

tribologija u industriji

tribology in industry – трибология в промышленности

sadržaj



contents



содержание

UVODNIK
INTRODUCTION
ПЕРЕДОВИЦА

ISTRAŽIVANJA
RESEARCH
ИССЛЕДОВАНИЯ

ZA NEPOSREDNU PRAKSU
FOR DIRECT PRACTICE
ДЛЯ НЕПОСРЕДСТВЕННОЮ
ПРАКТИКУ

TRIBOLOŠKI REČNIK
GLOSSARY OF TRIBOLOGY TERMS
СЛОВАРЬ ПО ТРИБОЛОГИИ

KNJIGE I ČASOPISI
BOOKS AND JOURNALS
КНИГИ И ЖУРНАЛЫ

NAUČNI SKUPOVI
SCIENTIFIC MEETINGS
НАУЧНЫЕ СОБРАНИЯ

Inženjersko Tribološko Društvo I T D ◊ Engineering Tibological Society E T S ◊ Инженерное Трибологическое Общество И Т О	35
M. KUZINOVSKI, H. ŽEBROVSKI, P. CICHOSZ: Istraživanje visinskih parametara profila hraptavosti obradene površine pri stru- ganju sa keramičkim reznim pločicama ◊ Research of The Roughness Profile Height Parameters of The Surface Machined by Turning with Ceramic Inserts ◊ Исследование параметров высоты профилей шероховатости обработанной поверхности при точении с керамическим режущим инструментом	37
R. MITROVIĆ, M. ERIĆ, M. ĆETKOVIĆ: Tribološki aspekti automatizacije obradnih sistema ◊ Tribological Aspects of Machining Systems Automation ◊ Трибологические аспекты автоматизации обрабатывающих систем	46
D. JEŠIĆ: Izbor povoljnijeg momenta trenja kod pritezanja vijaka ◊ The Choice of The Favorable Friction Moment of Screw Tightening ◊ Выбор подходящего момента трения при затяжке болтов	52
B. IVKOVIĆ, B. TADIĆ: TIS - Informacije: Uticaj geometrije strugarskih alata na njihovu postojanost	59
In Memoriam: Prof. dr Ranko Zgaga	62
.	64
.	65
.	66

Inženjersko Tribološko Društvo - ITD

Tokom zadnje dekade u našoj sredini se mnogo govori i piše o tribologiji. To je i razumljivo, jer je svakoj ljudskoj delatnosti i struci imanentno druženje ljudi koji imaju zajednička intresovanja i probleme.

Verovatno zbog svoje multidisciplinarnе prirode, u prošlosti je koncept - tribologija kao naučna i stručna disciplina - bio previdan i zanemarivan. Kao rezultat takvog prilaza, kako navodi P. Jost osnivač moderne tribologije, razvoj mehaničkih sistema je bio u zastaju i velike sume novca su izgubljene zbog nepotrebnog trenja i habanja materijala.

Međutim, razvoj ove discipline u zadnjih četvrt veka i praktični doprinos tribologije rešavanju mnogih tehničkih problema, danas se meri izuzetno velikim materijalnim uštedama. To znači da je tribologija subjekt tehnološke strategije. I zaista, danas je univerzalno poznato i priznato ne samo od strane inženjera konstruktora, već i drugih struka, da su mnoge inovacije i tehnička poboljšanja uslovljena tribološkim istraživanjima. Kao posledica takvih shvatanja i prilaza, u svetu su osnovani mnogi Centri i Društva za tribologiju na nacionalnim i internacionalnim nivoima. Pomenimo samo neka: Društvo tribologa i inženjera za podmazivanje (STLE) USA, sa svoja dva časopisa i velikim brojem članova i izvan USA, zatim Društvo tribologa

Velike Britanije koje dodeljuje internacionalnu godišnju nagradu stručnjacima za dostignuća u tribologiji, Društvo tribologa i inženjera za podmazivanje Nemačke, koje ima veoma zapaženu aktivnost u oblasti standarda iz tribologije, bilo u sopstvenom izdanju ili u okviru DIN-a, Japansko tribološko društvo i društva tribologa Saveza Sovjetskih država, Češkoslovačke, Poljske, Norveške, Finske i mnogih drugih zemalja.

Imajući u vidu rečeno i aktuelno stanje kod nas kako u pogledu transfera znanja iz tribologije i njen razvoj na ovim prostorima, tako i potrebu za uključivanjem u međunarodne tokove, Tribološki komitet i Redakcija časopisa "Tribologija u industriji" pokreću kampanju za osnivanje tribološkog Društva u koje bi se uključili svi zainteresovani za ovu disciplinu, kako pojedinci, tako i radne organizacije.

Aktivnosti koje su do sada realizovane kroz različite Seminare iz tribologije, dva uspešna Naučno-stručna skupa (YUTRIB'89 i YUTRIB'91 u Kragujevcu), četrnaest godina izlaženja časopisa "Tribologija u industriji" daju nam za pravo i postavljaju kao imperativ formiranja Inženjerskog Tribološkog Društva (ITD). Takva organizacija treba da omogući i obezbedi okupljanje svih stručnjaka čija je delatnost vezana za tribologiju. Kao što predpostavljate, Društvo bi

bilo interdisciplinarno i sastojalo bi se od inženjera mašinstva, elektrotehnike, hemije, tehnologije, fizičara, metalurga, matematičara i drugih eksperata. Očigledno je da treba da se formira strukovna organizacija.

Predlažemo da nam se javite kao budući članovi i date svoje sugestije, mišljenja i predloge o ciljevima, članstvu i aktivnostima Društva. Ne zaboravite da samo zajednički rad i dobro organizovano Društvo mogu da ispunе očekivanja svojih članova.

Naš okvirni predlog aktivnosti Društva obuhvata:

- okupljanje stručnjaka radi uvećanja njihovog stručnog znanja i obezbeđenja odgovarajućeg statusa u društvu
- formiranje ekspertnih grupa za rešavanje opšte, globalne strategije vezane za tribologiju i njen mesto u privredi
- direktno rešavanje aktuelnih problema opšteg značaja
- izdavanje časopisa i stručnih publikacija
- popularizacija struke
- međunarodna saradnja sa istim ili sličnim Društvima.

Članovi Društva mogu biti pojedinci (redovni, pridruženi ili dopisni) i kolektivni (radne organizacije, Instituti itd.).

Redakcija Časopisa

Engineering Tribological Society ETS

Forming of new states on the Yugoslav territory requires forming of new expert organizations and associations in all the areas of work, and thus in the area of tribology, too. Yugoslav society for fuel and lubricants, which was a founder and a member of International Committee for Tribology, as an association of over 20 universities and scientific and research institutions, practically does not exist any more.

We propose an initiation of procedure for forming

ENGINEERING TRIBOLOGICAL SOCIETY (ETS)

which would gather, on these territories, all experts from industry, universities, and scientific institution, who in their work cope with tribological problems, with possibility of including the foreign members. We estimate that members of ETS can be persons (both as regular or associate members), and institutions (companies, faculties and institutes, etc.).

