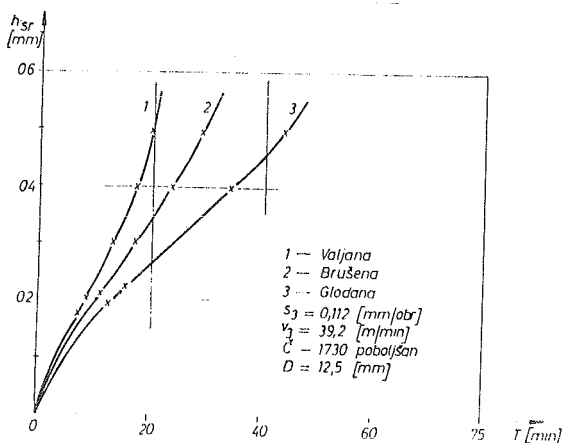
Sl.6 Krive habanja burgija pri $s=0,08$ i $v=39,2$



Sl.7 Krive habanja burgija pri $s=0,112$ i $v=24,7$



Sl.8 Krive habanja burgija pri $s=0,112$ i $v=31,4$



Sl.9 Krive habanja burgija pri $s=0,112$ i $v=39,2$

6.0 Zaključak

Obim proizvodnje zavojnih burgija u jugoslovenskim uslovima udvostručava se svake druge godine što ukazuje da se radi o veoma zastupljenom alatu u proizvodnim sistemima.

Za izradu ove vrste alata kod naših-domaćih proizvođača primenjuju se razne tehnologije sa veoma heterogenom opremom i uvoznim sirovinama. Prezentirani rezultati koji su izloženi u ovom radu mogu usmeravajući delovati na planiranje novih kapaciteta, opredeljenja za tehnologiju kao i kod neophodne organizaciono-tehnološke intervencije u do sada primenjenim tehnologijama.

No, ovde treba naglasiti da postojanost alata predstavlja samo jedan od parametara u procesima ocene kvaliteta alata. Sigurno je da za ovakva istraživanja trebaju kompleksnije analize većeg broja parametara koji definišu tehn-ekonomski kvalitet jednog proizvoda, procesa ili sistema. Izloženi rezultati su samo jedan upotrební segment u kompleksu navedenih analiza.

Literatura

- /1/. Vukelja D., Prilog studiji habanja alata, Goriva i maziva, Zagreb, 1973.
- /2/. Vukelja D., Neke napomene u vezi sa geometrijom zavojne burgije, Mašinstvo br.4, Beograd, 1965.,
- /3/. Ivković B., Definisavanje habanja višesećnih alata pomoću radioaktivnih izotopa, Monografija, Kragujevac, 1976.,
- /4/. Stanić J., Uticaj geometrijskih elemenata i kinematike rezanja na postojanost burgije pri bušenju čelika, Trbinje, 1965.,
- /5/. Ječmenica R., Tribološki procesi na zavojnim burgijama u funkciji tehnologije izrade, Magistarski rad, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1980.

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

UTICAJ JONSKOG NITRIRANJA NA POVEĆANJE POSTOJANOSTI ALATA ZA
OBRADU ODVAJANJEM

M. Jovičić	Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu 11000 Beograd, Jugoslavija
Dj. Spasojević	Fabrika vagona 36000 Kraljevo, Jugoslavija
D. Djurdjević	Fabrika vijaka "Gradac" 14000 Valjevo, Jugoslavija
Ključne reči: Alati Postojanost Jonsko nitriranje	REZIME: U radu su prikazani rezultati uporednih ispitivanja postojanosti alata za obradu odvajanjem (probijanje otvora u listovima gibnjava, opsecanje glava vijaka i probijanje otvora na pripremcima za navrtke) i to pri normalno izvedenoj termičkoj obradi radnih elemenata alata i pri izvodjenju jonskog nitriranja posle termičke obrade.
Schlüsselwörter: Schneidwerkzeuge Standmenge Ionitrieren	ZUSAMMENFASSUNG: In der Arbeit werden die Ergebnisse über die Standzeit der Schneidwerkzeuge (Stanzwerkzeuge für Federblätter und Mustern, Abgratwerkzeuge für Schreuben) dargestellt, die der normale Wärmebehandlung und Ionitrieren unterworfen wurden.

1. Uvod

Postojanost alata za obradu odvajanjem (odsecanje, probijanje, prosecanje) kao i alata za druge postupke obrade bez rezanja (izvlačenje, savijanje, istiskivanje i dr.) može se znatno povećati naknadnom obradom radnih elemenata alata radi povećanja tvrdoće i otpornosti na habanje (smanjenje koeficijenta trenja i intenziteta abhezivnih pojava kao i abrazivnog habanja zona kontakta sa materijalom obratka).

Postupci koji se u tu svrhu danas primenjuju su sledeći: ojačanje površina radnih elemenata alata plastičnim deformisanjem, postupci na bazi difuzije dodatnih materijala (nitriranje, vanadiranje, boriranje, jonsko nitriranje) i nanošenje (oslojavanje, prevlačenje) tvrdih materijala na radne elemente alata elektrovarničenjem, plazma-postupcima i drugim hemijskim i fizičkim postupcima (postupci CVD i PVD-oslojavanja).

Ovi postupci za povećanje postojanosti alata široko se koriste u industrijski razvijenim zemljama /1/ - /6/ a takodje i u nas vlada sve veći interes za njihovim korišćenjem u praksi /7/, /8/.

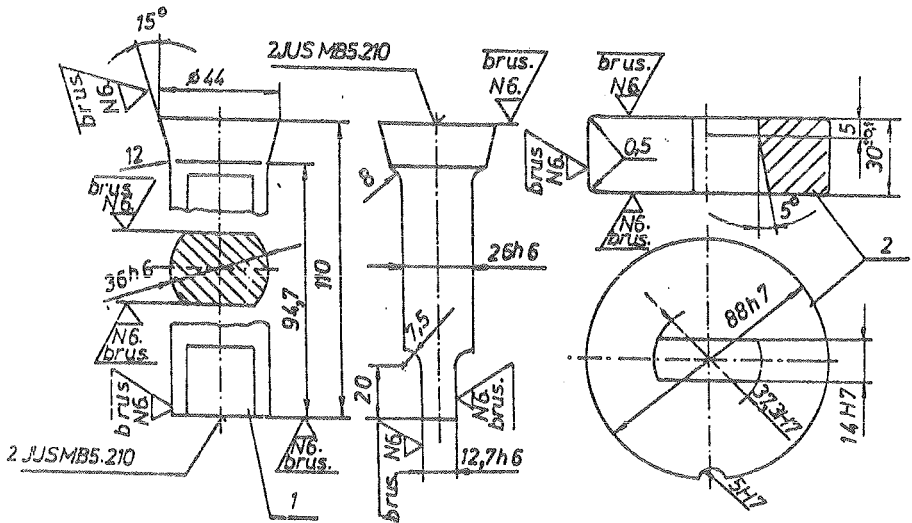
U ovom saopštenju daje se kratak osvrt na efekte primene jonskog nitriranja na povećanje postojanosti alata za obradu odvajanjem, i to alata za probijanje otvora na listovima gibnjava i alata za opsecanje glava vijaka i probijanje otvora navrtki /9/, /10/. Jonsko nitriranje radnih elemenata ovih alata izvodjeno je na uređaju razvijenom na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Beogradu /11/ a opiti su vršeni u proizvodnim uslovima

pogona Fabrike vagona u Kraljevu i Fabrike vijaka "Gradac" u Valjevu.

2. Rezultati ispitivanja alata termički obradjenih i tretiranih jonskim nitriranjem

2.1. Alati za probijanje otvora u listovima gibnjeva

Radni elementi alata za probijanje otvora u listovima gibnjeva (slika 1) bili su od alatnog čelika za rad u vrućem stanju Č. 4751 (0,4%C, 1%Si, 5%Cr, 1,3%Mo, 0,4%V), jer je probijanje otvora izvodjeno u zagrejanom stanju materijala listova gibnjeva (čelik za opruge Č.2330) na temperaturi između 800-950°C.



Slika 1. Skice radnih elemenata alata za probijanje otvora na listovima gibnjeva: probojac (1) i ploča za probijanje (2)

Termička obrada radnih elemenata alata izvodjena je po sledećem režimu: predgrevanje na 800°C, zagrevanje na temperaturu kaljenja od 980-1030°C a zatim hladjenje (ulje, termalno kupatilo). Posle odpuštanja na odgovarajućoj temperaturi postiže se tvrdoća od 50-55 HRC.

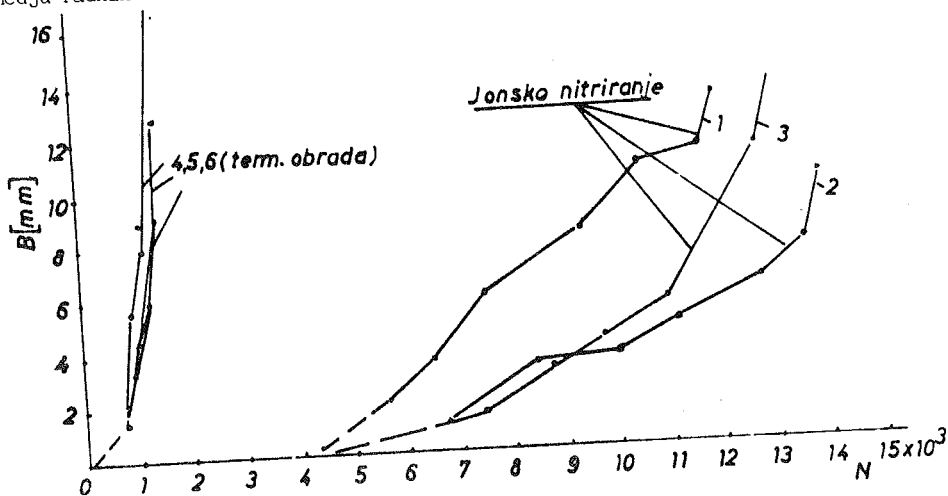
Odredjen broj radnih elemenata alata posle termičke obrade podvrgavan je jonskom nitriranju na temperaturi od 480°C u trajanju od 4 sata, a karakteristike površinskog sloja materijala alata posle te operacije bile su sledeće: debljina nitriranog sloja oko 0,1 mm a tvrdoća oko 1150 HV_{0,3}.

U toku ispitivanja praćeno je habanje radnih elemenata alata (zone habanja u oblasti sečiva probojca i ploče za probijanje) kao i visina izdignute ivice na otpacima.

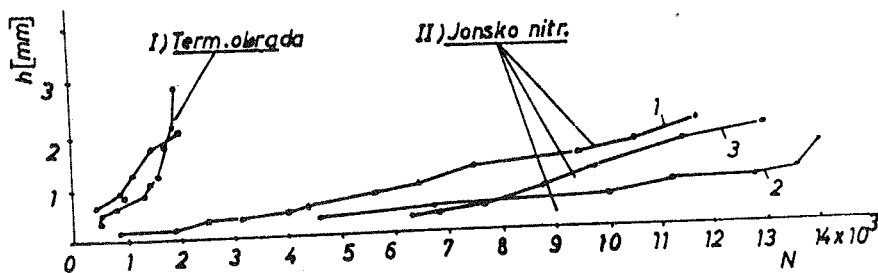
Na slici 2 uporedo su prikazane zavisnosti širine pojasa habanja na probojcu (B) i broja probijenih otvora na listovima gibnjeva i to: za tri probojca koji su posle termičke ob-

rade bili jonski nitrirani (1, 2, 3) i za tri probojca koji su bili samo termički obradjeni (4, 5, 6). Vidi se da je postojanost jonski nitriranih probojaca bila od 6-8 puta veća no probojaca samo termički obradjenih, s tim što je rasturanje postojanosti bilo znatno veće kod jonski nitriranih probojaca.

Na slici 3 data je zavisnost visine izdignute ivice (h) na otpacima i broja probijenih otvora za dve serije opita sa slike 2, odakle se uočava sličan odnos jer je veličina izdignute ivice srazmerna habanju radnih elemenata alata (raste sa povećanjem habanja i zazoru izmedju radnih elemenata alata).



Slika 2. Zavisnost širine pojasa habanja (B) na probojcima i broja probijenih otvora (N) na listovima gibnjeva

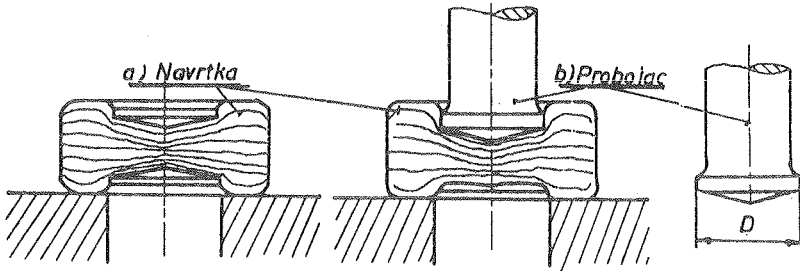


Slika 3. Zavisnost izmedju visine izdignute ivice (h) na otpacima i broja probijenih otvora (N) na listovima gibnjeva

2.2. Alati za probijanje otvora na pripremcima za navrtke

U tehnološkom procesu izrade navrtki formiranje otvora se vrši probijanjem pomoću probojca (slika 4). Ova obrada se izvodi u hladnom stanju, pri čemu je materijal već ojačan u toku procesa sabijanja tako da je probojac izložen intenzivnom naprezanju i habanju radnog dela. za operaciju probijanja otvora u pripremcima za navrtke koriste se alati sa probojcima od brzoreznog čelika Č. 6880, Č. 6980 i Č.7680.

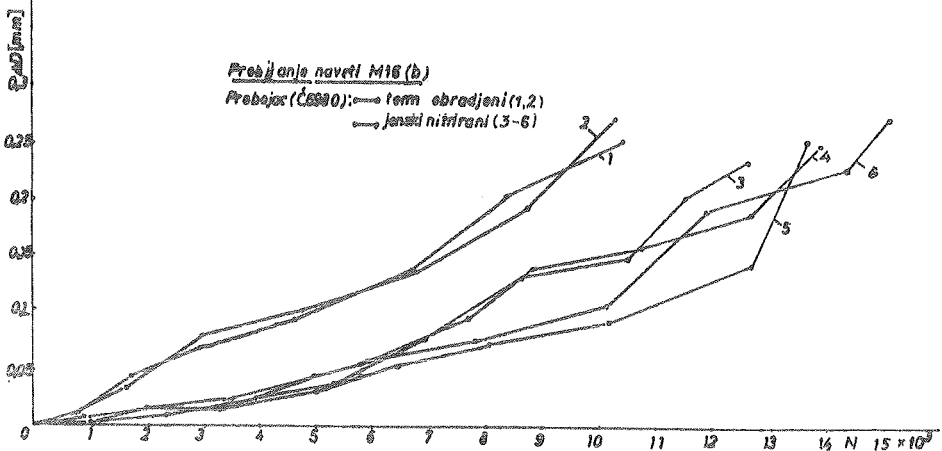
Izvedena su uporedna ispitivanja postojanosti probojaca izradjenih od brzoreznog čelika Č.6980 i jeftinijeg alatnog čelika za rad u hladnom stanju Č. 4750, pri čemu je određen broj probojaca od obe vrste čelika bio samo termički obradjen a određen broj probojaca naknadno poboljšan jonskim nitriranjem.



Slika 4. Šema postupka probijanja otvora na pripremu navrtke (a) i izgled radnog dela probojca alata (b)

Habanje probojca se javljalo na vencu radnog dela usled čega je dolazilo do smanjenja prečnika probojca kao i probijenog otvora u toku vremena.

Na slici 5 data je zavisnost izmedju smanjenja prečnika probojca (ΔD) i broja probijenih otvora (N) pri izradi navrtki M16 od čelika Č.0365. Proboljci su bili izradjeni od brzoreznog čelika Č.6980, i to prva dva (1, 2) samo termički obradjeni a ostali (3, 4, 5, 6) termički obradjeni i jonski nitrirani (režim nitriranja: 10% N, temperatura 480°C i trajanje 60 min.).

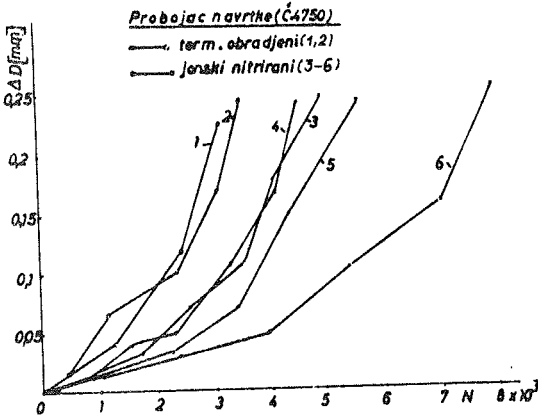


Slika 5. Zavisnost smanjenja prečnika probojca (ΔD) od Č. 6980 i broja probijenih otvora (N) navrtki M16

Postojanost jonski nitriranih probojaca bila je u ovom slučaju od 25 - 45% veća nego kod termički obradjenih probojaca, dok je u drugim serijama opita to povećanje iznosilo i do 80%.

Pri radu probojcima od alatnog čelika Č.4750 dobijena je zavisnost izmedju smanjenja prečnika probojca (ΔD) i broja probijenih otvora navrtki (N) prikazana na slici 6. Pri tome su dva probojca (1, 2) bili samo termički obradjeni a ostali (4-6) termički obradjeni i jonski nitrirani.