Editorial board

Инженерное трибологическое общество ИТД

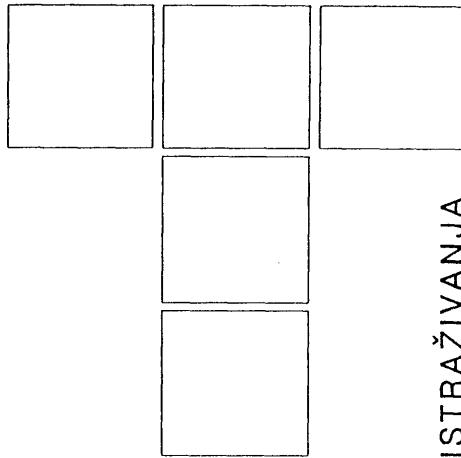
Создание новых государств на прежнем югославском пространстве требует и формирования новых объединений и организаций специалистов во всех областях труда, а ведь и в области Трибологии. Югославское общество по топливам и смазкам, являющееся основоположником и членом Международного комитета по трибологии, Югославский комитет по трибологии и более двадцати университетов и исследовательских учреждений, практически больше не существуют. По этому предлагаем формирование

ИНЖЕНЕРНОГО ТРИБОЛОГИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА (ИТД),

которое, в этом пространстве будет объединять специалистов, работающих в промышленности, в университетах и исследовательских институтах у встречающихся с проблемами трибологии. Предусматривается возможность присоединения и заграничных членов. Согласно предложению членами ИТД могут быть одиночки (постоянные и корреспонденты) и учреждения (предприятия, факультеты, исследовательские институты и прочие).

Редакционная коллегия

M. KUZINOVSKI, H. ŽEBROVSKI, P. CICHOSZ



ISTRAŽIVANJA

Istraživanje visinskih parametara profila hrapavosti obrađene površine pri struganju sa keramičkim reznim pločicama

1. UVOD

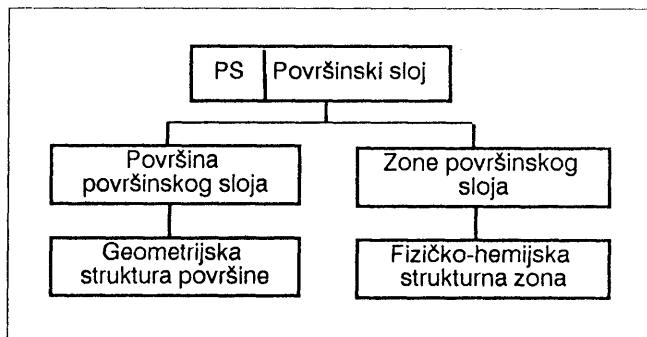
Za savremenu metalopreredivačku industriju poseban značaj imaju osobine površinskog sloja (PS) obrađene površine (OP), koja nastaje u procesima obrade rezanjem kao rezultat kinematsko-geometrijskog preslikavanja reznog alata, a u zavisnosti je i od deformacije, trenja, habanja, topotnih i dinamičkih pojava u sistemu mašina-pribor-obradivani predmet i rezni alat (M-P-O-A).

Stanje PS određuje, pre svega eksploatacijske karakteristike OP. Proučavanje PS je u neposrednoj korelaciji sa tehnologijom izrade, kao i sa primenjenim metrološkim mernim tehnikama. To traži prethodno pojašnjenje određenih pojmova, defakto definisanje "površinskog sloja". Polazeći od definicije PS [1], može se konstatovati da se PS može razmatrati preko osnovnih elemenata njegove grade (sl. 1), odnosno preko geometrijske strukture površine i fizičko-hemijske strukturne zone.

Rezultantnu geometrijsku strukturu površine PS sačinjavaju, struktura stvorena dejstvom faktora slučajnog karaktera i struktura determinisana uslovima obrade. Iz ovoga proizilazi da geometrijsku strukturu površine PS treba razmatrati na nekoliko nivoa [1, 2] (sl. 2).

Naime, površina predmeta definisana je na makro planu tolerancijama dimenzija, oblika i položaja. Na mezo planu se uočava skup periodično ponavljajućih neravnina, koje se karakterišu time da odnos razmaka između vrhova neravnina i njihovih visina je jednak najmanje 40, što defakto predstavlja valovitost površine [3]. Hrapavost

površine se razmatra na mikro planu, koja se predstavlja kao skup vrlo malih neravnina realne površine, dogovorno definisanih kao odstupanje profila te površine od usvojene linije u granicama elementarne dužine, na kojoj se ne razmatra odstupanje oblika i valovitost [4]. Njeno opisivanje se izvodi preko parametara profila hrapavosti površine (sl. 3), gde se vidi da su isti grupisani u tri osnovne grupe.



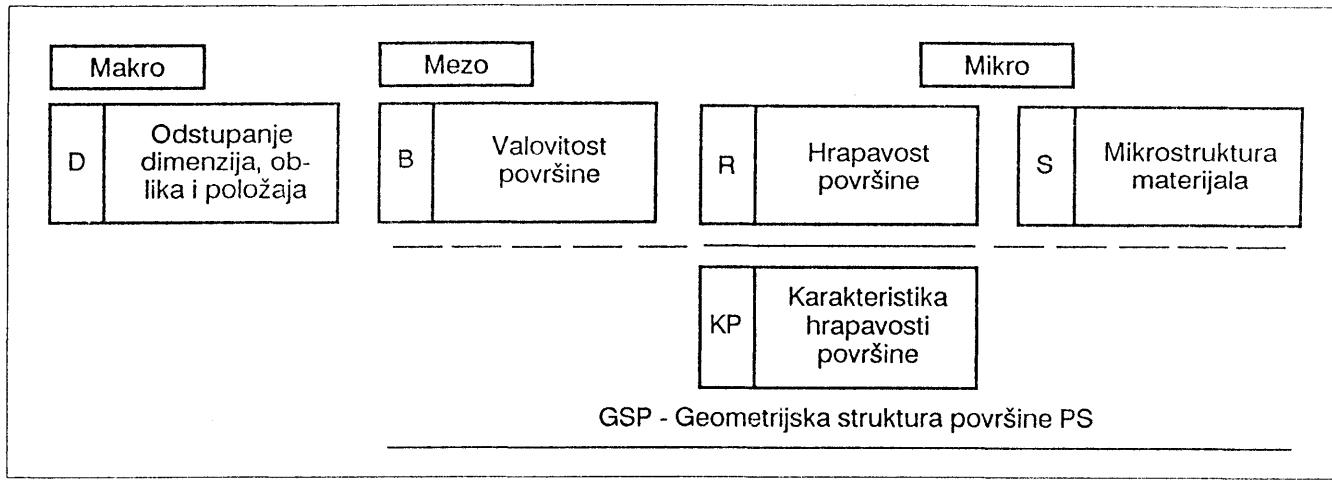
Sl. 1. Osnovni elementi grade površinskog sloja [1, 2]

Basic elements of the surface layer structure

Основные элементы структуры поверхности слоя

Prva grupa "stalni parametri profila hrapavosti" uključuje u sebe visinske, horizontalne, planimetrijske i tačkaste parametre profila hrapavosti. Druga grupa uzima u obzir funkcione parametre profila hrapavosti, dok treća grupa obuhvata funkcije profila hrapavosti. Takav pristup u razmatranju geometrijske strukture površine PS je u korelaciji sa težnjom da se postigne jednoznačnost definisanja profila hrapavosti, a to omogućava konstituiranje OP sa unapred poznatim karakteristikama, što je zahtev savremenih proizvodnih tehnologija. Defakto se nameće potreba da se dobiju odgovarajući matematički modeli, što bi omogućilo prognoziranje karakteristika geometrijske strukture površine. U tom smislu u nastavku ovoga rada prikazani su upravo dobiveni matematički modeli, koji se odnose na prognozu visinskih parametara profila hrapavosti u funkciji parametara obrade struganjem.

Dr Kuzinovski Mihail, dipl. inž.,
Mašinski fakultet, Skopje
Prof. dr Žebrowski Henryk, dipl. inž.,
Wrocławsko Politehnicka, Poljska
Dr Cichosz Piotr, dipl. inž.,
Wrocławsko Politehnicka, Poljska



Sl. 2. Konvencionalno objašnjenje geometrijske strukture površine površinskog sloja [2]
Conventional explanation of the geometrical structure of the surface
Конвенциональное объяснение геометрической структуры поверхности

2. EKSPERIMENTALNI USLOVI ISTRAŽIVANJA

Rezni alat: Istraživanja su izvedena reznim pločicama SNGN 120712-120716-120720 od mešane keramike MC 2 ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$) firme HERTEL. One su postavljene u rezni držač CSRNR 25x25 M12H3 iste firme, koji daje reznoj ivici sledeću stereometriju: $\kappa=75^\circ$, $\kappa_l=15^\circ$, $\gamma=-6^\circ$, $\alpha=6^\circ$, $\lambda=-6^\circ$, $\varepsilon_r=90^\circ$, $r_e=1.2-1.6-2.0 \text{ mm}$, $\gamma_f=20^\circ$ i $b_f=0.2 \text{ mm}$.