U ovom slučaju je postojanost jonski nitriranih probojaca (režim nitriranja: 15% N, 400°C i 90 min) bila za 30-250% veća u odnosu na postojanost termički obradjenih probojaca (ka-

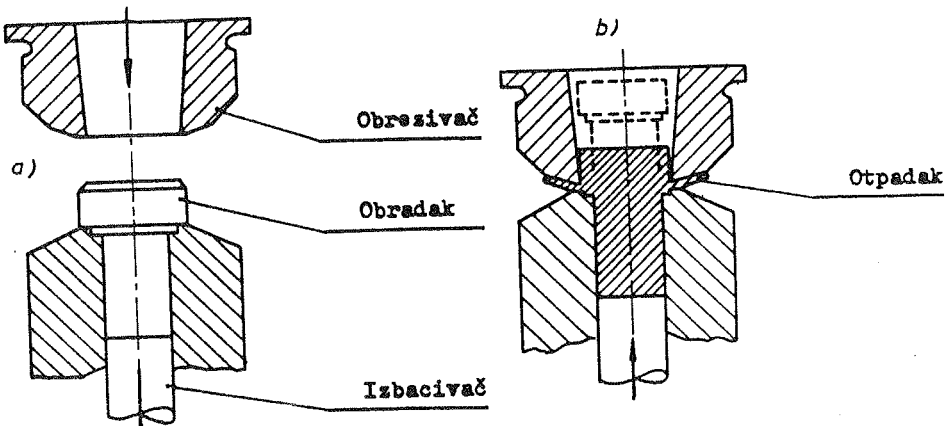


Slika 6. Promena prečnika probojca (ΔD) od Č.4750 u zavisnosti od broja probijenih otvora (N) navrtki M16 od Č.0365

lajenje i otpuštanje sa tvrdoćom oko 56 HRC), uz veliko rasturanje postojanosti jonski nitriranih probojaca. Vidi se takodje da je postojanost probojaca od brzoreznog čelika veća za oko 3 puta od postojanosti probojaca od alatnog čelika Č. 4750 (sličan je odnos i kod jonski nitriranih probojaca izradjenih od spomenuta dva alatna čelika).

2.3. Alati za opsecanje glave vijaka

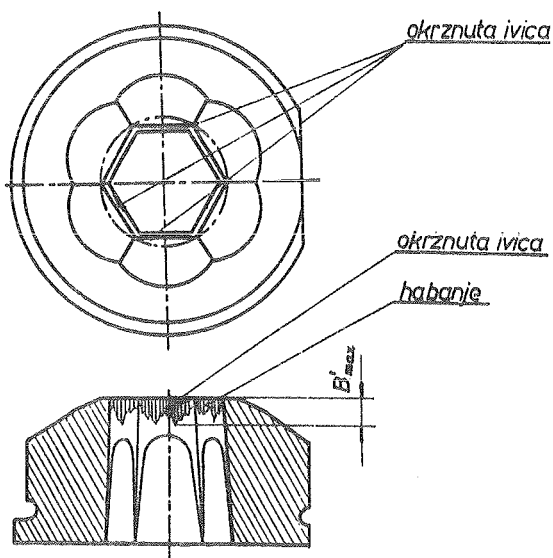
U toku procesa kovanja vijaka formira se cilindrična glava, koja se u operaciji opsecanja (obrezivanja) pretvara u šestougaoni oblik. Šema izvođenja operacije opsecanja glave vij-



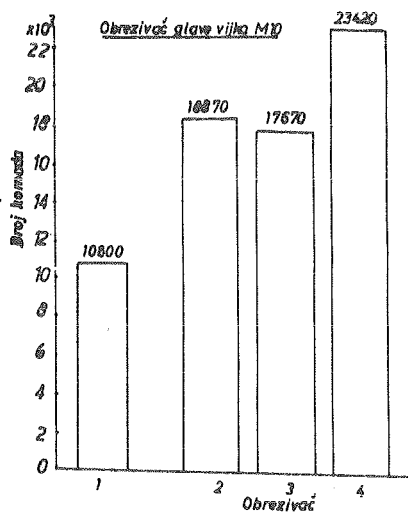
Slika 7. Šema izvođenja operacije obrezivanja glave vijaka

Obreziivač se u toku rada haba po bočnim površinama šestougona u vidu pojasa habanja nejednake širine (B'), uz pojavu krzanja sečiva (slika 8). Usled ovog habanja povećavaju se dimenzije glave vijka, što se uzima kao kriterijum zatupljenja alata. U izvodjenju operacije obrezivanja glava vijaka M10 od čelika Č.1431 korišćeni su obreziivači od brzo-reznog čelika Č.6880, i to: (1) samo termički obradjeni (temperatura kaljenja 1260°C , temperatura otpuštanja 560°C . sa tvrdoćom od 60 HRC) i termički obradjeni obreziivači, a zatim jonski nitrirani po režimu 10% N/ $480^{\circ}\text{C}/90$ min (2) i 8% N/ $420^{\circ}\text{C}/60$ min (3, 4).

Na slici 9 uporedno je prikazan ostvareni broj obradjenih vijaka za sve ove slučajeve, odakle se vidi da je postojanost jonski nitriranih obreziivača bila za 1,8 - 2,3 puta veća u odnosu na obreziivače samo termički obradjene. Pri tome nije bila velika razlika u postojanosti obreziivača, koji su bili jonski nitrirani po navedena dva režima.



Slika 8. Izgled obreziivača i zona habanja



Slika 9. Uporedjenje broja obradjenih vijaka u periodu postojanosti obreziivača

3. Zaključci

Izvedena uporedna ispitivanja termički obradjenih i jonski nitriranih alata kod izvodjenja pomenutih operacija obrade odvajanjem su pokazala, da je u odredjenim slučajevima ostvareno značajno povećanje postojanosti alata primenom jonskog nitriranja radnih elemenata (kod operacije probijanja otvora u listovima gibnjeva posebno). U nekim slučajevima bilo je prisutno veliko rasturanje rezultata pri radu jonskih nitriranim alatima.

Bilo bi potrebno izvesti i analizu ekonomičnosti primene jonskog nitriranja, pri uzimanju u obzir troškova jonskog nitriranja kao i troškova materijala alata (posebno u slučajevima korišćenja jeftinijih alatnih materijala).

4. Literatura

- /1/ Cornely H., Verschleissmindernde Massnahmen an Schneid- und Umformwerkzeugen, Werkstatt und Betrieb 113 (1980) 3, 185-192
- /2/ Spalke H., Oberflächenbehandlung von Umformwerkzeugen, Werkstatt und Betrieb 113 (1980) 5, 335-337
- /3/ Mihalenko F.P., Sposoby povišenija stojkosti razdelnyh šampov, Vestnik mašinostroenia (1982) 2, 60-65
- /4/ Kübert M. i dr., Verschleisschutzschichten für Werkzeuge zum Kaltumformen, Werkstatt und Betrieb 116(1983)2, 91-96
- /5/ Haller G., Auswahl von Werkzeugwerkstoffen und ihrer Oberflächenbehandlung, Werkstatt und Betrieb 118(1985)6, 353-358
- /6/ Westheide H., Verschleiss beschichteter Umformwerkzeuge beim Kaltmassivumformen, wt.-Z. ind. Fert. 75(1985)10, 611-615
- /7/ Liščić, B., Nove tehnologije za poboljšanje svojstava površinskih slojeva metala, Zbornik saopštenja XIX Savetovanja proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Kragujevac, 1985, str. 151-158
- /8/ Seminar "Plazma nitriranje i nanošenje prevlaka titannitrida na alate", Društvo alatničara Beograda, Beograd, 1986
- /9/ Spasojević, J., Uticaj termohemijske obrade na postojanost alata za probijanje otvora na listovima gibnjeva, Specijalistički rad, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 1985, 1 - 118
- /10/ Djurdjević, D., Diplomski rad, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Odeljenje u Valjevu, 1986
- /11/ Zlatanović, M., Jonsko nitriranje, Primenjena nauka (1985)1, 31-35

21. SAVETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

POSTOJANOST ODVALNIH GLODALA
STANDZEIT VON WÄLZFRÄSERN

B. Sovilj	Fakultet tehničkih nauka, NO Institut za proizvodno mašinstvo, 21000 Novi Sad, Jugoslavija
B. Prapotnik	SOUR "FAMOS" Fabrika motora Sarajevo, RO "Menjači", 71212 Hrasnica, Jugoslavija
D. Ostojić	Industrija mašina i traktora, 11000 Novi Beograd, Jugoslavija
S. Vasić M. Gostimirović	Fakultet tehničkih nauka, NO Institut za proizvodno mašinstvo, 21000 Novi Sad, Jugoslavija
I. Rudić	RO "JUGOALAT" OOUR "Ozubljenje", 21000 Novi Sad, Jugoslavija
M. Pejić	RO IMO POBEDA OOUR "METALAC", 21000 Novi Sad, Jugoslavija
N. Kerletai	SOUR MMK "BRATSTVO" RO Traktori i hidraulika, 72290 Pucarevo, Jugoslavija

Ključne reči: Tribologija
Postojanost
Odvalno
glodanje
Oslojavanje

SAŽETAK: U radu su prikazani rezultati dobijeni pri uporednim ispitivanjima postojanosti odvalnih glodala. Ispitivanja su izvođena u proizvodnim uslovima četiri proizvodne radne organizacije. Odvalna glodala su bila neoslojena i oslojena, a oslojavanje je izvršeno u inostranstvu i Jugoslaviji.

Schlüsselwoet: Tribologie
Standzeit
Walzfräsern
Beschichten

ZUSAMMENFASSUNG: In der vorliegenden Arbeit wurden die bei der Vergleichsuntersuchung der Standzeit von Wälzfräsern gewonnenen Ergebnisse dargestellt. Die Untersuchungen sind unter realen Betriebsbedingungen in vier verschiedenen Firmen durchgeführt worden. Die Wälzfräsern waren beschichtet und nicht beschichtet, wobei die Beschichtung im Ausland, sowie in Jugoslawien durchgeführt worden war.

1. UVODNE NAPOMENE

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

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

Na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, a u okviru Naučno-obrazovnog instituta za proizvodno mašinstvo i njegove Katedre za obradu metala skidanjem strugotine radi se na naučnoistraživačkom projektu pod nazivom: TEHNOLOGIJA I SREDSTVA RADA ZA OBRADU MAŠINSKIH MATERIJALA REZANJEM. Sastavni deo ovog projekta je i podprojekat: ISTRAŽIVANJE, RAZVOJ I PRIMENA SAVREMENIH ALATA, PRIBORA I KONTROLE KVALITETA I MERENJA, a sa temom ISTRAŽIVANJE PODLOGA ZA POBOLJŠANJE REZ-

ZNIH SPOSOBNOSTI ALATA pokušava se dati mali doprinos gore navedenoj problematici. Deo istraživanja iz ove teme biće prikazan u ovom radu.

U cilju ocene kvaliteta oslojenih odvalnih glodala domaće proizvodnje i mogućnosti zamene odvalnih glodala inostrane proizvodnje, izvedeno je uporedno ispitivanje postojanosti odgovarajućih oslojenih i neoslojenih odvalnih glodala pri obradi ozubljenja u proizvodnim uslovima. Ova ispitivanja izvedena su u proizvodnim uslovima sledeća naša četiri kolektiva:

- SOUR "FAMOS", Fabrika motora Sarajevo, R.O. MENJAČI, Hrasnica;
- IMT, Novi Beograd;
- R.O. IMO "POBEDA" OOUR "METALAC" Novi Sad;
- SOUR MMK "BRATSTVO" R.O. TRAKTORI I HIDRAULIKA, Pucarevo

Istraživanja su početa početkom 1985. i još su u toku. Do sada ispitivanja su vršena na 4 tipa mašina, pri obradi ozubljenja korišćena su odvalna glodala integralna i sa umetnutim češljevima, oslojena i neoslojena, a sva su bila od 4 proizvodjača. Oslojavanje odvalnih glodala izvršeno je u Velikoj Britaniji, SSSR, Nemačkoj, Italiji i Jugoslaviji. Odvalna glodala bila su: sa 7 raznih modula (od 2,54 do 4,5), 5 prečnika (od 75 do 120 mm), 2 vrste početaka (1 i 3), 4 broja žljebova (od 9 do 15) i 3 vrste profila (od I do IV).

Obradci su imali sledeće karakteristike: 5 vrsta materijala (od Č.4721 do Č.5431), 5 tvrdoća HB (od 179 do 285), 5 brojeva zuba (od 18 do 100), 6 širina zupčanika (od 23 do 95), 3 ugla nagiba zavojnice (od 0° do $31^{\circ}47'18''$). Pri obradi ozubljenja korišćen je istosmerni i suprotnosmerni postupak, sa 9 brzina rezanja (od 31,4 do 106,5 m/min), 3 aksijalna pomeranja (od 0,7 do 2,1 mm) i 2 broja zupčanika u paketu (1 i 2).

U ovom radu daje se deo istraživanja čiji je bio cilj proučavanje posledica koje se javljaju na kontaktnim površinama odvalnog glodala i obradka.

Razvoj triboloških procesa na površinama zuba odvalnog glodala dovodi do deformacije njegovog vrha i do promene njihove geometrije. Sa porastom deformisanosti vrha zuba bilo koje vrste, sposobnost odvalnog glodala da vrši rezanje se smanjuje. U jednom trenutku pohabanost odvalnog glodala dostiže takav stepen da dalje rezanje sa njim nije moguće. Kritična pohabanost zuba odvalnog glodala naziva se, najčešće "kriterijum zatupljenja" odvalnog glodala. Veličina kritične pohabanosti alata (kriterijum zatupljenja) zavisi od velikog broja faktora koji se odnose na obradak, mašinu i ekonomiku procesa rezanja u celini. Uticaj kriterijuma zatupljenja alata na troškove obrade svake proizvodne operacije obrade metala rezanjem je veliki, pa se njegovom izboru pri istraživanjima posvećuje posebna pažnja.

Oblik habanja reznog klina alata zavisi od geometrije obrade, posebno od geometrije reznog dela alata i debljine strugotine. Uslovi pod kojima rezni elementi alata uklanjaju višak materijala sa obratka različiti su kod obrade na strugu, bušilici, glodalici, odvalnoj glodalici. Zbog ovih razloga, između ostalog, se prilazi proučavanju posledica triboloških procesa na reznim elementima alata za svaku vrstu obrade rezanjem posebno.

Kontrola habanja u klizećim i kotrljajućim tribološkim sistemima obično se vrši izborom i tretmanom konstrukcijskih materijala. Menjanjem svojstava tarućih površina cementacijom u čvrstim svojstvima i difuzijom selekcionih elemenata, moguće je da se smanji stepen habanja. Dalje poboljšanje otpora habanja moguće je deponovanjem tvrde faze na tribo površine.

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

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

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

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

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

2. REZULTATI ISPITIVANJA

Pri proučavanju posledica koje se javljaju na kontaktnim površinama odvalnog glodanja i obradka primenjena je mikroskopska metoda ispitivanja istih prema odredjenim planovima eksperimenta i detaljno beleženje takvih podataka kao što su: širina pojasa habanja na ledjnim površinama, dubina i položaj kratera na grudnoj površini, kvalitet obradjene površine, dubina brušenja pri oštrenju odvalnih glodala, broj novih oštrenja, broj obradjenih zupčanika i dr.

Kod odvalnih glodala svi rezni elementi nemaju istu ulogu u procesu rezanja, odnosno ne uklanjaju istu količinu materijala sa obradka. Ovo je naročito izraženo pri rezanju bez aksijalnog pomeranja odvalnog glodala. S obzirom da svaki zub skida strugotinu odredjenog oblika i debljine to su i posledice triboloških procesa na ledjnim površinama

reznih elemenata drugačije. Da bi se postigla ravnomernost habanja većine reznih elemenata pri ispitivanjima primenjivalo se aksijalno pomeranje odvalnih glodala posle obrade određenog broja ozubljenja.

U toku ispitivanja težilo se da se obrada istih obradaka vrši sa alatima domaće i inostrane proizvodnje, odnosno sa odvalnim glodalima neoslojenim i oslojenim. Podaci o obradcima, odvalnim glodalima mašinama, procesima, skicama obradaka pri ozubljenju, načinima aksijalnog pomeranja habanju zuba odvalnih glodala, raspodelama habanja i razvoju procesa habanja dati su na sl.1. do sl.4. Sem toga napravljen je program na računaru za proračun puta odvalnog glodala pri obradi konkretnog ozubljenja. Na odvalnim glodalima, koja su korišćena pri obradi ozubljenja prikazanog na sl.1. i 2., praćeno je širenje pojasa habanja na ledjnim površinama svakog trećeg reznog elementa i dobijeno je 18 razvoja procesa habanja, a u okviru toga za svaki zub dobijene su tri krive habanja. Eksperimentalna tačka, čiji su rezultati prikazani na sl.3. i 4., izvedena je tako da je izračunata veličina aksijalnog pomeranja posle obrade jednog ozubljenja, a planirano je da odvalno glodalo radi jednu smenu. Po završetku smene odvalno glodalo se skidalo sa mašine i vršeno je merenje širine pojasa habanja svakog trećeg elementa odvalnog glodala.