Obradivani materijal: Eksperimenti su izvedeni na prstenu specijalno izrađenim za tu svrhu iz ugljeničnog čelika Č.1630 (DIN C55) sa povećanom čvrstoćom, čiji je hemijski sastav prikazan tabelom 1. Materijal je bio kovan i termički obrađen, normalizovan (840°C , 2 č.v.).

Tabela 1.

Hemijski sastav [%]									
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	
0.55	0.69	0.19	0.035	0.025	0.11	0.07	0.02	0.06	

Mikrostruktura Č.1630, po dekapiranju sa 3%-tним alkoholnim rastvorom azotne kiseline predstavljena je na slici 4., gde se uočava sitnozrnasta perlito-seritna struktura, sa neznatnom neravnomernošću zrna. Tvrdoća je određena brinelovom metodom i kreće se u granicama od 200 do 217 HB. U nedekapiranom stanju uočeni su mnogobrojni nemetalni uključci u obliku sitnih izduženih sulfida i silikata. Većina tih nemetalnih uključaka razmeštena je dosta ravnomerno po preseku.

Mašina alatka: Obrada struganjem je izvedena na numerički upravljanim strugom TUR 50 SN-DG sa snagom od 18.5 kW i područjem kontinualne promene brojeva obrata $n=50-2250 \text{ o/min}$.

Merna oprema: Merenje parametara hrapavosti je izvedeno koristeći kompjuterizovanu mernu opremu (sl. 5), prema preporukama [2, 4, 5, 6].

Parametri obrade: Struganje je izvedeno bez korišćenja rashladnog sredstva, variranjem v , s , a i r_e (tabela 2.),

primenjujući 4-ro faktorni potpuni plan eksperimenata prvog reda (2^4+4).

Tabela 2.

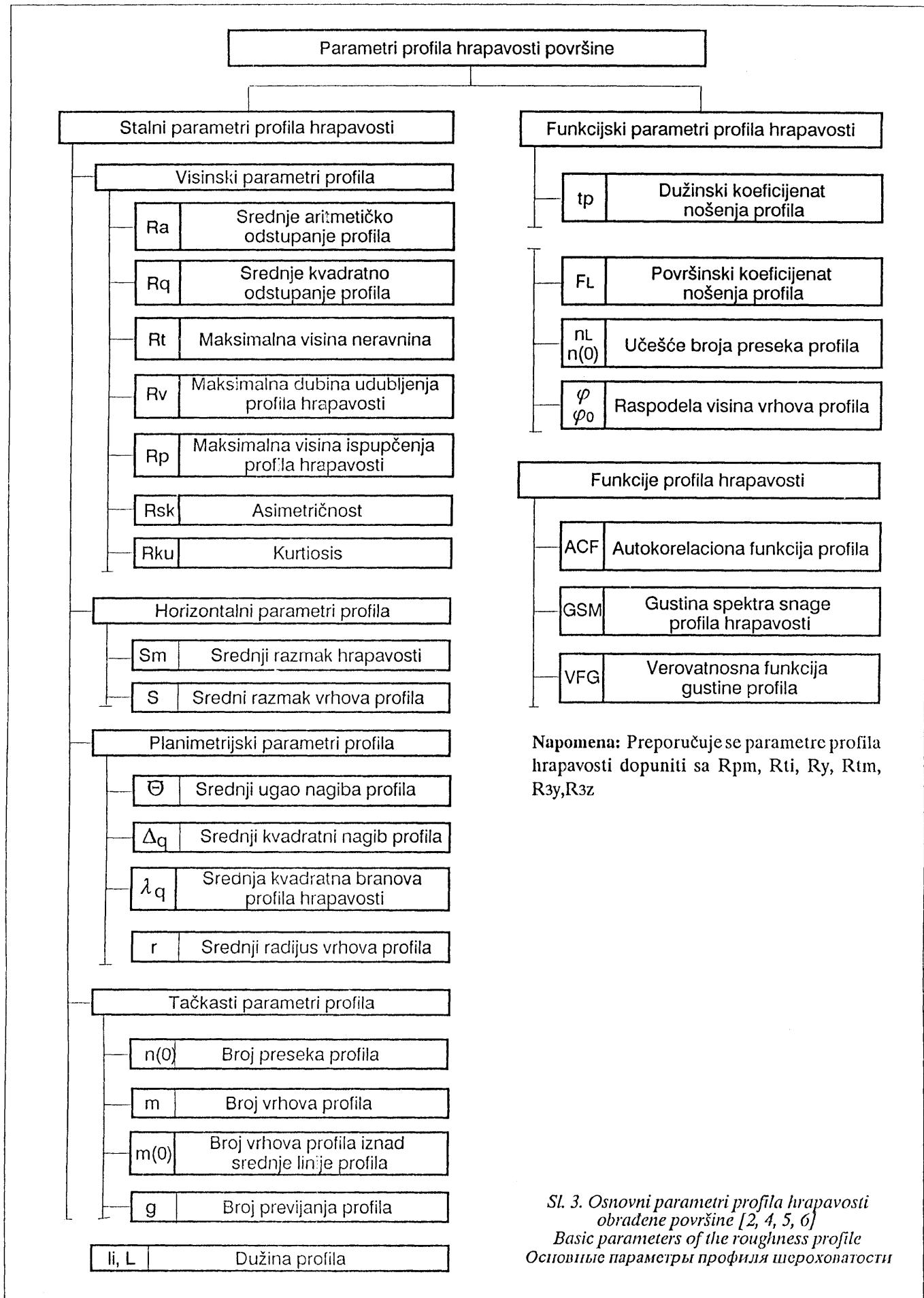
Karakteristike nezavisno promenljivih veličina						
Br.	Označavanje	Nivo kod	Maksim.	Srednje	Minim.	
1	v [m/min]	X1	500.0	387.3	300.0	
2	s [mm/obr]	X2	0.320	0.226	0.160	
3	a [mm]	X3	1.600	0.894	0.500	
4	r_e [mm]	X4	2.000	1.600	1.200	

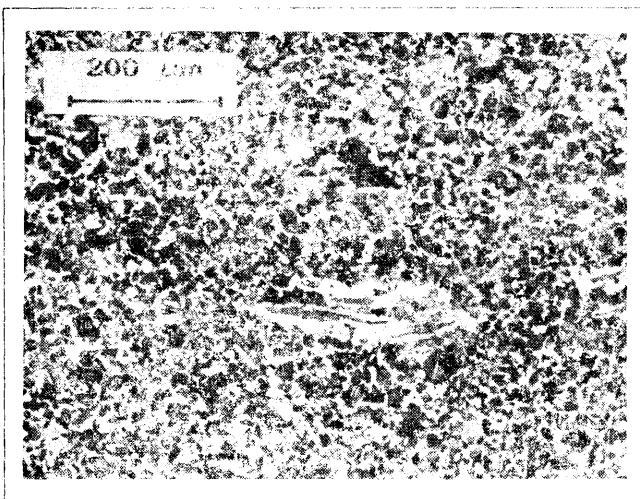
3. MATEMATIČKO MODELIRANJE ISTRAŽIVAČKIH POJAVA

Opisivanje ulazno-izlaznih veličina, izborom adekvatnih metoda i mernih technika, definisanjem ulaznih i izborom izlaznih veličina, analizom izabranih ulaznih nezavisno promenljivih veličina (dimenzionom analizom), izborom oblike funkcije za opisivanje istraživačkog hiperprostora, definisanjem eksperimentalnog hiperprostora, planiranjem eksperimenata, projektiranjem mernih sistema i njihovim instaliranjem, izvođenjem eksperimenata, realizacijom algoritma identifikacije (statistička obrada rezultata istraživanja [8]) i verifikacijom dobivenih matematičkih modela, omogućeno je odrediti na koji način utiču usvojene nezavisno promenljive veličine v , s , a i r_e na promenu izlaznih zavisno promenljivih veličina t.e. na visinske parametre profila hrapavosti OP.