Eksperimentalna tačka, prikazana na sl.1. i 2. izvedena je u IMO "POBEDA" OOUR "METALAC". Neoslojeno odvalno glodalo obradilo je 24 ozubljenja, a oslojeno 74. Prema tome oslojeno odvalno glodalo obradilo je 3,083 puta više ozubljenja nego neoslojeno. Eksperimentalna tačka prikazana na sl.3. i 4. izvedena je u SOUR "FAMOS" RO "MENJAČI" Hrasnica. Na osnovu plana eksperimenta oba odvalna glodala, neoslojeno i oslojeno, obradila su po 30 ozubljenja, ali je maksimalno habanje neoslojenog odvalnog glodala bilo $VB_1 = 0,70$, a oslojeno $VB_1 = 0,25$. Habanje neoslojenog alata je 2,8 puta veće nego habanje oslojenog alata. Oslojena odvalna glodala obradiće prema tome toliko puta više ozubljenja koliko puta im je habanje manje od neoslojenog glodala.

Treba napomenuti da troškovi oslojavanja, bar za sada, iznose 50% od cene odvalnih glodala.

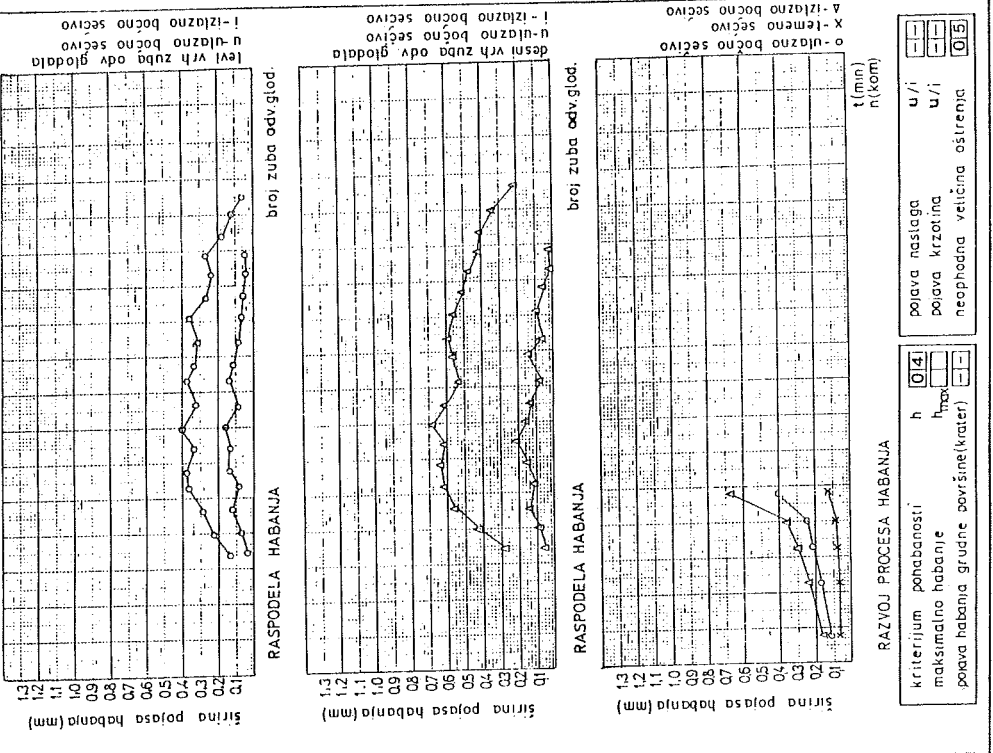
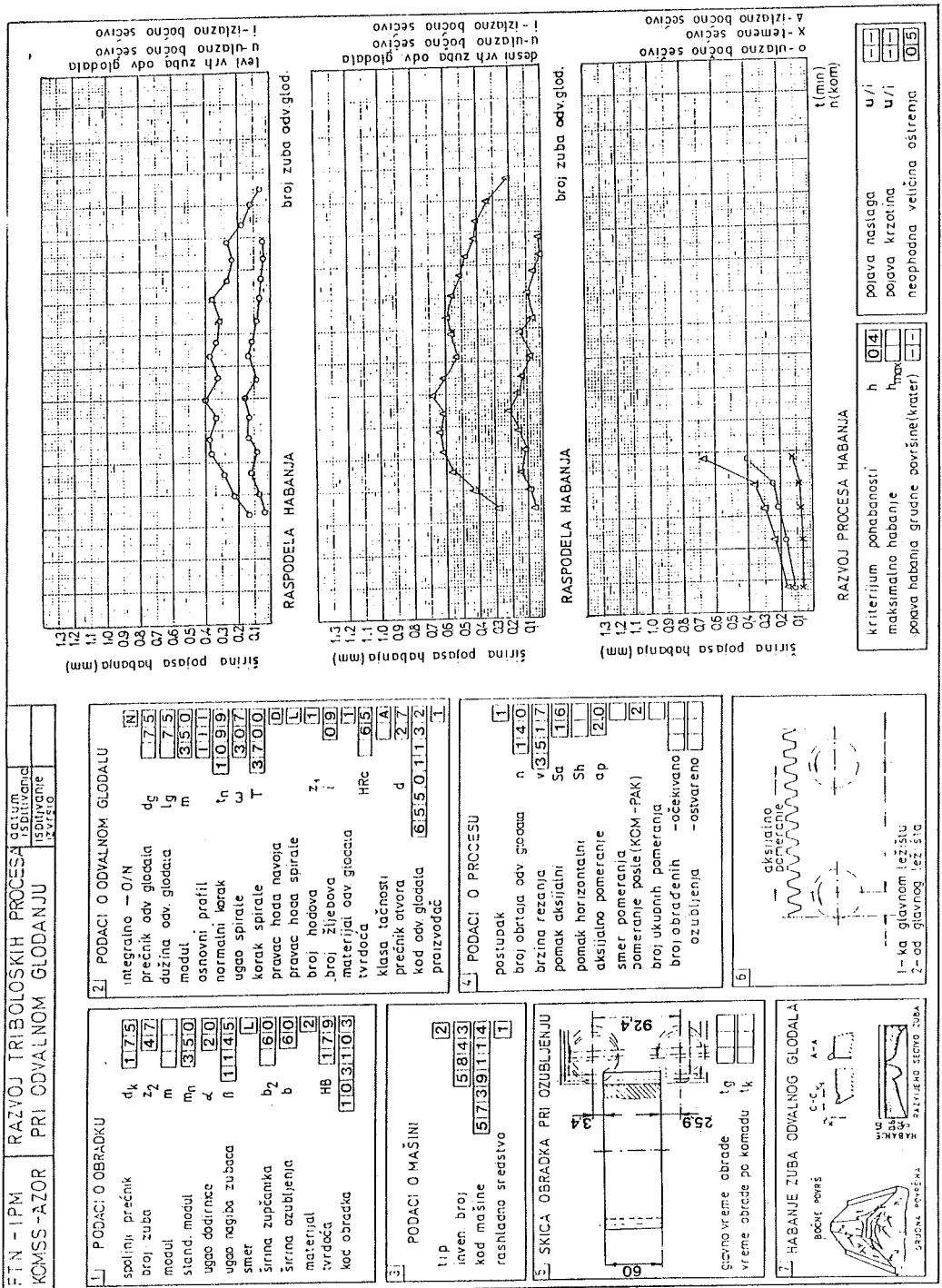
Dosadašnja iskustva pokazuju da postojanost alata varira, jer nije moguće postići konstantno optimalnu prionljivost sloja. Oko 80% alata poseduje dobru prionljivost, a 20% dolazi do ljuštenja sloja što uzrokuje smanjenje postojanosti. Prednosti ovih alata su do sada korišćene samo u pravcu povećanja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

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

- obezbediti ravnomernu postojanost odvalnih glodala preko ravnomerne prionljivosti sloja.

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

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

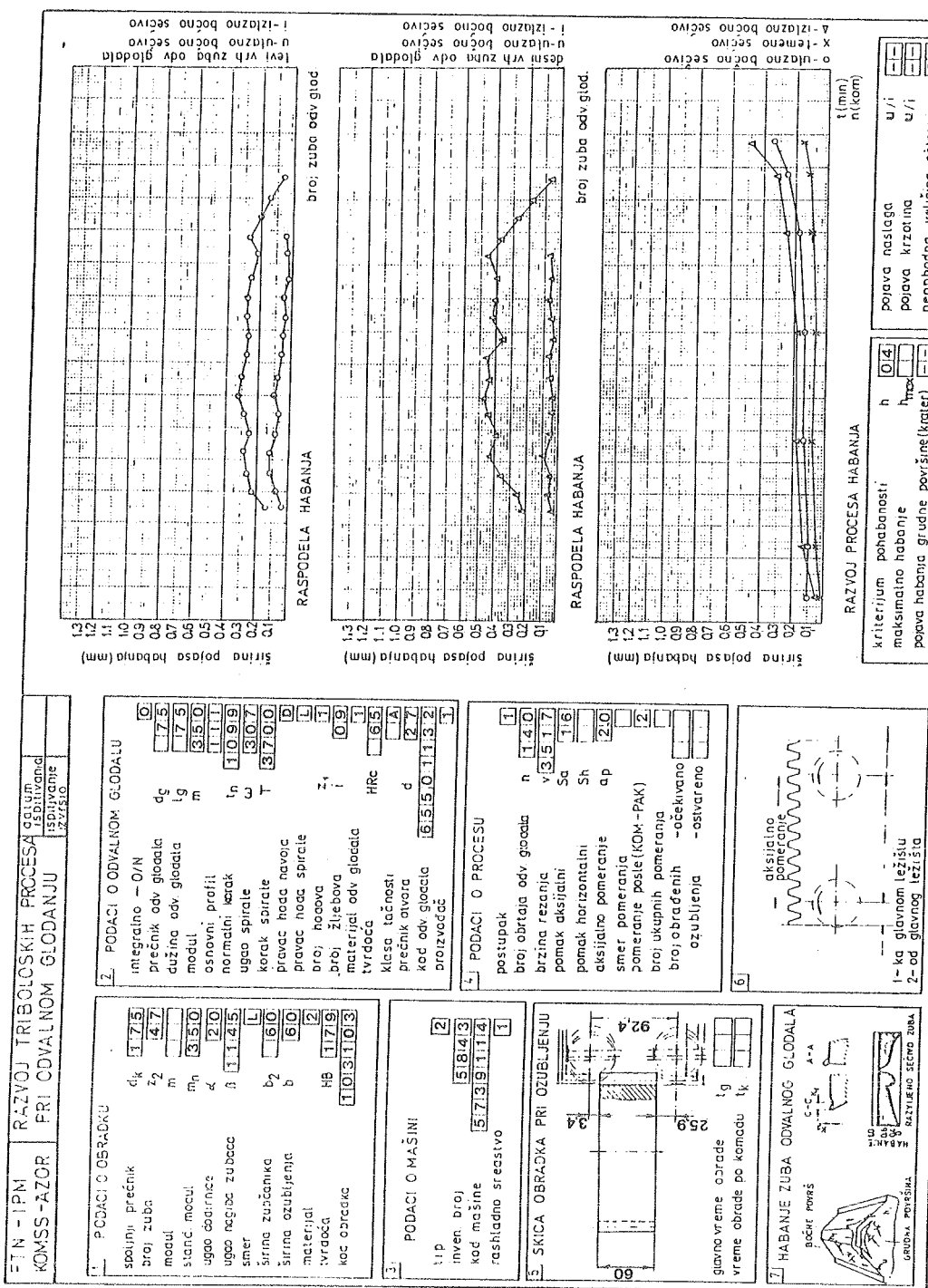


RAZVOJ PROCESA HABANJA

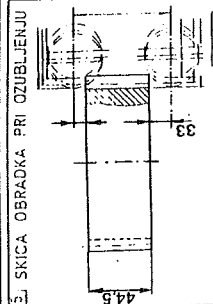
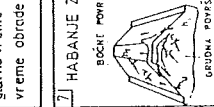
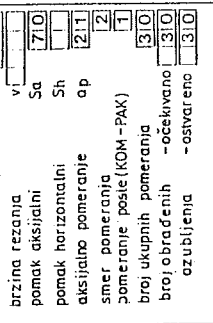
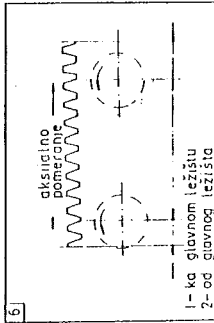
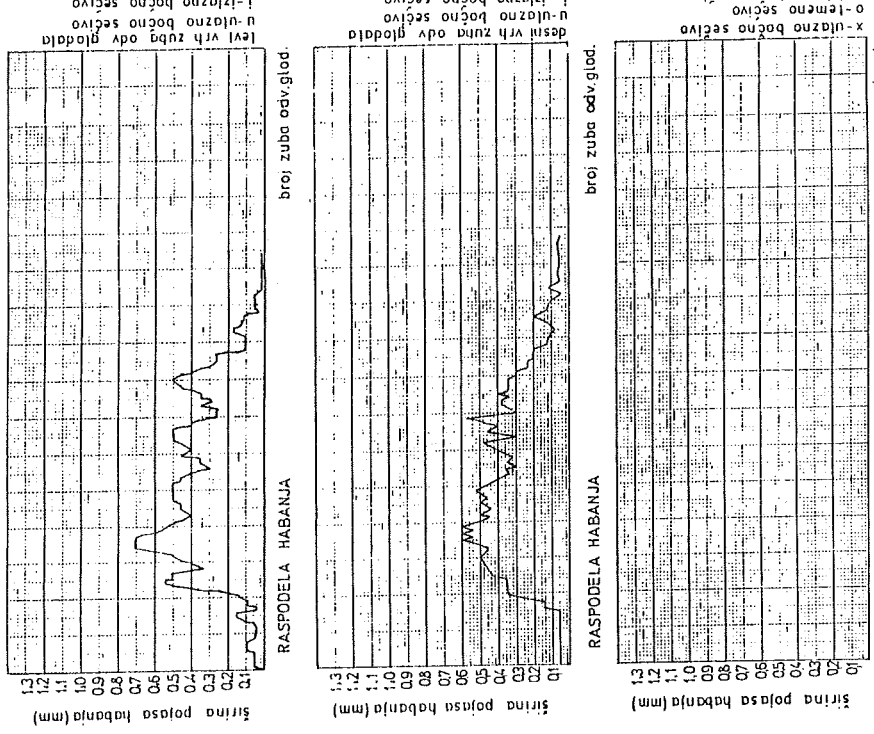
kriterijum pohabanosti	h	0/4
maksimalno habanje	h _{max}	
pojava habanja grubine površine(kvater)		
pojava nastoga	u/i	
pojava krzotina	u/i	
neophodna veličina oštrenja		0/5

t (min) n (kom)

Sl. 1. Razvoj triboloških procesa pri odvalnom glodanju



Sl.2. Razvoj triboloških procesa pri odvalnom glodanju

FTN - IPM KOMISSIJA ZA RAZVOJ TRIBOLOŠKIH PROCESA PRI ODVALNOM GLODANJU	RASVOJ TRIBOLOŠKIH PROCESA PRI ODVALNOM GLODANJU IZ OBLASTI IZ OBLASTI	1. PODACI O OBRADKU spoljni prečnik dk 213.713 broj zuba z 50 modul m 4.150 stanč. modul mh 4.150 ugao odmrnce α 21.4 ugao nagiba zubaca β 0.0 smer γ širina zupčanika b_2 414.15 širina ozubljenja b 414.15 materijal HB tvrdoća 3 kod obradka 5310161011810	2. PODACI O ODVALNOM GLODANJU integralno - O/N prečnik odv glodala dg 112.0 dužina odv glodala lg 114.5 modul m 4.150 osnovni profil normalni korak ugao spirale tn korak spirale ct bravac haac navoja pravac haac spirale broj haacova broj žlebova z_1 materijal odv glodala tvrdoća klasa tačnosti prečnik otvora kod odv glodala 218.5, 216.0, 7.4, 4 proizvođač 1	3. PODACI O MAŠINI tip inžen broj kod mašine rasticano sredstvo 3191012 1	4. SKICA OBRADKA PRI OZUBLJENJU 	5. HABANJE ZUBA ODVALNOM GLODANJU 	4. SKICA OBRADKA PRI OZUBLJENJU 	5. PODACI O PROCESU postupak broj obrtaja odv glodala n 710 brzina rezanja v_f 1 pomak aksijalni Sa 710 pomak horizontalni Sh 1 aksijalno pomeranje op 211 smer pomeranja pomeranje posle (KOM-PAK) 2 broj ukupnih pomeranja 1 broj obruđenih - očekivano 310 ozubljenja - ostvareno 310	6. 		RASVOJ PROCESA HABANJA kriterijum pohanosti h 0.4 maksimalno habanje h_{max} 0.7 pojava habanja grudne površine (krater) - pojava nastaga u/i 0.4 pojava krzalina u/i 0.7 neophodna veličina ostrejenja - t (min) n (kom)
---	---	--	--	--	---	--	--	--	--	--	---