Izabrani plan i rezultati eksperimentalnih istraživanja predstavljeni su tabelom 3. Dobiveni matematički modeli (tabela 4.), pokazuju da povećanjem brzine rezanja smanjuju se parametri R_a , R_q , R_t , R_p , R_z i R_{sk} , a dolazi do porasta veličina R_v i R_{ku} .

Tendenciju smanjenja neravnina, kao rezultat povećanja brzine rezanja ne treba tražiti u kinematsko-geometrijskom preslikavanju glavne i pomoćne rezne ivice na OP, već u fizici procesa rezanja, gde dolazi do smanjenja





Sl. 4 Metulografska struktura C-1639
Micrographic structure of steel C-1639
Металографична структура стаља C-1639

ukupne povećane deformacije [7, 11, 12]. Naime, sa jedne strane, učešće su u bendacija stvaranja kontinuirale strukturalne i mehaničke strukturne deformacije u odvojenim sejama, ali i strukturalne kao i pojavi inenzivnih deformacija, a na drugoj, gorenjima, što sачиња u toku izloženja povećanju [7]. Sa druge strane, smatra se da

Tabela 4

Red br.	Srednje planometrična						Rku
	\bar{a}	\bar{a}	\bar{d}	\bar{d}_1	\bar{d}_2	\bar{d}_3	
1	300	0.16		0.832	1.123	1.023	2.280
2	300		0.8	0.730	0.917	0.810	2.930
3	300		1	0.695	0.816	0.723	2.366
4	300		1.2	0.590	0.716	0.611	2.300
5	300		1.4	0.570	0.677	0.571	2.566
6	300		1.6	0.713	0.907	0.771	2.664
7	300		0.12	0.232	0.382	0.281	2.400
8	300			0.940	3.526	0.711	2.500
9	300	0.16		0.836	1.026	0.936	2.633
10	300		0.5	0.685	0.823	0.680	2.420
11	300	0.32		1.033	2.163	0.930	2.200
12	300		2.0	1.710	2.023	0.946	2.166
13	300	0.16		0.710	0.873	0.633	2.533
14	300		0.6	0.607	0.863	0.456	2.723
15	300	0.32		1.902	2.271	0.920	2.346
16	300			2.058	2.426	1.060	2.183
17				1.143	1.386	0.920	2.300
18	387.3	0.236	0.894	1.435	1.690	0.900	2.100
19				1.284	1.625	0.825	2.350
20				1.557	1.546	0.740	2.320

Tabela 4.

imantnog značaja za prirast neravnina. Veće plastično kretanje povećava maksimalnu visinu neravnina [13, 14].

Gore pomenute promene u procesu rezanja, kao rezultat povećanja rezne brzine v , stvaraju takve uslove pri kojima se formira kontinualna strugotina, što je defakto vizuelni pokazatelj postizanja manjih neravnina OP.

Povećanjem brzine rezanja v dolazi do porasta veličina dubina udubljenja Rv ispod srednje linije, pre svega, kao rezultat pojave većih vibracija. Prisustvo većih vibracija prouzrokuje neravnomernost koraka s , odnosno povećanje srednjeg razmaka hrapavosti Sm i smanjenje srednjeg razmaka vrhova profila S [7, 9]. U pogledu oštrine krive raspodele amplituda profila Rku , uočava se takođe, neznatan porast ovog parametra, što uzrokuje smanjenje oštrine krive, odnosno veće rasturanje raspodele amplituda profila. To je u neposrednoj vezi sa promenom vrednosti parametra Rv . Porast koraka s , povećava vrednost parametara Ra , Rq , Rt , Rv , Rp , Rz i Rsk , a smanjuje vrednost parametra Rku . Pre svega ovo je rezultat kinematsko-geometrijskog preslikavanja glavne i pomoćne rezne ivice na OP. Međutim, porast visinskih parametara profila hrapavosti sa povećanjem koraka rezanja s je rezultat i uslova pod kojim se izvodi proces transformacije skidanog sloja materijala u strugotinu. Defakto, porastom koraka s dolazi do povećanja: debljine skidanog sloja, kontaktne površine i rada trenja između strugotine i grudne površine reznog alata, otpora rezanja, srednje temperature, do poboljšanja uslova odvođenja stvorene topote i dr., a sve to značajno utiče na tehničke efekte OP [7].

Povećanje radijusa vrha rezne pločice r_ϵ značajno smanjuje visinu neravnina OP. Njegov uticaj je u kombinaciji sa reznim korakom s i pre svega je rezultat kinematsko-geometrijskog preslikavanja vrha rezne pločice na OP, što je defaktu prvi deo značajno većeg uticaja veličine r_ϵ . Međutim, sa porastom r_ϵ dolazi takođe do promene uslova pod kojim se izvodi struganje. Povećava se aktivna dužina glavne rezne ivice, dolazi do većeg izražaja uticaj promenljivog grudnog reznog ugla γ , ugla nagiba rezne ivice λ i glavnog napadnog ugla κ krivolinojskog dela glavne rezne ivice, menja se poprečni presek strugotine, povećava se kontakt vrha reznog alata sa OP, i stvara se