Sl.3. Razvoj triboloških procesa pri odvalnom glodanju

<p>FIN - PM: RAZVOJ TRIBOLOŠKIH PROCESA PRILAZNOM GLODANJU KOMISS - RIZOR</p>	<p>1.1. PODACI O OBRADU</p> <p>spojnik: drvenik broj zuba: 21 modul: 5.0 stanc. modul: 4.50 ugao odaznice: 2.4 ugao nagiba zubaca: 10.0 smer: 7 širina zupčanika: 4.4 širina ozubljenja: 4.4 materijal: 3 vrsta: 1 kod obradka: 5131016101011810</p>	<p>1.2. PODACI O ODVALNOM GLODALU</p> <p>integralno - O/N: 0 prečnik odv glodala: d_g 12.0 auzina odv glodala: l_g 1.45 modul: m 4.50 osnovni profil: in normirani korak: u korak spirale: w pravac noac navoje: L pravac noac spirale: D broj navoja: 1 broj žljebova: 1 materijal odv glodala: Z1 tvrdoća: 1 klasa tačnosti: Hrc 6.5 frećnik otvara: d 3.0 kod odv glodala: 218.5.2.6.0.7.4.4 prizvodjać: 1</p>	<p>1.3. PODACI O PROCESU</p> <p>postupak: 1 broj obrata odv glodala: n 7.0 brzina rezanja: v_r pomak aksijalni: Sa 7.0 pomak horizontalni: Sh aksijalno pomeranje: ap 2.1 smer pomeranja: 2 pomeranje posle (KOM - PAK): 1 broj ukupnih pomeranja: 3.0 broj obrad'ennin: -očekivano 3.0 ozubljenja: -osvrano 3.0</p>	<p>1.4. SKICA OBRADKA PRI OZUBLJENJU</p> <p>glavno vreme obrade: t_g vreme obrade po komadu: t_k</p>	<p>1.5. HABANJE ZUBA ODVALNOM GLODALU</p> <p>BOČNI PROFIS: C-C, A-A GRUPNA POVIŠINA RAZLIČNO SEČNO ZUBA</p>
---	--	---	--	--	---

<p>1.6. RASPODELA HABANJA</p> <p>širina polosa habanja (mm): 1.3, 1.2, 1.1, 1.0, 0.9, 0.8, 0.7, 0.6, 0.5, 0.4, 0.3, 0.2, 0.1</p> <p>broj zuba odv glod.: 21</p>	<p>1.7. RASPODELA HABANJA</p> <p>širina polosa habanja (mm): 1.3, 1.2, 1.1, 1.0, 0.9, 0.8, 0.7, 0.6, 0.5, 0.4, 0.3, 0.2, 0.1</p> <p>broj zuba odv glod.: 21</p>	<p>1.8. RASPODELA HABANJA</p> <p>širina polosa habanja (mm): 1.3, 1.2, 1.1, 1.0, 0.9, 0.8, 0.7, 0.6, 0.5, 0.4, 0.3, 0.2, 0.1</p> <p>broj zuba odv glod.: 21</p>
---	---	---

kriterijum pohabanosti: h	0.14	U /	popava nastoga	U /
maksimalno habanje: h _{max}	0.25	U /	popava krzotina	U /
popava habanja grudne površine (krater):		U /	neophodna velicina ostrjenja	

Sl.1.4. Razvoj triboloških procesa pri odvalnom glodanju

Tehnologija oslojavanja odvalnih glodala od brzoreznih čelika tvrdim slojevima je na početku razvoja i ono sa sobom nosi velike razvojne mogućnosti, tako da će se u budućnosti raširiti primena odvalnih glodala od brzoreznih čelika.

3. ZAKLJUČAK

Uporednim ispitivanjima neoslojenih i oslojenih odvalnih glodala dobijeno je: značajno veća postojanost, poboljšanje kvaliteta površine obratka i smanjenje sile trenja, zbog boljeg klizanja strugotine po površini oslojenog odvalnog glodala.

Odvalno glodalo oslojeno u domaćim uslovima dala su približno iste rezultate kao odvalna glodala oslojena u inostranstvu.

4. LITERATURA

- /1/ Ivković B.: Tribologija rezanja, Gradjevinska knjiga, Beograd, 1979.
- /2/ Nikić Z.: Identifikacija triboloških procesa pri urezivanju navoja, Doktorska disertacija, Kragujevac, 1979.
- /3/ Navinšek B.: Tvrde zaštitne prevlake i povećanje življenjske dobe orodij, Zbornik I posvetovanja, Bled, 1985.
- /4/ Kelly W.P.: Gear cutting with TiN - coated tools, American machinist, 1982.
- /5/ Hatschek L.R.: Coatings: revolution in HSS tools, American machinist, Special Report 752, 1983.
- /6/ Sovilj B.: Optimizacija geometrijskih parametara odvalnog glodala, Magistarski rad, Novi Sad, 1980.
- /7/ Sovilj B.: Istraživanje podloga za poboljšanje reznih sposobnosti alata, Elaborat-izveštaj, Novi Sad, 1987.
- /8/ Bosch M., Boecker E.: Erfahrungen mit TiN-beschichteten Wälzfräsern, Industrie-Anzeiger br.35, 1983.

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

NOVE VARIJANTE KEMIJSKE DEPOZICIJE--SREDNJETEMPERATURNI CVD-PROCESI
NEW VARIANTS OF CHEMICAL DEPOSITION-MODERATE-TEMPERATURE-CVD-PROCESS

A. Milošević

"Sintal" Tvornica sinter metala i alata
41000 Zagreb, Jugoslavia

Ključne riječi:
CVD-postupak
prevlaka
substrat

SAŽETAK: Tehnologija nanošenja tankih slojeva na alatne materijale u smislu povećanja vijeka trajanja alata kombinira žilavost podloge s izuzetnom tvrdoćom prevlake. Za tvrdi metal kao substrat je najprikladniji CVD-postupak (Chemical vapor deposition).

Ovim postupkom nanose se jednostruke i višestruke prevlake, a u pogledu kemizma mješovite: homogene i heterogene. Mješovite prevlake se sastoje od više spojeva taloženih istovremeno. Homogene se talože kao kristali mješanci, a heterogene kao više faza u jednoj prevlaci. Ovaj rad informira o primjeni CVD-tehnologije u zemlji i utjecaju površinskih prevlaka na razvoj domaćih alatnih materijala.

Key words:
CVD-proces
coating

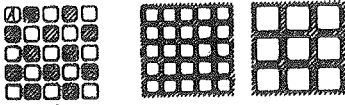
Abstract: A technology of deposition of thin hard layers on tool material aiming at the increase of tool life combines the toughness of the substrate and the extreme hardness of the coating. When hard metal is concerned, CVD-technique (Chemical Vapour Deposition) or chemical deposition from the gas phase is the most suitable. The surface coatings of single or multiple layers are being deposited, which from the chemical point of view can be: mixed, homogeneous and heterogeneous. The mixed coatings consist of two or more compounds precipitated simultaneously, heterogeneous consist of two or more phases in one layer. Homogeneous coatings of so called mixed crystals.

This paper reports the application of this technology in the country as well as the influence of surface coatings on home tool material development.

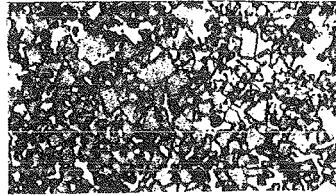
1. Uvod

Tehnologija površinskih prevlaka tema, ni sasvim nova ni nepoznata, međutim uvijek aktualna kada je riječ o novim materijalima, posebno alatnim. Od brojnih postupaka poznatih zadnjih 15-tak godina najviše eksploatiran u industriji je nesumnjivo CVD-postupak kada je u pitanju tvrdi metal kao podloga. Obzirom na veliki interes za postupke metalurgije praha u zadnje vrijeme, t.m. kao njen najinteresantniji produkt, ne može nikako biti u ovoj temi zaobiden. Danas se putem praškaste metalurgije dobiva čitav niz materijala, kao što su: sinter željezo, obojeni metali, razni ferotici, oksidna i miješana keramika itd. Proizvodnja t.m. je kompleksan slijed operacija putem kojih se od izvornog praha, preko prešanja, termičke obrade i oblikovanja dolazi do finalnog produkta.

Termička obrada t.m. je tipičan proces sinteriziranja u prisustvu tekuće faze. Naime u pogledu kemizma t.m. se sastoji od karbida teško taljivih metala kao što su: W, Ti, Ta, Nb, s jedne strane te plastične komponente koja služi kao vezivo na bazi metala iz Fe grupe, koju čine: Co, Ni, Fe, s druge strane. Za vrijeme procesa sinteriziranja na temperaturama između 1625-1675°K dolazi do taljenja veziva, obično Co, koji se kao tekuća faza razlije oko karbidnih zrna, a prilikom hlađenja se stegne tako da zarobi zrna karbida u svojoj masi te izgleda kao da su prostorno zalemljena. sl.1. sl.2. Mikrostruktura t.m.



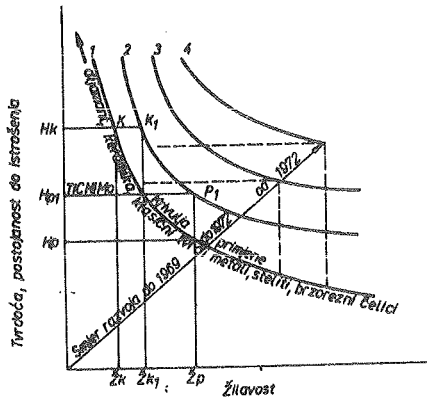
Sl.1. Faza A - WC Faza B - Co



Sl.2. Struktura tvrdog metala

RAZVOJ ALATNIH MATERIJALA

Otkad je spektakularno lansiran prije 40-tak godina kao "WIDIA" tvrdi metal ni izdaleka nije izgubio na interesu od strane proizvođača alata. Moderni strojevi zahtijevaju alate visokih performansi i u tom smislu su se ogledali mnogi materijali. Počevši od čelika, alatnih, legiranih, brzoreznih, preko t.m., rezne keramike, bor nitrida do sintetiziranog dijamanta. Ako slijedimo fizikalno-mehanička svojstva ovih materijala, primjetiti ćemo da tvrdoća raste s razvojem novih materijala, od čelika prema dijamantu. Na dijagramu su poručeni materijali u smjeru rastuće tvrdoće sl.3.



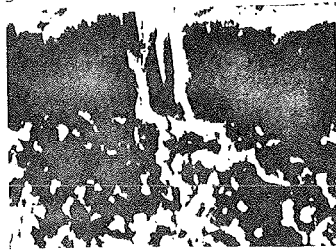
Sl.3.

U smislu tehnoloških svojstava niska tvrdoća znači kraći vijek trajanja alata, brzine trošenja, dok s druge strane previsoka tvrdoća znači ujedno krhkost što dovodi do pucanja oštice alata, te postavlja izvanredne zahtjeve u pogledu rigidnosti strojeva. Upravo zbog ovog paradoksa stremljenja kod projektiranja novih alatnih materijala su usmjerena prema materijalima koji bi bili sinteza žilavosti i tvrdoće. To je područje gdje suvereno vladaju površinske prevlake. Tehnologija nanošenja tankih slojeva može se mirne duše smatrati modernom alkemijom, zbog toga jer se svojstva materijala mogu gotovo proizvoljno mijenjati. Pojava alata s površinskim prevlakama, znači isto takav kvalitativni skok u odnosu na t.m., kao što je nekada značila pojava t.m. u odnosu na čelik. Ova tehnologija datira kojih 20-tak godina unatrag, kada se shvatilo da se variranjem kemizma i mikromorfologije t.m. ne može više mnogo utjecati na još veće poboljšanje tehnoloških svojstava.

POVRŠINSKE PREVLAKE U SVIJETU I KOD NAS

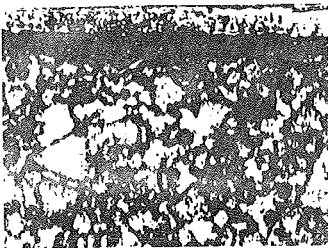
Sušтина tehnologije površinskih prevlaka sastoji se u nanošenju tankih slojeva izuzetne tvrdoće na relativno žilav substrat u svrhu poboljšanja vijeka trajanja alata. Kao tvrdi slojevi najčešće dolaze u kombinaciji:

TiC, TiN, Ti (CN), Al_2O_3 , SiC i dr. Sl.4.



Sl.4. Sloj TiC na t.m.

Prve u industrijske svrhe primjenjene prevučene t.m. lansirala je švedska firma "Coromant" -Sandvik, pod nazivom GC-vrste od skraćenice gama coating, odnosno prevlaka s γ -fazom, koja u terminologiji t.m. znači TiC-fazu. Nakon izvrsnih rezultata dobivenih u pogledu smanjenja trošenja takvih alata ova tehnologija se dalje razvija te se javljaju i novi postupci i nove prevlake. U početku su to bile jednostruke prevlake, da bi se kasnije razvile kombinirane višestruke ili "sandwich" prevlake. Višestruke prevlake su nastale zbog toga jer se sumiranjem pozitivnih svojstava pojedinih slojeva dobije rezultanta optimalnih svojstava. Sl. 5, 6.

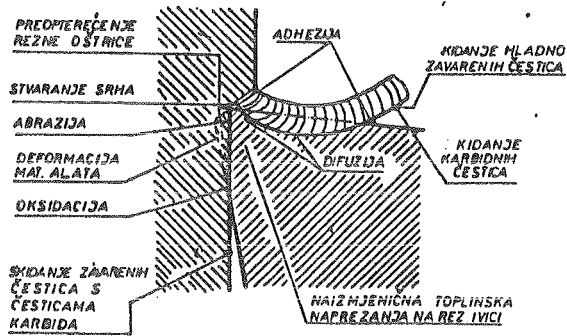
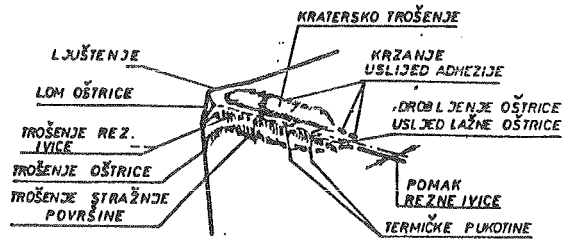


Sl.5. TiC/TiN



Sl.6. Trostruka prevlaka. TiC/TiCN/TiN.

Dok se jednostruke prevlake sastoje od samo jednog sloja, višestruke od dva ili više slojeva nanesenih postepeno jedan za drugim, mješovite prevlake se sastoje od istovremeno ta- loženih dva ili više slojeva, a mogu biti heterogene-dvije ili više faza u jednoj prevlaci kao npr. B_4C miješan s TiB_2 ili Al_2O_3 miješan s Ti (C,O). Homogene se sastoje od tzv. kristala mješanaca kao što je dobro poznati Ti (C,N). Izbor vrste prevlake kao i redosljed nanošenja pojedinih slojeva nije slučajnan. U pravilu sloj TiC redovito dolazi direktno na t.m. zbog svog toplinskog koeficijenta rastezanja ve- oma bliskog t.m., tako da na visokim temperaturama koje su prisutne kod strojne obrade ne dolazi do ljuštenja prevlake radi različite dilatacije. Sloj TiN opet redovito dolazi kao periferni sloj i to ne samo zbog svoje atraktivne zlatne boje nego radi izuzetne kemijske rezistentnosti tako da odolijeva pojavama: legiranja alata i obratka, difuziji, oksidaciji i uopće svim pojavama koje izazivaju prekomjerno trošenje alata.



Sl.7.a) Fenomen trošenja b) Uzroci trošenja (prema Beutel-u)

sL. Sl.7. Prikaz trošenja

Tvornica "Sintal" je prva u zemlji u svoj razvojni program uvrstila površinske prevlake na alatima od tvrdog metala. Slijed razvoja je tekao od laboratorijskih, preko poluindustrijskih do industrijskih razmjena.

U smislu izbora vrste prevlake počelo se sa jednostrukim slojem TiN još 1971.g. (laboratorijska istraživanja), zatim poluindustrijska proizvodnja 1974.g. kojom tržište dobiva prvu prevučenu pločicu domaće proizvodnje. Slijedeći korak je bila dvostruka prevlaka TiC/TiN - 1979. da bi se 1986.g. pojavile trostruko prevučene pločice slojem TiC, Ti (C,N), TiN. Ovo dakako nije i zadnji korak u tom nizu. Pred nama su još ambiciozni planovi, koji se stupnjevito realiziraju. Tako će se do konca 1987.g. pojaviti prevlake Ti (C,N) po srednjem-temperaturnom CVD-postupku, a isto tako i sloj Al_2O_3 .

Ukratko situacija bi onda izgledala ovako u pogledu vrsta prevlaka: TiC, TiN, (C,N), Al_2O_3 pojedinačno te u kombinaciji kao dvostruki ili trostruki slojevi.

SVOJSTVA PREVLAKE

Da bi prevlaka odigrala ulogu u smislu povećanja vijeka trajanja alata moraju biti ispunjeni neki preduvjeti:

- prevlaka mora biti dovoljne debljine 5-8 μm
- Prevlaka mora biti ravnomjerno nanosena preko čitave površine alata
- prevlaka mora biti homogena u kemijskom pogledu

- prevlaka mora biti kompaktna bez ikakvih uključaka
- metalurška veza prevlake i podloge mora biti čvrsta.

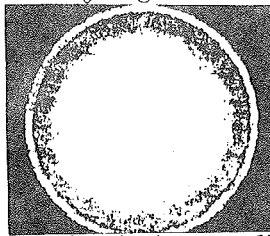
Tehnologija nanošenja prevlaka putem CVD-postupka uglavnom omogućava dobivanje upravo prevlaka takvih svojstava.

OPIS POSTUPKA

CVD-postupak (Chemical vapor deposition) sastoji se u tome, da se smjesa plinovitih reaktanata prevodi preko substrata zagrijanog na oko 1275°K tvoreći na samoj površini substrata prevlaku koja uslijed visoke temperature istovremeno i difundira u substrat. Takva prevlaka ima veoma čvrstu metaluršku vezu s podlogom.

Kao komponenta koja daje titan služi hlapivi $TiCl_4$, a davalac ugljika je obično čisti metan. Reakcija teče po jednadžbi: $TiCl_4 + CH_4 = TiC + 4 HCl$.

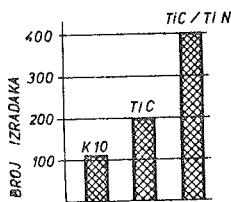
Za dobivanje sloja TiN situacija izgleda slično: $TiCl_4 + N_2 + 4 H_2 = TiN + 8 HCl$.



Sl.8. Kalota

Prevlake dobivene ovim postupkom imaju veoma finu submikronsku strukturu, koja djeluje upravo amforno tako da alat glatko klizi po površini obratka i ne uzrokuje iščupavanja zrna karbida. Hrapavost površine sloja TiC iznosi svega $Ra=2,5 \mu m$, a koeficijent trenja u odnosu na čelik -0,15.

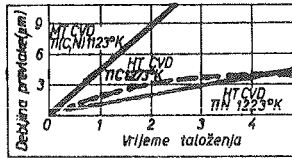
Time se i objašnjava višestruko povećan vijek trajanja alata, jer se uslijed niskog koeficijenta trenja ne generira toplina koja uzrokuje sve nezgodne i nepoželjne pojave kao što su: difuzija, oksidacija, navarivanje, legiranje alata i obrataka i dr.



Sl.9. Usporedba broj izradaka

SREDNJETEMPERATURNI CVD-PROCESI

Jedna od posljednjih inovacija u potpunom programu CVD-prevlaka je neosporno srednjetemperaturni proces tzv. MT CVD (Moderate temp. chemical vapor deposition). Primjenu je našao u području smanjenja trošenja alata i isto tako u antikoroziivne svrhe. Ovaj postupak predstavlja miljokaz u evoluciji karbonitridnih prevlaka obzirom na produktivnost, ekonomičnost i druge prednosti. Odlikuje se u prvom redu nižom temperaturom od klasičnog CVD-postupka tako da kao substrat dolaze u kombinaciju i materijali osjetljivi na visoke temperature. Ova prevlaka nastaje već iznad 873°K, a u pravilu u području od 973-1173°K daje daleko brže taloženje prevlake odnosno znatno deblje prevlake.



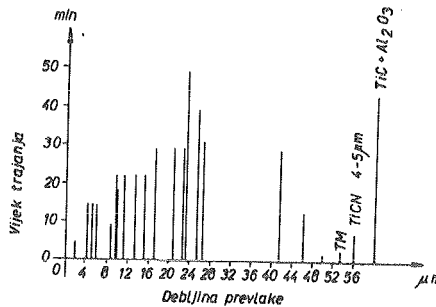
Sl.10. Debljina prevlake - vrijeme taloženja

Kao što se vidi na dijagramu vrijeme taloženja je trostruko brže. Zbog niže temperature kao što je već rečeno mogu doći u obzir kao substrat i materijali osjetljivi na strukturalne promjene na temperaturi, prvenstveno su interesantni čelici.

Postupak se sastoji u tome da se kao izvor C i N komponente upotrijebi neki od slijedećih spojeva: trimetilamin, dimetilhidrazin, acetonitril ili cijanovodik. Nekoliko odlika karbonitridnih prevlaka koje treba istaći su: visoka mikro tvrdoća 2300-4000 HV_{0,05} koja je veća s većim sadržajem ugljika, zatim otpornost na abraziju.

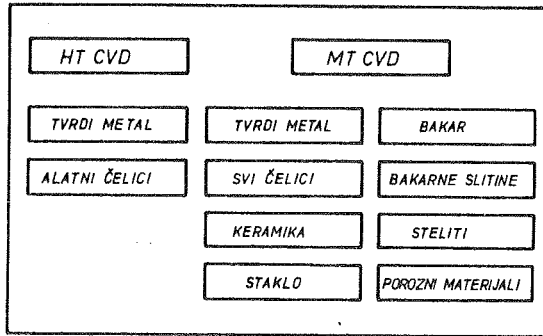
Otpornost na koroziju, te otpornost na trošenje alata.

Vijek trajanja alata ovisan je o debljini TiCN prevlake tako prevlaka debljine 5 μm daje iste rezultate u pogledu vijeka trajanja alata kao prevlaka TiC iste debljine. Međutim prevlaka TiCN debljine 20 μm ima istu izdržljivost kao kombinirana prevlaka TiC/Al₂O₃.



Sl.11. Vijek trajanja u ovisnosti o debljini prevlake

Prevlake dobivene srednjeterapeuturnim postupkom, radi velike brzine taloženja na substrat mogu doseći veoma veliku debljinu sloja, za relativno kratko vrijeme. Time je omogućena naknadna obrada površine, kao fino poliranje, a da sloj ostane još uvijek dovoljno deo, što nije slučaj kod prevlaka dobivenih visoko temperaturnim CVD-postupkom a gotovo onih dobivenih PVD postupkom. Područje primjene prevlaka dobivenih ovim postupkom se proširuje na čitav niz novih materijala.

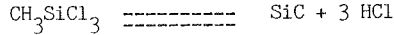


Sl.12. MT CVD = novo područje primjene

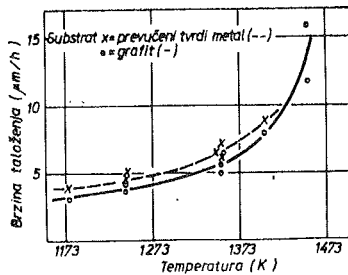
PREVLAKE SiC NA TVRDOM METALU

Silicijev karbid nalazi višestruku primjenu uslijed svoje visoke tvrdoće, kemijske i temperaturne otpornosti, električne vodljivosti itd.

Postoje dvije varijante dobivanja SiC prevlaka pomoću CVD-tehnologije. Visokotemperaturni postupak kada se kao izvor silicija koristi silicijev tetraklorid (SiCl_4), a radna temperatura iznosi oko 1873°K i drugi koji radi na znatno nižoj temperaturi oko 1173-1373°K. Po drugom postupku kao izvor SiC služi MTS (metiltriklorsilan) koji pirolizom daje SiC prema jednadžbi:

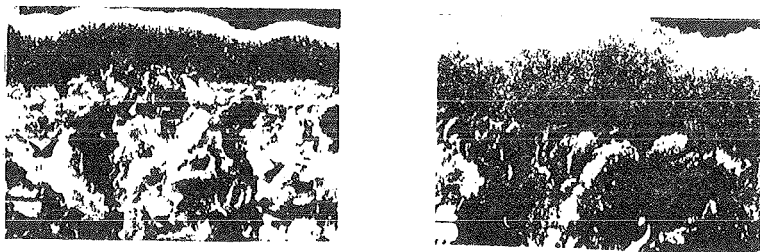


Pokusi su vršeni na grafitu i tvrdom metalu kao substratu s preduvjetom da kod tvrdog metala mora postojati međusloj između substrata i SiC zbog toga što kobalt iz tvrdog metala stvara međuspojeve u obliku silicida. Kao međusloj se obično upotrebljava sloj TiN na tvrdom metalu. Brzina taloženja prevlake SiC ovisi o mnogim utjecajnim faktorima kao što su: temperatura, koncentracija ulaznih reaktanata, parcijalni tlakovi itd.



Sl.13. Brzina taloženja u ovisnosti o temperaturi

Na temperaturama: 1178°K , 1153°K i 1453°K u svim slučajevima je dokazan β -SiC (kubični), dok se na višim temperaturama 1873°K izlučuje heksagonalni α -SiC. Finoća strukture je uvjetovana temperaturom. Brzina taloženja koja je niža na nižoj temperaturi regulira se koncentracijom reaktanata.



Sl. 14., 15. Ovisnost strukture o temperaturi

MOGUĆNOST PRIMJENE

Poznato je da postojanost SiC prema željezu nije posebno visoka, tako da ne treba očekivati primjenu u području strojne obrade takvih materijala. Međutim, obzirom na njegovu izuzetnu tvrdoću te u vezi s tim postojanost na abraziju očekuje se primjena u području obrade plastičnih masa, Al-Si legura itd., a obzirom na postojanost prema oksidaciji primjena kod vatrootpornih materijala za izgradnju peći te dijelova u kemijskoj industriji.

ZAKLJUČAK:

Praćenje dosadašnjeg razvoja alatnih materijala, kao i projektiranje novih vrsta ukazuje na to da će i ubuduće oko izbora alata prevagnuti prije svega cijena. Zbog toga će opredjeljenja uvijek biti na strani prevučeni alatnih materijala, gdje se prevlakom mogu gotovo proizvoljno mijenjati tehnološka svojstva, dok se izborom substrata može bitno utjecati na cijenu.

Osvrtom unatrag 20-tak godina, od prvih početaka CVD-tehnologije, moglo bi se zaključiti da je primjena iste već do te mjere iscrpljena te da se tu bitno novo više ništa ne može dogoditi.

Međutim na nedavno održanoj VI Evropskoj konferenciji u Jeruzalemu, izneseno je toliko novih istraživačkih radova, novih postupaka aktiviranih plazmom, laserom itd. Sve ukazuje na to da je kroz protekli period područje primjene CVD-tehnologije tek načeto, a budućnost će pokazati sve mogućnosti novih prevlaka dobivenih modificiranim CVD-procesima, koje će nesumnjivo pridonijeti daljnjem razvoju alatnih materijala.

BIBLIOGRAFIJA

1. M. Bonetti-Lang, R. Bonetti and H.E. Hintermann,
Laboratoire Suisse de Recherches Horlogeres
CH-2000 Neuchatel 7, Switzerland
Carbonitride coatings at moderate temperatures
obtained from organic C/N-compounds
2. W. Schintelmeister, W. Wallgram und K. Gigl
Metallwerk Plansee GmbH
A.6600 Reutte-Austria
Herstellung von CVD-SiC Schichten bei
mittleren Temperaturen
3. W. Schintelmeister, O. Pacher,
Preparation and properties of hard-materials, J. of vac. sc. and tech. Vol. 12, 74.

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

ISTRAŽIVANJE POSTOJANOSTI ALATA NA VIŠEVRETENIM AUTOMATIMA
INVESTIGATION OF TOOL LIFE AT MULTI-SPINDLE BAR AUTOMATIC LATHE

A. Perić Mašinski fakultet Univerziteta u Sarajevu
71000 Sarajevo, Jugoslavija

H. Tafro SOUR UNIS, RO POBJEDA
71400 Goražde, Jugoslavija

Ključne riječi: SAŽETAK: U radu su data pogonska istraživanja postojanosti alata na viševretenim automatima. Minimizacijom određene funkcije po prvi put je eksperimentalno dobijena funkcija troškova obrade - postojanost kod viševretenih automata i ekonomska postojanost alata u iznosu od 45 minuta. Koristeći ovu postojanost u operaciji na automatu smanjeni su troškovi obrade po komadu za 40% a istovremeno povećana proizvodnost za cca 50%.

Alat
Postojanost alata
Viševreteni automat

Key words: ABSTRACT: In this article are given industrial investigation of tool life at multi-spindle bar automatic lathe. Minimisation of certain function determined is first time experimenal curve cost per component- tool life at this automatic lathe and tool life for minimum cost per component about 45 minuta. Using this tool life in operation is obtained an decrease of cost of 40 per cent and simultanous an increace of production rate of about 50 per cent.

Tool
Tool life
Multi-spindle automatic lathe

1. Uvod

Istraživanje upravljanja procesom rezanja na mehaničkim automatima sa stanovišta proizvodnosti i ekonomičnosti obrade je veoma značajno. Masovna proizvodnja jednog dijela na viševretenom automatu od cca 1,000.000 komada na godinu može trajati više godina, pa se racionalnim izborom parametara obrade mogu postići znatne uštede.

Kod ovih automatskih strugova na kojima se izradjuju sitni i fazonski dijelovi za projektovanje tehnologije ne postoji vrijednost ekonomske postojanosti alata apsolutno potvrđena kao dobra u praksi za razne slučajeve obrade. Postoje jedino literaturne preporuke koje se koriste u proizvodnji. Tako se ovim preporukama predlaže ekonomska postojanost alata kod jednovretenih automata od 150-200 min., a kod viševretenih i do 480 min. Pri tome se ne daju tačne preporuke koju vrijednost treba uzeti kod obrade malog odnosno velikog obradka ili kada je vrijeme obrade malo odnosno veliko ili kada se koristi malo odnosno puno alata.

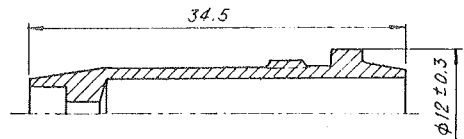
Stoga je i vršeno ovo pogonsko istraživanje postojanosti alata na viševretenim automatima sa ciljem da se opitno odredi ekonomska postojanost alata i ispita podudarnost ove vrijednosti sa preporukama i programiranom vrijednosti postojanosti na mašini. Ovaj problem je teoretski istraživani [1, 2, 3] dok eksperimentalna istraživanja nisu poznata.

2. Oznake

P	- snaga mašine	LD	- bruto lični dohodak operatora
V	- brzina rezanja	C_{en}	- trošak električne energije
s	- pomak	C_{pm}	- trošak pomoćnog materijala
C	- troškovi obrade po komadu	a	- površina za mašinu
C_M	- troškovi radnog mjesta u minuti	A	- radni prostor pogona
t_r	- vrijeme rezanja alata	C_{gr}	- Godišnji troškovi grijanja, vode, zraka pogona
t_c	- vrijeme ciklusa	C_{ras}	- godišnji troškovi rasvjete u pogonu
t_{sm}	- vrijeme smjene alata	C_{in}	- godišnji trošak investicija u pogonu
T	- postojanost alata	C_{am}	- amortizacija mašine
C_A	- troškovi alata	C_g	- amortizacija pribora i instrumenata mašine
C_{ma}	- cijena novog alata	C_{odr}	- održavanje mašine
k	- broj oštrenja alata	F_{st}	- stvarni godišnji fond vremena
$C_{oš}$	- troškovi oštrenja		
$t_{oš}$	- vrijeme oštrenja alata		
LD_{reg}	- bruto lični dohodak reglera		

3. Materijal, alat, mašina i uslovi u eksperimentu

Istraživanja su vršena na šestovretenim automatskim strugovima firme Tornos, Švajcarska, tip AS14, snage $P = 7,4 \text{ kW}$ sa brojem obrta $n = 900-6000 \text{ min}^{-1}$ i sa 13 alata. Na automatu je iz šipki dimenzija $\varnothing 12 \times 500 \text{ mm}$ od aluminijske legure AlCu5Pb izradjivan obradak (sl.1) od $\varnothing 12 \times 34,5 \text{ mm}$. Obrada je vršena u 6 faza na 6 vretena alatima na uzdužnom i poprečnom klizaču. Režim rezanja alata u početnom stanju bio je programiran kako slijedi: broj obrta $n = 4000 \text{ min}^{-1}$, pomaci kod struganja od $0,011$ do $0,028 \text{ mm/o}$ a kod bušenja od $0,042 - 0,09 \text{ mm/o}$.



Sl. 1. Obradak

4. Definisane eksperimenta i metod istraživanja

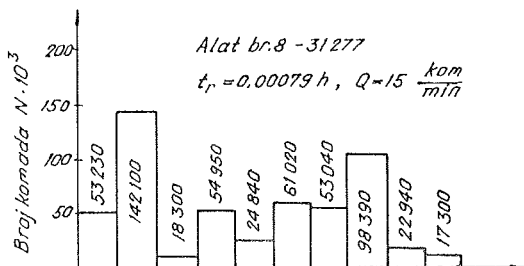
Eksperiment se u suštini sastojao u opitnoj minimizaciji određene funkcije troškova operacije u zavisnosti od postojanosti alata za određenu viševalatnu obradu. Matematički rečeno u opštem obliku tražen je opitnim putem minimum funkcije troškova obrade po komadu

$$C = f(t_{ri}, T_i) = f(T)$$
$$\frac{\partial C}{\partial T} = 0$$

Ovaj eksperiment izvoden je putem metoda radioničkih istraživanja direktno na mašinama u proizvodnji. Obitno je minimizirana funkcija troškova obrade po komadu bez fiksnih troškova, koja glasi [4]

$$C = C_M \left[t_c + \sum \left(t_{smi} + \frac{C_{Ai}}{C_M} \right) \frac{t_{ri}}{T_i} \right] \quad (1)$$

Minimizacija je vršena variranjem brzine rezanja uz konstantne dubine rezanja i pomake. U toku opita mjereno je ciklusno vrijeme t_c , vremena rezanja alata t_r i vremena smjene alata. Vremena rezanja alata su kontrolisana i proračunom. Snimanjem je utvrđivan broj obradaka obradjen pojedinim alatom do zatupljenja [5, 6] koje je utvrđivano vizuelnim kriterijom od strane poslužioca mašine.



S1. 2. Trajnost alata prema broju obradaka

Na osnovu broja obradaka po pojedinom alatu (sl. 2) i vremena rezanja pojedinog alata statistički je proračunata srednja postojanost pojedinih alata. Tako se upoređenjem odredjivao limitirajući alat i njegova postojanost. Uz to su mjerena i pohabanja alata [2, 3]. Troškovi alata C_A odredjivani su po formuli

$$C_A \approx \frac{C_{ma}}{k+1} + t_{os} \cdot C_{os} + t_{sm} \cdot LD_{reg} \quad (2)$$

Troškovi radnog mjesta u minuti C_M odredjivani su po formuli

$$C_M = LD + C_{en} + C_{pm} + \frac{a}{A} \frac{C_{gr} + C_{ros} + C_{in}}{F_{st}} + \frac{C_{am} + C_g + C_{adr}}{F_{st}} \quad (3)$$

Na taj način su za pojedine brzine odredjivane odgovarajuće tačke dijagrama troškova po komadu tj. vrijednost T jednaka postojanosti limitirajućeg noža pa je zatim izračunata veličina C po datoj formuli.