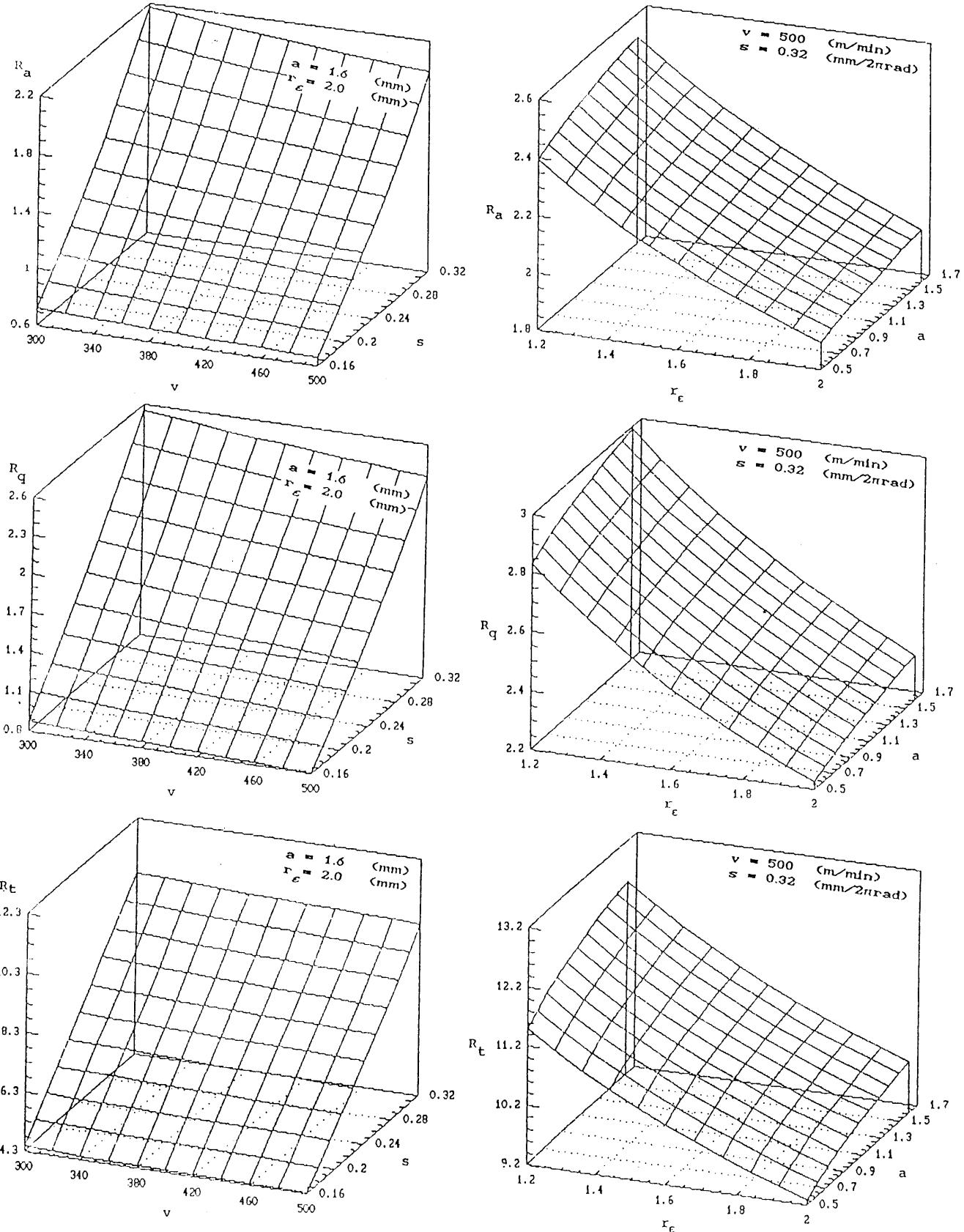
mogućnost pojave većih vibracija u procesu rezanja. To je upravo drugi deo značajno manjeg uticaja veličine r_e na konstituiranje geometrijske strukture površine PS, koji se može smanjiti porastom pravolinijskog dela aktivne glavne rezne ivice putem izbora manjeg glavnog napadnog ugla κ i povećanjem dubine rezanja a .

Porast dubine rezanja a prouzrokuje neznatno povećanje vrednosti visinskih parametara profila hraptavosti zbog promene uslova pod kojim se izvodi proces plastične deformacije u zoni formiranja strugotine i u zoni stvaranja PS, kao i zbog pojave većih elastičnih deformacija sistema M-P-O-A, što je rezultat većih otpora rezanja.

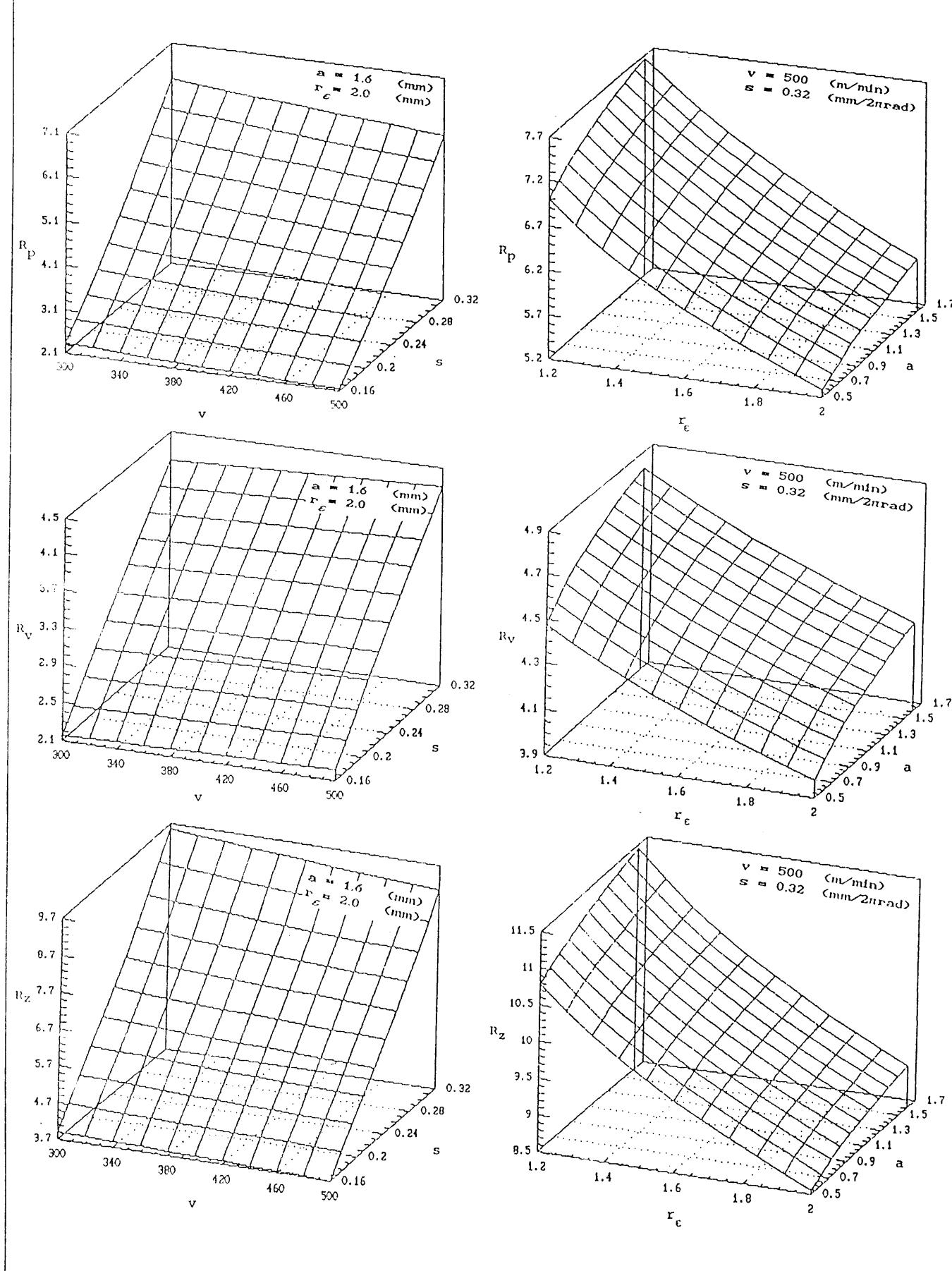
4. ZAKLJUČAK

Analiza dobivenih matematičkih modela kao rezultat eksperimentalnih istraživanja, omogućila je da se postave sledeća zapažanja i zaključci:

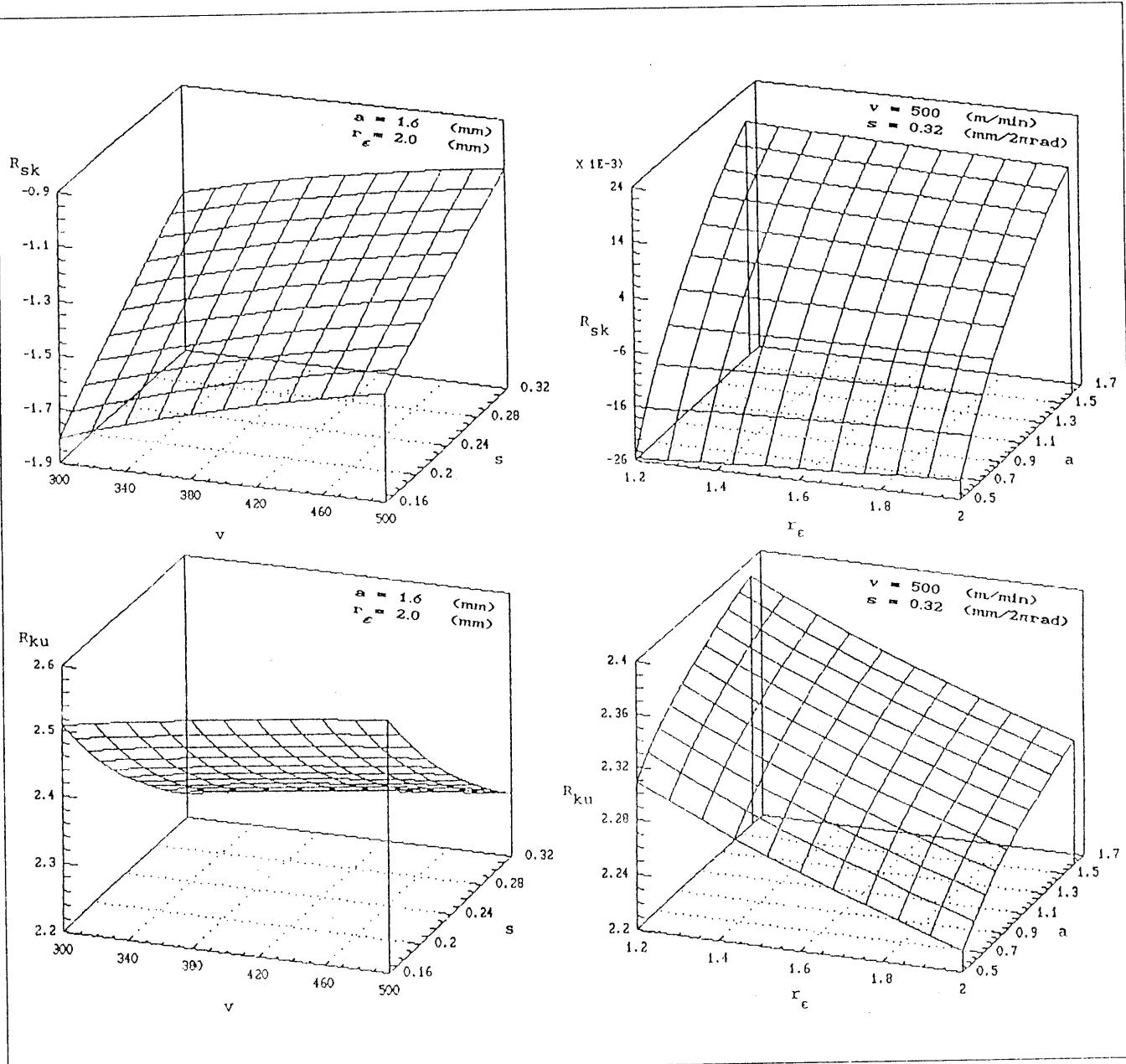
- ▶ Funkcije stepenastog oblika za opisivanje promene visinskih parametara profila hrapavosti OP pokazale su zadovoljavajuću tačnost.
 - ▶ Dobiveni matematički modeli putem eksperimentalnih istraživanja, uzimaju u obzir kinematsko-geometrijski uticaj ulaznih parametara na promenu istraživačkih izlaznih parametara profila hrapavosti, a pri tome su obuhvaćeni i uslovi transformacije skidanog sloja u strugotinu i stvaranja PS.
 - ▶ Uticaj izabranih ulaznih parametara v , s , a i r_E u matematičkim modelima (tabela 2), je sledeći:
 - povećanjem brzine rezanja menjaju se uslovi u zoni rezanja gde dolazi do stvaranja strugotine. Naime, smanjuje se plastična deformacija u zoni formiranja strugotine i u zoni stvaranja PS, što utiče na smanjenje neravnina OP.
 - uticaj koraka rezanja s na promenu visinskih parametara profila hrapavosti je dvojak. Povećanje veličine s prouzrokuje značajan porast neravnina OP, najpre zbog kinematsko-geometrijskog preslikavanja vrha reznog alata na OP, i kao rezultat izmenjenih uslova rezanja.



Sl. 6. Grafička interpretacija matematičkih modela 3.1-3.3 (tabela 3.)
 Graphic interpretation of mathematical models 3.1 - 3.3
 Графическое изображение математических моделей 3.1- 3.3



Sl. 7. Grafička interpretacija matematičkih modela 3.4-3.6 (tabela 3.)
 Graphic interpretation of mathematical models 3.4 - 3.6
 Графическая интерпретация математических моделей 3.4- 3.6



Sl. 8. Grafička interpretacija matematičkih modela 3.7 i 3.8 (tabela 3.)
 Graphic interpretation of mathematical models 3.7 - 3.9
 Графическое изображение математических моделей 3.7- 3.8

- dubina rezanja a svoj uticaj na stvaranje geometrijske strukture površine PS pokazuje isključivo preko promena uslova izvođenja procesa rezanja. Porastom rezne dubine a povećavaju se neravnine OP, gde je njen uticaj u istraživanom hiperprostoru neznatan
- porastom radijusa vrha r_e značajno se smanjuje visina neravnina OP. Njegov uticaj je u kombinaciji sa reznim korakom s i pre svega je rezultat kinematsko-geometrijskog preslikavanja vrha reznog alata na OP. Međutim, porast vrednosti r_e prouzrokuje promenu stereometrije aktivne rezne ivice, što defaktovo presudno utiče na tok izvođenja procesa struganjem.

LITERATURA

- [1] PN-87/M-04250, Surface layer Terminology
- [2] GORECKA R., POLANSKI Z.: Metrologia warstwy wierzchniej, WNT-Warszawa, 1983
- [3] PN-74/M-04255. Geometrical structure of surface. Surface waviness. Basic definitions and parameters
- [4] PN-87/M-04256. Geometrical surface structure. Surface roughness. General terminology
- [5] PN-87/M-04251. Geometrical surface structure. Surface roughness. Numerical values of parameters
- [6] Tasysurf 6 - quality and productivity trogh surface measurement
- [7] KUZINOVSKI M.: Istraživanje na fizičkite pojavi i tehnološkite efekti pri struženje so zgolemeni brzini

- na reženje. Doktorska disertacija. Mašinski fakultet Skopje, 1991
- [8] KUZINOVSKI M.: Identifikacija na istraživačkite procesi so primena na metodite na planiranje na eksperimentite. Zbornik na trudovi br. 9, Mašinski fakultet Skopje 1990
- [9] KUZINOVSKI M., ŽEBROWSKI H.: Analiza na horizontalnите parametri na profilot na rapavosta na obrabotena površina pri struženju so keramički rezni pločki MC 2 na firmata HERTEL, 36. godišnji skup JUREMA, Zagreb - Tuheljske toplice, 1991
- [10] KUZINOVSKI M., ŽEBROWSKI H., CICHOSZ P.: Istraživanje procenata nošenja profila obradene površine u funkciji režima obrade pri struganju, Druga Jugoslovenska konferencija o Tribologiji sa međunarodnim učešćem YUTRIB'91, Kragujevac, 1991
- [11] АРИШИНОВ В. А., АЛЕКСЕЕВ Г. А.: Резание металлов и режущий инструмент. Издательство "Машиностроение", Москва, 1964
- [12] БОБРОВ В. Ф.: Основы теории резания металлов, "Машиностроение", Москва, 1975
- [13] Коллектив авторов. Развитие науки о резании металлов, "Машиностроение", Москва, 1967

Research of The Roughness Profile Height Parameters of The Surface Machined By Turning With Ceramic Inserts

Characteristics of the surface layers of objects that are machined by some cutting procedure are closely related to the machining conditions (cutting speed, cutting step, depth, tool tip radius, etc.).

Research program realized on the numerically controlled lathe TUR 50 SN-DC in the area of machining by turning with application of the ceramic tools enabled, by application of adequate mathematical models, forming of numerous functions by which a relationship was established between machined surfaces roughness and machining conditions. Surface roughness was determined by numerous height parameters of the surface profile. Through this research program we followed the influence of the cutting speed, step, cutting depth, and tool tip geometry, on height parameters of the surface profile Ra, Rq, Rt, Rv, Rp, Rz, Rsk and Rku.