5. Rezultati istraživanja

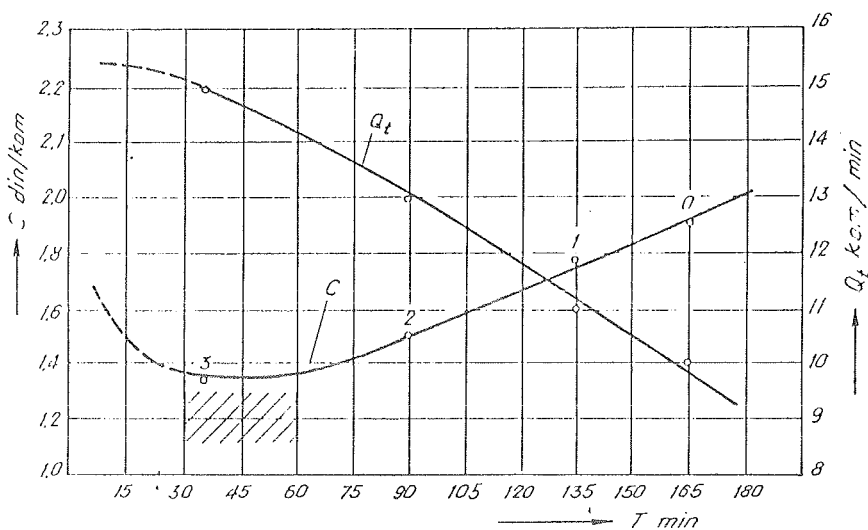
Primjenjujući navedeni metod istraživanja određeni su snimanjem i proračunom podaci koji su služili za dobijanje dijagrama troškova (tabl. 1). Na slici 3 prikazan je dijagram funkcije troškova obrade po komadu u zavisnosti od postojanosti alata za višeatlatnu obra-

Tabela 1. Postojanost, troškovi i podaci za proračun

No		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	t_c min	C_M din. min	T min	C din. kom
0	t_{ri}	0.01	0.024	0.077	0.0023	0.077	0.022	0.071	0.035	0.042	0.0214	0.1	18,82	165	1,9
	T_i	1515	2490	7914	1641	7962	4650	13920	6480	18990	6280				
1	t_{ri}	0.009	0.022	0.07	0.002	0.07	0.019	0.07	0.031	0.039	0.019	0.09	18,82	136	1.78
	T_i	1314	2418	7650	136	4458	4170	10470	4860	13470	5178				
2	t_{ri}	0.0077	0.018	0.059	0.0017	0.059	0.017	0.06	0.027	0.033	0.016	0.077	18,82	91	1,5
	T_i	633	666	2694	91	2880	2413	4446	2208	5460	3690				
3	t_{ri}	0.007	0.016	0.052	0.0016	0.051	0.015	0.047	0.023	0.029	0.014	0.067	18,82	35	1.35
	T_i	357	477	1614	35	2070	1770	2610	1470	5460	1770				
C_A din		116	338	80	600	1497	60	115	275	97	1129				
t_{sm} min		0.4	3	0.8	7	0.35	0.6	4	2	2.9	0.6				

Napomena: Alat za rendiranje na vretenu 2 i dva strugarska alata na vretenu 5 su zanemareni u eksperimentu

du. Tako je po prvi put dobijen eksperimentalno grafički prikaz funkcije troškova obrade po komadu u zavisnosti od mjerodavne postojanosti limitirajućeg alata i određena ekonomska postojanost limitirajućeg alata za dati dio, koja je relevantna za proračun optimalnih režima obrade.



Sli. 3. Zavisnost troškova obrade po komadu od postojanosti

Iz grafičkog prikaza funkcije vidi se da je režim obrade u početnom stanju 0 programiranom na mašini određen prema postojećim preporukama prema literaturi. Međutim, minimum funkcije troškova obrade po komadu dobijen je pri postojanosti limitirajućeg alata od cca 45 min., što je znatno niže od programirane vrijednosti na automatu od cca 165 min. Pri optimalnom režimu rezanja automata baziranom na ekonomskoj postojanosti od cca 45 min. postignuto je smanjenje troškova obrade za cca 40% i povećanje proizvodnosti za cca 50% (Tabl. 1 i sl. 3). Proizvodnost na minutu izražena je kao tehnološka, inverzno proporcionalna ciklusnom vremenu.

6. ZAKLJUČAK

Na osnovu izloženog može se dati nekoliko konstatacija. U početnom programiranom režimu obrade automati nisu radili sa optimalnim režimima obrade tj. pri minimalnim troškovima obrade po komadu. Radom u optimalnoj tački funkcije smanjeni su troškovi obrade za cca 40% i povećana proizvodnost za cca 50%.

Na kraju se može zaključiti slijedeće:

Ne postoji nikakva pouzdana preporuka za ekonomsku postojanost alata kod viševalatne obrade na viševretenom automatu već tu veličinu treba odrediti; to se može pouzdano i tačno uraditi odredjivanjem optimalne tačke funkcije troškova obrade po komadu putem opitne minimizacije.

Literatura

- [1] Armarego E.J.A., Brown R.H., The machining of metals, Prentice-Hall, Inc. New Jersey, 1969.
- [2] Pankin A.V., Obrabotka metallov rezaniem, Mašgiz, Moskva, 1961.
- [3] Bobrov V.F., Osnovi teorii rezanija metallov, Mašinstroenie, Moskva, 1975.
- [4] Perić A., Ekonomska postojanost alata kod rada više različitih alata u različitim uslovima sa eksponentom nad postojanosti različitim od konstante, Zbornik radova br.1, Zavod za alatne mašine i Katedra za proizvodnu tehniku Mašinskog fakulteta Sarajevo, 1986.
- [5] Jovičić M., Danojlović T., Postojanost izmjenjivih pločica TM pri obradi na NC strugovima, Zbornik radova XVI Savjetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Mostar, 1982.
- [6] Margić S., Krivanja B., Jedan prilog boljem poznavanju presvučenih pločica od TM, Zbornik radova XVII Savjetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Titograd, 1983.

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

POSTOJANOST TOCILA RAZLIČITE BRUSNE SIROVINE
THE STABILITY OF WHETSTONE MADE OF DIFFERENT GRINDING RAW MATERIALS

B. Kršljak Tehnički fakultet Čačak, Univerzitet "S,Marković"
D. Ranjdjić 34000 Kragujevac, Jugoslavija

Ključne riječi: SAŽETAK: Na postojanost tocila utiče mnogo parametara me-
Postojanost dju kojima i vrsta brusne sirovine. Za definisanje posto-
Tocilo janosti tocila koriste se razni kriterijumi. U ovom radu
Brusna sirovina je analiziran odnos varijacije normalne komponente otpora
Otpor brušenja brušenja i normalne komponente ($\Delta F_n/F_n$) pri brušenju alat
Alatni čelik nih čelika konvencionalnim tocilima različite brusne siro-
vine, kao kriterijum za određivanje postojanosti tocila.

Key words: ABSTRACT: The whetstone stability is influenced by numero
Stability us parameters where grinding raw material belong. As well
Whetstone different criteria are used to define the whetstone stabi-
Grinding surface litu. The relation between normal resistance component and
Grinding resist- normal component ($\Delta F_n/F_n$) while grinding tool steels by
ance conventional whetstones of different grinding raw materi-
Tool steel als is shown in this paper, as a criterion for determining
the whetstone stability.

1. Uvod

Postojanost tocila je bitan pokazatelj za kvalitet brušene površine i eko-
nomiku procesa obrade.

Odnos varijacije normalne komponente otpora brušenja i normalne komponente
($\Delta F_n/F_n$), kao kriterijum za definisanje trenutka zastupljenja tocila-gubit
ka rezne sposobnosti, je vrlo povoljan parametar obzirom na jednostavnost
merenja a i pouzdan je jer u periodu dostizanja postojanosti tocila vred-
nost komponente F_n se ustaljuje a njena varijacija ΔF_n se naglo uvećava, pa
i odnos $\Delta F_n/F_n$ ima znatno uvećanje.

U ovom radu je analizirana postojanost tocila domaće proizvodnje različite
brusne sirovine pri brušenju teškoobradljivih alatnih čelika.

2. Izvodjenje ispitivanja (eksperiment)

Ispitivanja su obavljena na brusilici za ravno brušenje sa pravougaonim
radnim stolom tip 3G71 /1/.

Brušenje je vršeno obimom koturastih elektrokorundnih točila 2B546V, 4B54K6V i 5A54K6V, prečnika $D_t=250$ mm i širine $B=25$ mm, proizvedena u industriji "8 Mart" u Adi.

Uzorci za ispitivanje su bili od alatnog čelika Č.4750 i brzoreznog čelika Č.9780 dimenzija $100 \times 42 \times 20$ mm, termički obradjeni tvrdoće $60 H_{RC}$ odnosno $64 H_{RC}$.

Za merenje komponenata otpora brušenja i njihovih varijacija korišćen je dvokomponentni dinamometar sa odgovarajućim mernim sistemom /2/. Elementi režima brušenja su bili: obimna brzina točila $v_t=35$ m/s brzina stola (uzdužni pomak) $v_u = 10$ m/min, poprečni pomak $s_p = 1,6$ mm/hodu i dubina rezanja $a=0,01$ mm.

U toku ispitivanja praćena je promena komponenata otpora brušenja (normalne F_n i tangencijalne F_t) i njihovih varijacija ΔF_n i ΔF_t u zavisnosti od teorijske zapremine obrušenog materijala u toku vremena brušenja V_{mt} , koja je srazmerna vremenu brušenja.

3. Rezultati ispitivanja

Promena izlaznih parametara obradnog sistema (komponentata otpora brušenja i njihovih varijacija) i odnosa $\Delta F_n/F_n$ u zavisnosti od teorijske zapremine obrušenog materijala pri brušenju Č.4750 data je na sl.1. a pri brušenju Č.9780 na sl.2.

Prema dobijenim rezultatima sa vremenom brušenja rastu komponente otpora brušenja i njihove varijacije. Prema sl.1. najveće vrednosti komponenata F_n i F_t su dobijene pri radu sa točilom 4B54K6V a najmanje pri radu sa točilom 2B54K6V. Varijacija ΔF_n ima nagli porast i daleko veći intezitet od ostalih takodje pri radu točilom 4B54K6V.

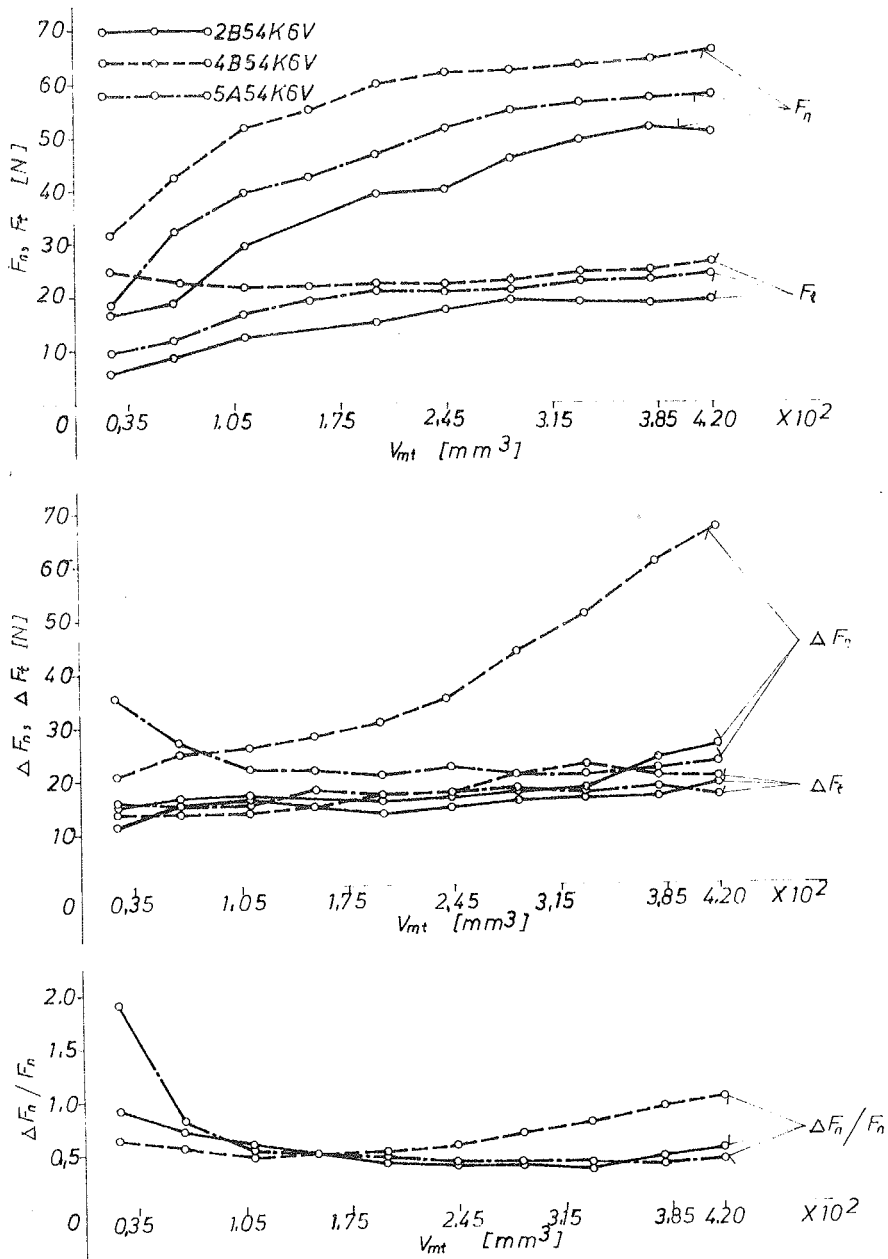
Prema odnosu $\Delta F_n/F_n$ već pri $V_{mt} = 120$ mm³ točilo 4B54K6V počinje da gubi reznú sposobnost. Točila 2B54K6V i 5A54K6V zadržavaju duže reznú sposobnost od točila 4B54K6V, stim što je najduža postojanost točila 5A54K6V. Odnos $\Delta F_n/F_n$ kod ovog točila počinje da raste pri $V_{mt} = 380$ mm³ a kod točila 2B54K6V pri $V_{mt} = 320$ mm³.

Prema sl.2. najveće vrednosti F_n i F_t su dobijene za točilo 5A54K6V a najmanja F_n za točilo 4B54K6V a F_t za točila 2B54K6V i 4B54K6V su približnih vrednosti.

Varijacija ΔF_n je najvećeg inteziteta i ima nagli porast za točilo 4B54K6V a najmanje je veličine kod točila 2B54K6V. Varijacije ΔF_t su približnog inteziteta.

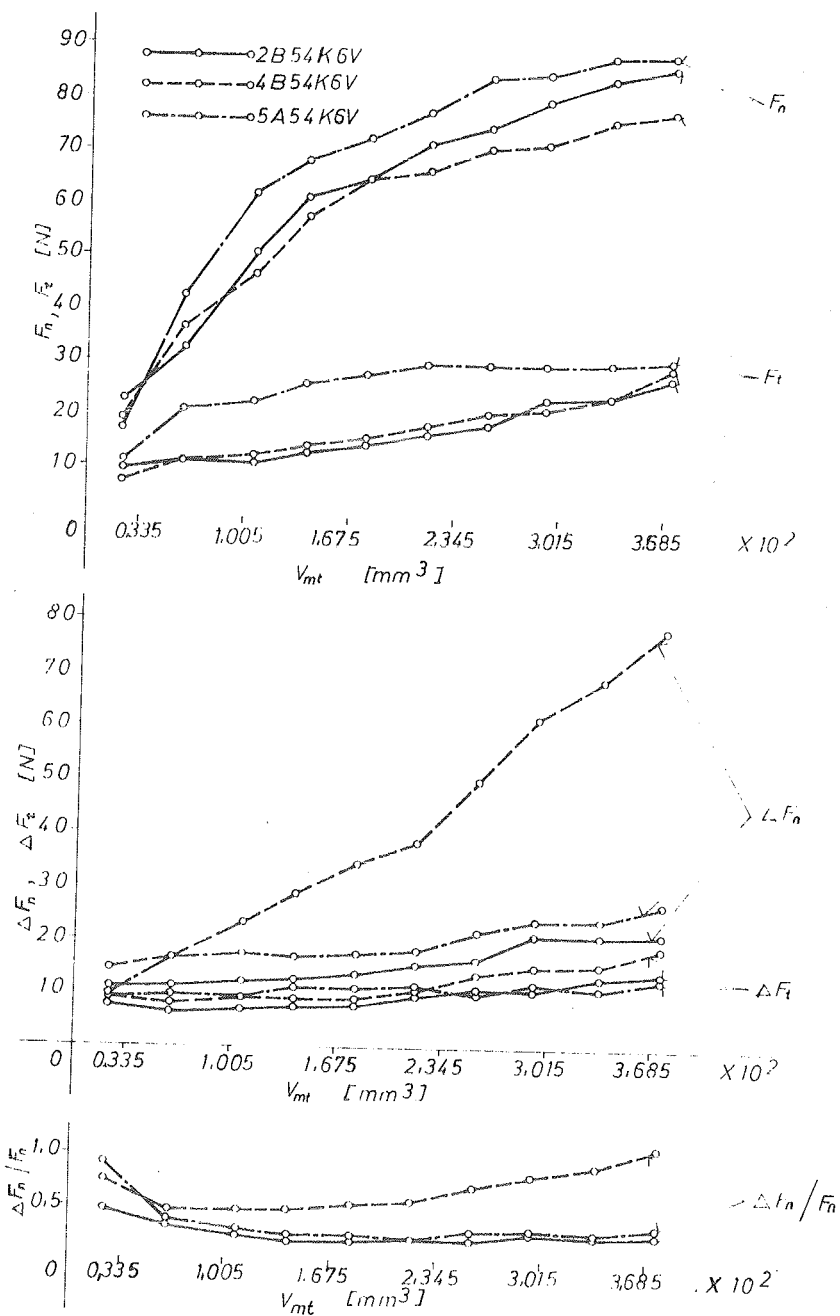
Odnos $\Delta F_n/F_n$ za točilo 4B54K6V počinje da raste već pri $V_{mt} = 40$ mm³ a za druga dva točila približnih je vrednosti i počinje da raste pri $V_{mt} = 230$ mm³. Prema dobijenim vrednostima izlaznih parametara iz procesa vidi se da je intezitet komponenata otpora brušenja veći kod Č.9780, dok je intezitet varijacije ΔF_n pri radu točilom 4B54K6V takodje veći a pri radu točilima 2B54K6V i 5A54K6V ΔF_n i ΔF_t su manje veličine pri brušenju Č.9780 nego kod

Č. 4750, zbog različitih karakteristika materijala obratka (uzorka). Prema dobijenim rezultatima odnosa $\Delta F_n / F_n$ vidi se da je za brušenje Č.4750, od posmatranih, najpovoljnije tociło 5A54K6V jer ima najveću postojanost a za brušenje Č.9780 tociło 2B54K6V.



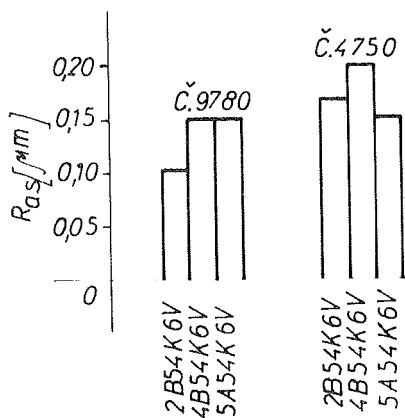
Sl.1. Promena veličina F_n , F_t , ΔF_n , ΔF_t i odnosa $\Delta F_n / F_n$ u toku vremena brušenja pri brušenju Č.4750 tociłima različite brusne sirovine

Na sl. 3 prikazane su veličine srednje aritmetičke hrapavosti R_{as} , merene u pravcu porječnog pomaka pri brušenju č.4750 i č.9780 tocilima različite brušne sirovine.



Sl.2. Promena veličina $F_n, F_t, \Delta F_n, \Delta F_t$ i odnosa $\Delta F_n / F_n$ u toku vremena brušenja pri brušenju č.9780 tocilima različite brušne sirovine

Prema dobijenim vrednostima za R_{as} vidi se da je pri brušenju Č.9780 najmanja hrapavost ostvarena točilom 2B54K6V a pri brušenju Č.4750 točilom 5A54K6V, pa su ona od posmatranih i najpovoljnija za brušenje ispitivanih materijala, što je i ranije zaključeno prema parametru $\Delta F_n/F_n$. Vrednosti srednje aritmetičke hrapavosti R_{as} (sl.3) potvrđuju povoljnost točila, prema parametru $\Delta F_n/F_n$, kojim je definisana (određjena) postojanost točila. Tocilo koje ima najveću postojanost ostvaruje i najbolji kvalitet brušene površine. Hrapavost R_{as} (sl.3) za Č.4750 je veća od hrapavosti za Č.9780 usled različitih karakteristika materijala.



Sl.3. Veličine srednje aritmetičke hrapavosti R_{as} pri brušenju Č.4750 i Č.9780 točilima različite brusne sirovine

4. Zaključci

Vrsta brusne sirovine ima bitan uticaj na postojanost točila. Prema posmatranom kriterijumu za definisanje postojanosti točila $\Delta F_n/F_n$ i veličini hrapavosti R_{as} veću postojanost, od druga dva točila, za Č.4750 ima točilo 5A54K6V a za Č.9780 točilo 2B54K6V.

Literatura

- /1/ Kršljak B. Uticaj režima brušenja na postojanost i reznu sposobnost točila. XIX Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Kragujevac, septembar 1985.
- /2/ Kršljak B. Optimizacija procesa ravnog brušenja alatnih čelika sa stanovišta uticaja karakteristika točila i uslova obrade. Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd, 1981.

21. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

FUNKCIJA POSTOJANOSTI ALATA U ZAVISNOSTI OD
ELEMENTA REŽIMA REZANJA PRI ČEONOM GLODANJU

TOOL LIFE AS A FUNCTION OF CUTTING
CONDITIONS DURING FACE MILLING

P. Kovač Fakultet tehničkih nauka, NO Institut za proizvodno
mašinstvo, 21000 Novi Sad, Jugoslavija

Ključne reči: SAZETAK: U radu su prikazana izvršena eksperimentalna
Postojanost istraživanja postojanosti alata u funkciji elemenata
Režimi rezanja režima rezanja. Istraživanja postojanosti alata su iz-
Glodanje vršena pomoću statističkih metoda višefaktornog plana
eksperimenta umesto konvencionalne jednofaktorne meto-
de.

Key words ABSTRACT: This paper present the experimental results
Tool life of tool life of single tool face milling cutter as fun-
Cutting conditi- ctional relationship of cutting conditions. Tool life
ons testing by statistical approach, referred to as respo-
Milling nse surface methodology, instead of the conventional one
-variable-at-a time method.

1. Uvod

Habanje alata i postojanost je još od Taylor-a predmet stalnih istraživanja. Na osnovu kompleksnih fizičkih i hemijskih zakonitosti nije moguće odrediti sve veličine koje utiču na proces habanja a samim tim i na odgovarajuću zakonitost promene. Dosadašnje postavke modela parametara procesa su empirijski dobijene funkcije sa ograničenim područjem primene. Veliki broj modela je razvijen za proces struganja. Pri tome se važnost pridaje postojanosti u funkciji brzine rezanja. Neki modeli su prošireni za pomak i dubinu rezanja, delimično je to uzeto u obzir i pri glodanju [1,3].

Istraživanja postojanosti alata zahtevaju veliki utrošak vremena i materijala. Zbog toga se javljaju pokušaji za skraćenim metodama istraživanja. Ove metode koje su se javile u poslednje vreme baziraju na korišćenju metodologije višefaktornog plana eksperimenta [5].

Proces čeonog glodanja je vrlo produktivna metoda jer se obrada vrši višesečnim alatom pa je utrošak materijala još veći. Iz razloga ekonomičnosti, istraživanja postojanosti se vrše jednozubim alatom. Izvršena istraživanja [2,4] pokazuju da je moguće rezultate istraživanja sa jednozubim alatima koristiti i za višezube alate, koji imaju malo radijalno bacanje

$\leq \pm 10 \mu\text{m}$.

2. Matematički model postojanosti alata

Da bi se našla funkcionalna zavisnost postojanosti alata najpre je praćena promena parametara habanja na grudnoj i ledjnoj površini u vremenu rezanja za izabrane elemente režima rezanja prema planu eksperimenta. Skup svih eksperimenata daje podatke za trofaktorni plan eksperimenta, kojim se određuje funkcija postojanosti od elemenata režima: brzine v , pomaka po zubu s_z i dubine rezanja δ u sledećem obliku:

$$T = C_v \cdot s_z^{p_1} \cdot \delta^{p_2} \cdot v^{p_3} \quad (1)$$

Izabrani faktori eksperimenta su se varirali u pet nivoa vrednosti. Na taj način površina odziva u ispitivanom intervalu u svakoj ravni određena je sa po pet eksperimentalnih taćaka [5].

Ovaj naćin planiranja eksperimenata omogućuje da se ispita širi interval promenljivih, matematićki model je pouzdaniji a neznatno se produćava izvodjenje i troškovi eksperimenta.

Metodologija obrade podataka trofaktornog plana eksperimenta, koja je dopunjena i proširena [3] omogućuje izbor jednostavnijeg modela prvog reda ili sloćenijeg modela drugog reda, koji daje bolje slaganje raćunskih i merenih vrednosti. Izvršeno je dekodiranje ovih modela i ocena signifikantnosti svakog parametra posebno. Do sada ocenjivana je cela grupa parametara [5] (napr. parametri drugog reda) i onda su svi eliminisani ili zadržavani u modelu bez obzira što su samo neki nesignifikantni.

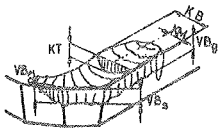
3. Eksperimentalna ispitivanja

Ispitivan je ćelik za poboljšanje ć.1730, u obliku paralelopipeda 100x100x600 mm. zatezne ćvrstoće $90 \cdot 10^7$ Pa.

Obrada je vršena na vertikalnoj glodalici "PRVOMAJSKA" FS-GVK-3, snage pogonskog elektromotora 14,5 kW. Pri izvodjenju eksperimenta korišćena je glava za glodanje proizvodnje "JUGOALAT" JAL G-750 $\varnothing 125$ mm sa umetnutim ploćicama od tvrdog metala kvaliteta P25 (SPAN 12 03 ER proizvodnje "Prvi Partizan"). U glavi je bila postavljena samo jedna ploćica pa je obrada izvodjena jednozubim alatom.

U cilju utvrdjivanja karaktera kao i velićine parametara habanja alata u funkciji vremena rezanja, vršeno je praćenje habanja po grudnoj i ledjnoj površini sl.1.

Na ledjnoj površini alata praćena je srednja vrednost širine pojasa habanja na fazetama VB_g i VB_s . Da bi fazete stalno pri merenju bile u horizontalnom poloćaju, napravljen je poseban pribor sa žljebovima.



Sl.1 Parametri habanja alata

Na grudnoj površini merena je širina kratera KB i odstoćanje sredine kratera od sećiva KM,

alatnog mikroskopa "Zeiss".

Direktno merenje dubine kratera KT vršeno je na šmalc-ovom mikroskopu za merenje hrapavosti, pri odgovarajućem uvećanju. Pločica je postavljena u poseban pribor, koji je obezbedjivao uvek isti položaj.

4. Rezultati merenja i njihova obrada

Prema postupku opisanom u prethodnoj tački izvršeno je merenje habanja. Redni broj režima rezanja odgovara vrednostima u tabeli 1.

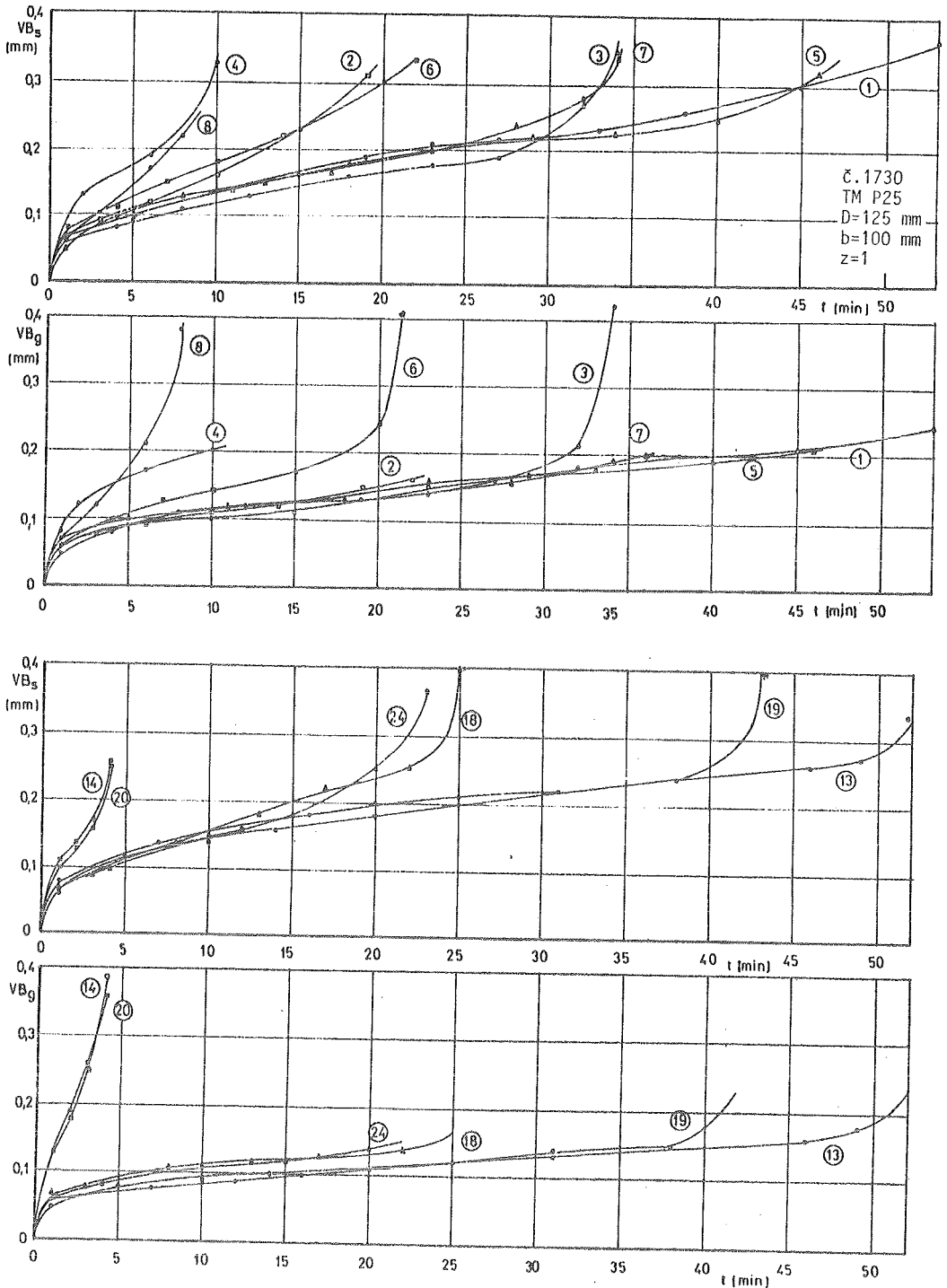
Na slici 2, 3 i 6 prikazana je srednja vrednost širine pojasa habanja na glavnoj ledjnoj površini VB_g i srednja vrednost širine pojasa habanja na fazeti pod uglom 45° VB_s , u funkciji vremena rezanja. Na sl.4,5 i 7 su prikazane zavisnosti parametara habanja na grudnoj površini, dubina kratera KT i širina kratera KB, u funkciji vremena rezanja.

Tabela 1.

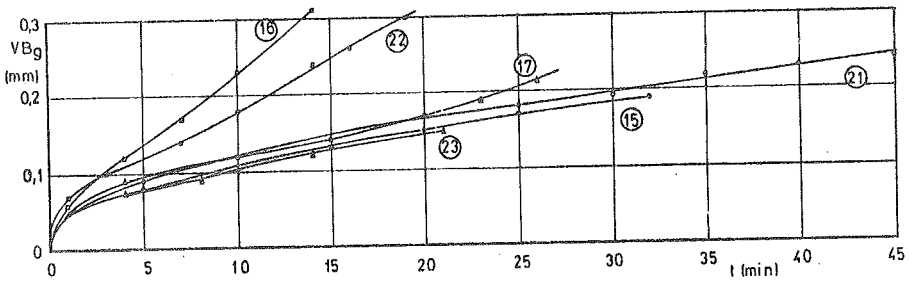
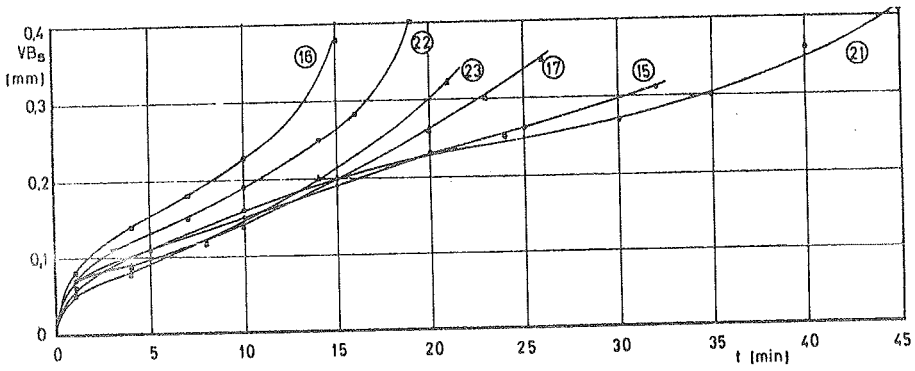
Br. eksp.	Kod faktora				Faktor			Vrednosti postojanosti		
	x_0	x_1	x_2	x_3	V m/s	S_z mm/z	δ mm	Merena T mm	računska T (1)	T (2)
1	1	-1	-1	-1	2,32	0,178	1,00	45,0	47,1	38,9
2	1	1	-1	-1	3,67	0,178	1,00	18,5	13,8	15,5
3	1	-1	1	-1	2,32	0,280	1,00	33,0	30,0	34,6
4	1	1	1	-1	3,67	0,280	1,00	9,5	8,8	8,2
5	1	-1	-1	1	2,32	0,178	2,25	45,0	47,8	44,4
6	1	1	-1	1	3,67	0,178	2,25	20,0	14,0	16,2
7	1	-1	1	1	2,32	0,280	2,25	34,0	30,5	34,4
8	1	1	1	1	3,67	0,280	2,25	7,5	8,9	7,4
9	1	0	0	0	2,95	0,223	1,50	25,0	20,0	24,0
10	1	0	0	0	2,95	0,223	1,50	23,0	20,0	24,0
11	1	0	0	0	2,95	0,223	1,50	26,0	20,0	24,0
12	1	0	0	0	2,95	0,223	1,50	21,0	20,0	24,0
13	1	-2	0	0	1,83	0,223	1,50	51,0	71,5	45,5
14	1	2	0	0	4,65	0,223	1,50	3,6	5,9	3,8
15	1	0	-2	0	2,95	0,142	1,50	31,0	31,2	35,6
16	1	0	2	0	2,95	0,351	1,50	13,5	12,7	14,1
17	1	0	0	-2	2,95	0,223	0,67	23,0	19,6	22,3
18	1	0	0	2	2,95	0,223	3,37	24,5	20,2	22,9
19	1	-2	0	0	1,83	0,223	1,50	42,0	71,5	45,5
20	1	2	0	0	4,65	0,223	1,50	3,5	6,0	3,7
21	1	0	-2	0	2,95	0,142	1,50	35,0	31,2	35,6
22	1	0	2	0	2,95	0,351	1,50	16,5	12,7	14,1
23	1	0	0	-2	2,95	0,223	0,67	20,0	19,6	22,3
24	1	0	0	2	2,95	0,223	3,37	22,0	20,2	22,9

Usvojen je kriterijum postojanosti širina pojasa habanja na srednjoj fazeti $VB_s=0,3$ mm, pošto se alat najpre ovde pohaba. Za vrednost kriterijuma postojanosti iz dijagrama promene parametra VB_s u vremenu rezanja, očitane su vrednosti postojanosti, koje su zatim upisane u plan matricu eksperimenta tabela 1.