Results of investigations allowed the following conclusions to be drawn:

- *With increase of the cutting speed all the height parameters of the surface profile are decreased, except Rv and Rku which are slightly increased with the increase of the cutting speed. Roughness, measured by the usual standard parameters of the surface profile is decreased with the increase in the cutting speed.*

- *With the increase of the step all these parameters of the surface profile are increased (roughness is increased), except the parameter Rku which is significantly decreased.*

- *The influence of the cutting depth and tool tip radius are unique for all the parameters of the surface profile. With the increase of the cutting depth all the parameters of the surface profile are increased, while during machining with the larger tool tip radius all these parameters of the surface profile are decreased.*

In the conclusion is stated that exponential functions very closely describe changes in the machined surface roughness, and that they can be used for control of the cutting processes from the aspect of the machining quality.

Исследование параметров высоты профилей шероховатости обработанной поверхности при точении с керамическим режущим инструментом

Характеристики поверхностных слоев изделий, обрабатываемых некоторым из способов резания, непосредственно обусловлены условиями обработки (скоростью резания, шагом, глубиной резания, радиусом вершины инструмента и др.). Исследования, проведенные на токарном станке TUR 50 SN-DC, с числовым управлением, при использовании керамического инструмента и соответствующих математических моделей, создали условия для формирования числовых функций, которыми установлена взаимозависимость шероховатости обработанной поверхности у условий обработки. Шероховатость поверхности определяют многочисленные параметры высоты профиля поверхности. При исследовании изучали воздействие скорости, шага и глубины резания, и геометрии вершины инструмента на параметры высоты профиля поверхности Ra, Rq, Rt, Rv, Rp, Rz, Rsk и Rku. На основании полученных результатов сделаны следующие выводы:

- *С повышением скорости резания понижаются все высотные параметры профиля поверхности за исключением Rv и Rku, которые с повышением скорости резания тоже, в незначительной мере, повышаются*

- *Шероховатость, измеряемая стандартными параметрами профиля поверхности, с повышением скорости резания понижается.*

- *С повышением шага повышаются все параметры профиля поверхности (повышается шероховатость), кроме параметра Rku, который значительно убывает.*

- *Воздействия глубины резания и радиуса вершины инструмента являются однозначными для всех параметров профиля поверхности. С повышением глубины резания все параметры профиля поверхности растут, тогда как при обработке с большими радиусами вершины инструмента значения всех параметров профиля снижаются.*

В заключении отмечается, что экспоненциальные функции совсем подробно описывают изменения шероховатости обработанной поверхности и что, их можно использовать в управлении процессами резания с аспектом качества обработки.

R. MITROVIĆ, M. ERIĆ, M. ĆETKOVIĆ

Tribološki aspekti automatizacije obradnih sistema

1. UVOD

Svaki proizvodni proces u industriji prerade metala se odvija na brojnim tribološki ugroženim obradnim sistemima koji se najčešće nalaze na različitim tehnološkim nivoima sa gledišta automatizacije. Poznato je da se svi obradni sistemi, kod obavljanja svojih funkcija, u toku vremena troše, pri čemu je osnovni uzrok tog trošenja postojanje i razvoj triboloških procesa na kontaktnim površinama sastavnih elemenata tog obradnog sistema. Da bi se ušlo u problematiku analize triboloških pojava pojedinačnih grupa srodnih triboloških parova, najpre je bilo potrebno razviti pogodnu metodu za identifikaciju tehnoloških nivoa obradnih sistema sa gledišta automatizacije, što je i cilj ovog rada.

2. RAZVOJ METODE ZA DEFINISANJE TEHNOLOŠKIH NIVOA SA GLEDIŠTA AUTOMATIZACIJE PROIZVODNIH PROCESA

Na osnovu detaljnih analiza do danas razmotrene opšte problematike automatizacije, uočava se da se veliki broj autora bavio problematikom definisanja perioda, etapa, faza, stupnjeva ili tehnoloških nivoa sa gledišta mehanizacije i automatizacije primereno svojim ciljevima i okruženjima.

Kroz rad na naučno - istraživačkom projektu "Revitalizacija postojećih tehnologija u industriji prerade metala", kojim nije bilo moguće zaobići ni tribološke aspekte na obradnim sistemima, ukazala se potreba za preciznijim modelom identifikovanja tehnoloških nivoa sa gledišta automatizacije proizvodnih procesa, kojim bi se moglo,

*Prof. dr Ratko Mitrović, dipl. ing.,
Mašinski fakultet, Kragujevac
Milan Erić, dipl. ing., Mašinski fakultet, Kragujevac
Milan Ćetković, dipl. ing., Zastava-Iveko, Kragujevac*

poštujуći iste kriterijume, relativno jednostavno, brzo i tačno vršiti testiranje zastupljenosti tehnoloških nivoa različitih proizvodnih procesa, kao što su procesi mehaničke obrade, preseraja, termičke obrade, zavarivačnica i drugih.

Pokušaji da se primeni bilo koji od postojećih modela za identifikovanje tehnoloških nivoa sa gledišta automatizacije proizvodnih procesa, pokazali su da je isti nepraktičan jer ne raspolaže pogodnim parametrima i kriterijumima za kvantifikaciju.

Kako jedan proizvodni proces predstavlja skup odgovarajućih aktivnosti kojima se vrši pretvaranje ulaznih u izlazne veličine u okviru posmatranog proizvodnog sistema, neosporno je da se ovo pretvaranje ulaznih u izlazne veličine vrši posredstvom većeg broja tehnoloških sistema koji mogu biti obradni, transportni, merni i drugi. Da bi se izvršila identifikacija tehnoloških nivoa sa gledišta automatizacije posmatranog proizvodnog procesa, neophodno je najpre utvrditi tehnološke nivoe automatizacije pojedinačnih tehnoloških sistema koji su uključeni na realizaciji aktivnosti zastupljenih u tom proizvodnom procesu.

Sagledavanje tehnološkog nivoa tehnološkog procesa sa aspekta automatizacije, u ovom radu, vršiće se na osnovu aritmetičke sredine vrednosti tehnoloških nivoa sa gledišta automatizacije svih obradnih sistema uključenih u posmatrani tehnološki proces, na osnovu čega sledi i izraz:

$$TN(p) = \frac{\sum_{i=1}^n TN_i}{n}$$

gde su: $TN(p)$ - tehnološki nivo automatizacije obradnog procesa,
 TN_i - tehnološki nivo automatizacije i-tog tehnološkog sistema,
 n - ukupan broj tehnoloških sistema koji uslovjavaju izvršenje proizvodnog procesa.

Kako je svaki proizvodni sistem sastavljen iz skupa različitih tehnoloških sistema (obradnih, transportnih, mernih i dr.), koji raspolažu sa velikim brojem različitih tehnoloških karakteristika, neophodno je najpre izvršiti grupisanje srodnih karakteristika, svih tehnoloških sistema, bitnih za utvrđivanje tehnoloških nivoa sa gledišta automatizacije. Glavne karakteristike tehnoloških sistema, presudne za uticaj na tehnološki nivo sa gledišta automatizacije, su u prvom redu one koje utiču na smanjenje učešća živoga rada koji se troši tokom eksploatacije tehnološkog sistema. Analizom je utvrđeno da svi obradni sistemi, koji se koriste u industrijskim sistemima za proizvodnju privrednih vozila, gradevinskih mašina i alata za mehaničku obradu raspolažu sa šest karakterističnih kriterijumima, koji se mogu koristiti u identifikaciji tehnoloških nivoa. Za dalju analizu usvojene su sledeće oznake i nazivi ovih kriterijuma:

1. K_1 - vrsta pogona obradnog sistema,
2. K_2 - način vođenja ciklusa obrade,
3. K_3 - način sticanja predmeta obrade,
4. K_4 - način opsluživanja obradnog sistema,
5. K_5 - način kontrole predmeta obrade i
6. K_6 - način podešavanja i korekcije položaja alata u odnosu na predmet obrade.