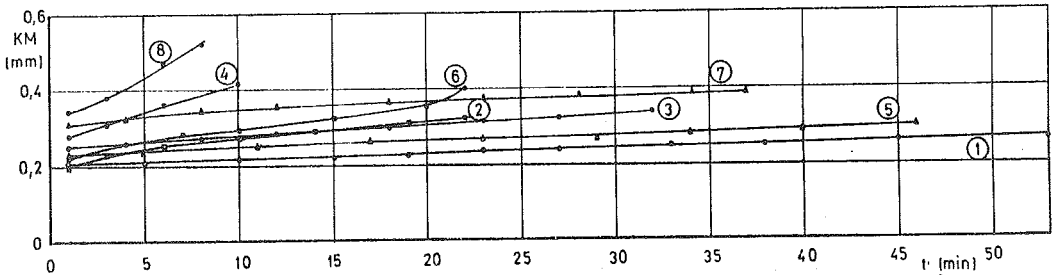
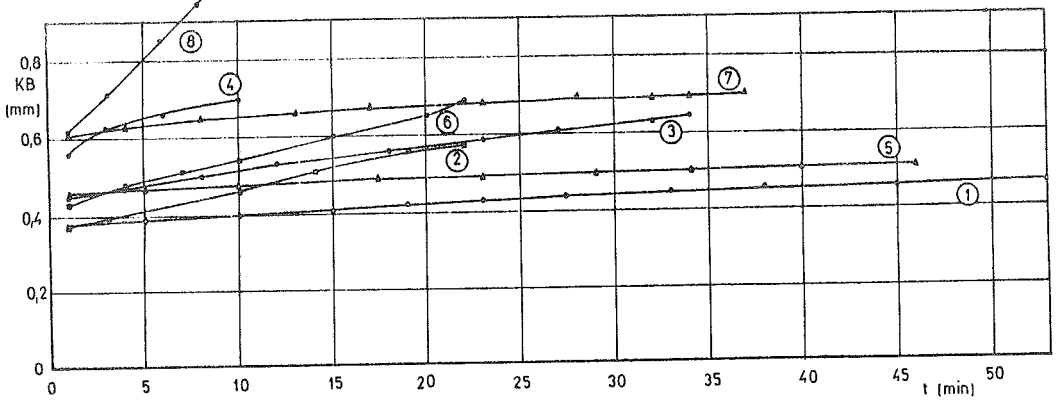
Obrada podataka prikazanih u tabeli 1 je izvršena pomoću elektronskog



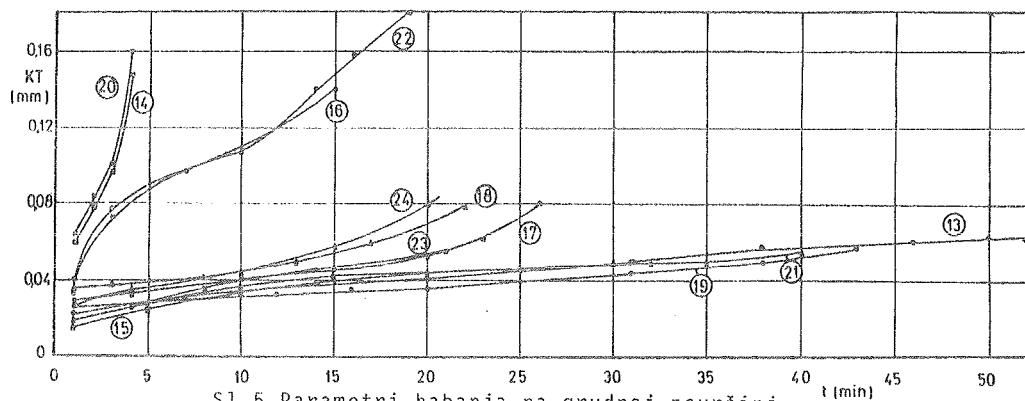
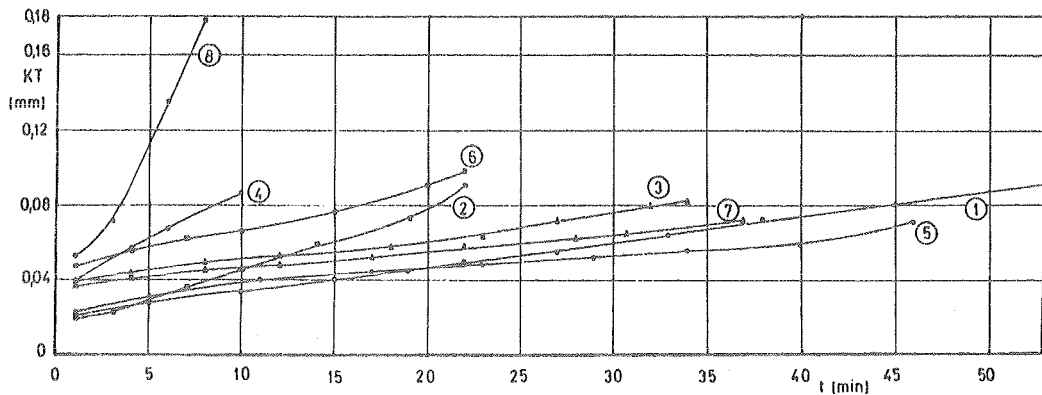
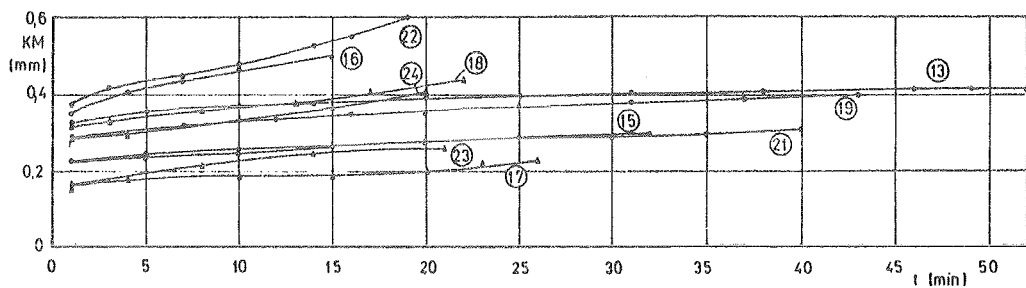
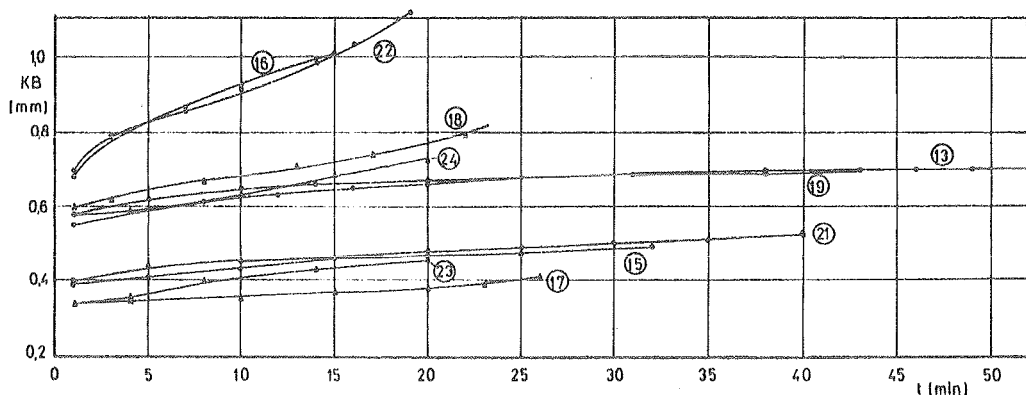
Sl.2 Parametri habanja na ledjnoj površini



S1.3 Parametri habanja na lednoj površini



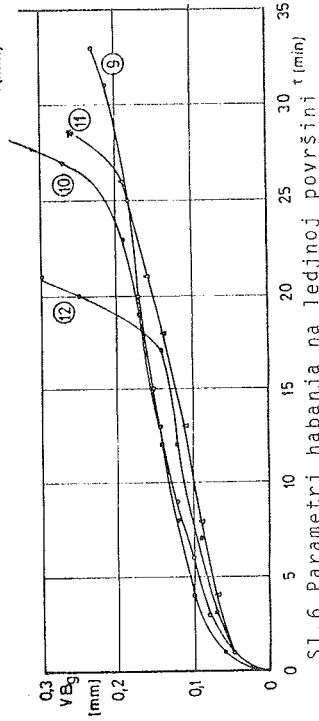
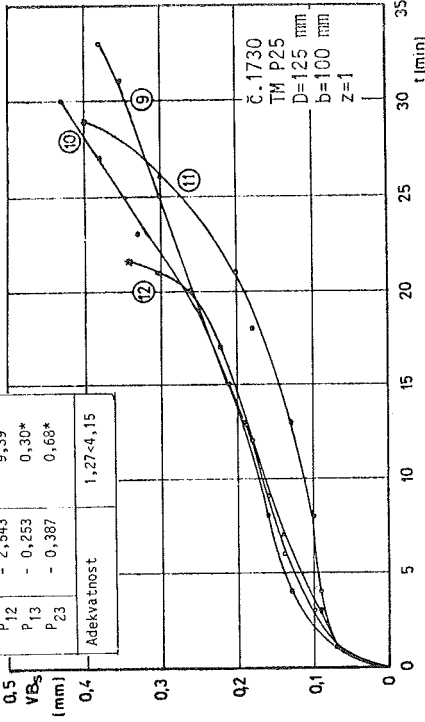
S1.4. Parametri habanja na grudnoj površini



Sl.5 Parametri habanja na grudnoj površini

Tabela 2

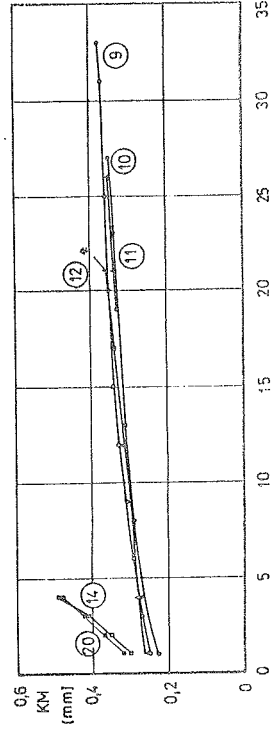
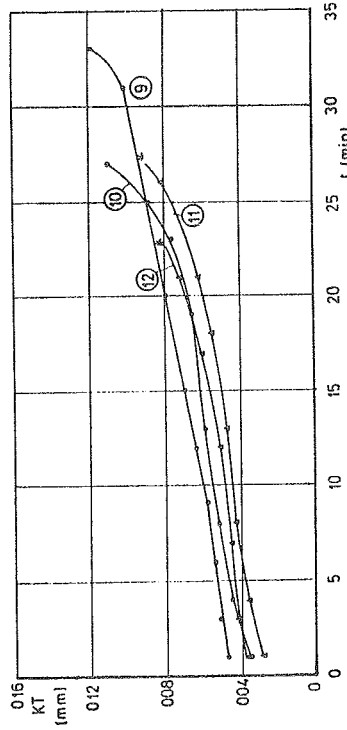
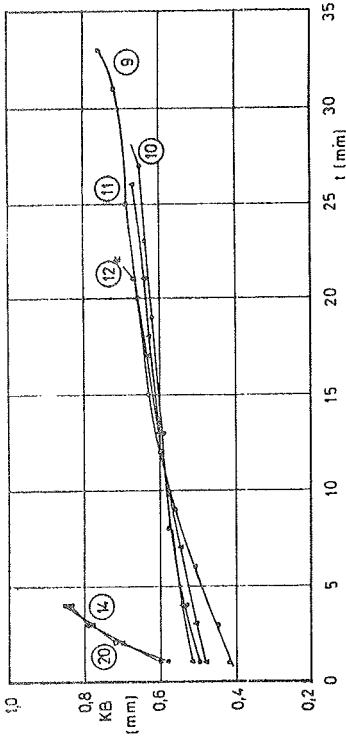
Model prvog reda (1)	
Oznaka	koeficijent / Regresije vrednost
C	80,461
P ₁	- 2,676
P ₂	- 0,994
P ₃	0,019
Adekvatnost	4,13-4,15



Sl. 6 Parametri habanja na ledjnoj površini

Tabela 3

Model drugog reda (2)	
Oznaka	koeficijent / Regresije vrednost
C	3013,12
P ₁	- 0,141
P ₂	0,931
P ₃	- 0,217
P ₁₁	- 2,917
P ₁₂	- 0,319
P ₁₃	- 0,090
P ₂₃	- 0,253
Adekvatnost	1,27-4,15



Sl. 7 Parametri habanja na grudnoj površini

računara na interaktivnom principu 3 i obuhvata regresionu i disperzionu analizu kao i ocenu tačnosti matematičkog modela. Najpre je izvršena obrada podataka kada je matematički model bio prvog reda (1) a zatim kada je model bio drugog reda (2):

$$T = C \cdot v^{P_1} s_z^{P_2} \delta^{P_3} \exp [P_{11}(\ln v)^2 + P_{22}(\ln s_z)^2 + P_{33}(\ln \delta)^2 + P_{12} \ln v \ln s_z + P_{13} \ln v \ln \delta + P_{23} \ln s_z \cdot \ln \delta] \quad (2)$$

Računske vrednosti prema jednačinama (1) i (2) takodje su prikazane u tabeli 1. U tabeli 2 su prikazani koeficijenti za model prvog reda (1) a u tabeli 3 za model drugog reda (2), nesignifikantni su obeleženi (*).

5. ZAKLJUČCI

- U ispitivanom intervalu režima rezanja brzina i pomak najviše utiču na habanje alata. Sa povećanjem brzine rezanja izrazito se povećava habanje na grudnoj i ledjnoj površini, pri brzini 1,83 m/s (krive 13 i 9) 2,95 m/s (krive 9,10,11,12) i 4,65 (krive 14 i 20).
- Pomak nešto manje utiče na vremenski tok habanja vrednosti: 0,42 mm/z (krive 15 i 21), 0,223 (krive 9,10,11,12) i 0,351 (krive 16 i 22).
- Dubina rezanja najmanje utiče na vremenski tok habanja za vrednost 0,63 mm (krive 17 i 23), 1,5 mm (krive 9,10,11,12) i 3,36 mm (krive 18,24). Dubina najviše utiče na širinu kratera KB.
- Matematički model postojanosti prvog i drugog reda zadovoljavaju u pogledu adekvatnosti. Matematički model drugog reda daje bolje slaganje izmerenih i računskih vrednosti ali je zbog složenosti teži za upotrebu.
- Analiza signifikantnosti pokazuje da dubina rezanja nije uticajna (za verovatnoću 0,95), a u modelu drugog reda nisu uticajni parametri drugog reda pomak po zubu i dubina rezanja i medjusobni uticaji brzine i dubine i pomaka i dubine.

6. LITERATURA

1. Dammer, L., Ein Beitrag zur. Prozessanalyse und Schanittwertvorgabe beim Messerkopstirnfräsen. Dissertation, TH Aahenm 1982
2. Kamm, H., Beitrag Zur Optimierung des Messerkopfräsens, Dissertation, Universität Karlsruhe, 1977.
3. Kovač, P., Istraživanje podloga za upravljanje procesom čeonog glodanja, Doktorska disertacija, FTN, Novi Sad, 1987.
4. Kovač, P., Milikić, D., Postojanost pri čeonom glodanju sa jednim i više zuba u zavisnosti od elemenata režima rezanja, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad, 1983, br.14.
5. Wu, S.M., Toollife Testing by Response surface Methology, Parts I and II, Trans. ASME (1964), B,86 PP 105-116.