Svi obradni sistemi u okviru navedenih šest kriterijuma mogu da raspolažu sa jednim ili više parametara koji mogu da se nadu u odgovarajućem kriterijumu. Usvojeni parametri navedenih kriterijuma označavaće se sa slovnim indeksiranim oznakama koje imaju sledeća značenja

1. K_1 - Vrsta pogona obradnog sistema sadrži parametre P_R i P_M sa značenjima:

P_R - Pogon ručni, koji je zastupljen kod svih ručnih radova pri montaži, pakovanju, ručnim obradama koje se izvode upotrebom ručnog alata na manuelni pogon i sl.

P_M - Pogon mehanizovani, koji je zastupljen kod svih priručnih alata koji rade na bilo koji motorni pogon. Sve vrste mašina i obradnih jedinica, linija, sistema na sopstveni pogon i sl.

2. K_2 - Način vođenja ciklusa obrade sadrži parametre $C_R, C_K, C_F, C_N, C_A, C_{AS}, C_{IM}$ sa značenjima:

C_R - Ciklus obrade se vodi ručno, zastupljenost je kod svih ručnih radova sa ručnim i mehanizovanim alatom

C_K - Ciklus obrade se vodi ručno - mehanizovanim putem što je zastupljeno na svim univerzalnim mašinama.

C_F - Ciklus obrade se vodi fiksno i automatizovano unutar mašine, sve mašine čiji se ciklus izvodi posredstvom fiksnih bregova, vodica, mehanizama i sl.

C_N - Ciklus obrade se vodi numeričkim upravljanjem, svi tipovi numerički upravljenih mašina kao što su NC, CNC, DNC, i sl.

C_A - Ciklus obrade se vodi adaptivnim upravljanjem, sve adaptivno upravljane mašine, kompjuterom

upravljanje mašine sa mogućnošću promene parametara obrade uz održavanje zadatih vrednosti.

C_{AS} - Ciklus obrade se vodi adaptivnim upravljanjem kod mašinskih sistema i transfer linija, svi adaptivno upravljani fleksibilni obradni sistemi i fleksibilne transfer linije kompjuterom upravljane sa mogućnošću promene parametara obrade uz održavanje zadatih parametara.

C_{IM} - Ciklusi vođeni kompjuterom integrisanih mašinskih sistema, kompjuterski integrisani proizvodni i tehnološki sistemi (CIM), sa automatskim projektovanjem proizvoda tehnologije i planiranja.

3. K_3 - Način sticanja predmeta obrade sadrži parametre S_R, S_{RM}, S_K, S_{BR} sa značenjima:

S_R - Stezanje ručno, sva ručna sticanja pri ručnim radovima montaže, pakovanja, ručne obrade i sl.

S_{RM} - Stezanje ručno - mehanizovano, sva sticanja koja se izvode delovanjem preko nekog mehanizovanog pribora na principu ekscentra, bregova, poluga, klinova i sl.

S_K - Stezanje automatizovano, automatizovano putem delovanja komande na hidraulik, pneumatik i sl.

S_{BR} - Stezanje bez učešća radnika, sva sticanja koja se izvode u sklopu ciklusa bez učešća radnika.

4. K_4 - Način opsluživanja obradnog sistema sadrži parametre O_R, O_{RM}, O_P, O_{BR} sa značenjem :

O_R - Opslugivanje ručno, na svim radnim mestima gde se opslugivanje izvodi ručno.

O_{RM} - Opslugivanje ručno - mehanizovano, slučaj opslugivanja motorizovanim alatom.

O_P - Opslugivanje raznim punjačima, razne vrste mamacina za punjenje i dodavanje mehaničkim rukama.

O_{BR} - Opslugivanje automatizovano, sa raznim tipovima mašina i robota bez učešća radnika.

5. K_5 - Način kontrole predmeta obrade sadrži parametre $K_{RC}, K_{VC}, K_{MC}, K_{AK}$ sa značenjem:

K_{RC} - Kontrola ručna, izvodi se u toku ciklusa izrade.

K_{VC} - Kontrola vanciklusna, izvodi se kod svih radova bez i sa mehanizovanim alatom van maštine.

K_{MC} - Kontrola u ciklusu, mehanizovana, na mašini po završetku obrade.

K_{AK} - Kontrola automatizovana, aktivna, vrši se za vreme obrade.

6. K_6 - Način podešavanja i korekcije položaja alata u odnosu na predmet obrade sadrži parametre PK_R, PK_{AU}, PK_A sa značenjem:

PK_R - Podešavanje i korekcija alata se izvodi isključivo ručno.

PK_{AU} - Podešavanje položaja alata na svim mašinama na kojima je to moguće pomoći nekog šablonu ili uređaja za podešavanje.

PK_A - Automatsko podešavanje i korekcija položaja alata.

Po utvrđivanju 6 kriterijuma i 24 parametra sa ciljem definisanja tehnoloških nivoa pojedinačnih obradnih sistema sa gledišta automatizacije, bilo je potrebno utvrditi

određeni broj tehnoloških nivoa koji se rangiraju po složenosti, počev od čisto ručnih aktivnosti pa do potpuno automatizovanih obradnih sistema.

U daljem radu usvojena je oznaka *(i)-tog* Tehnološkog Nivoa sa gledišta automatizacije obradnog sistema kao:

$$TN_{(i)}$$

gde je: $i=1, 2, 3, \dots, 10$, pri čemu $i=1$ odgovara najnižem a $i=10$ najvišem tehnološkom nivou sa gledišta automatizacije posmatranog obradnog sistema.

Prema tome opšti izraz za određivanje *i-tog* tehnološkog nivoa sa gledišta automatizacije nekog obradnog sistema, funkcija je svih šest usvojenih kriterijuma K_1 do K_6 i svih parametara sadržanih u pojedinim kriterijumima, odnosno

$$TN_{(i)} = F(K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6)$$

pri čemu dalje važe opšte relacije

$$K_1 = K_1(P_R, P_M)$$

$$K_2 = K_2(C_R, C_K, C_F, C_N, C_A, C_{AS}, C_{IM})$$

$$K_3 = K_3(S_R, S_{RM}, S_K, S_{BR})$$

$$K_4 = K_4(O_R, O_{RM}, O_P, O_{BR})$$

$$K_5 = K_5(K_{RC}, K_{VC}, K_{MC}, K_{AK})$$

$$K_6 = K_6(PK_R, PK_{AU}, PK_A)$$

Pošto se u ovom radu tehnološki nivoi sa gledišta automatizacije određuju samo sa gledišta odnosa ljudskog i mašinskog rada, uzorkovanjem u proizvodnim procesima za proizvodnju privrednih vozila, građevinskih mašina i alata za mehaničku obradu, utvrđeno je da se u najvećem broju slučajeva rangiranje kriterijuma za identifikaciju tehnoloških nivoa automatizacije može izvršiti po utvrđenom redosledu:

$$K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6$$

Najveća težina odnosa učesća ljudskog i mašinskog rada dodeljena je kriterijumu K_1 , jer je kod svih vrsta mašina pogon mehanizovan tokom celog trajanja procesa rada obradnog sistema, dok kod ručne obrade pogon se ostvaruje isključivo ljudskom snagom.

Kada se radi o načinu vođenja ciklusa obrade (K_2), načinu sticanja predmeta obrade (K_3), načinu opsluživanja (K_4), načinu kontrole predmeta obrade (K_5) i načinu podešavanja i korekcije alata u odnosu na predmet obrade (K_6), odnos udela ljudskog i mašinskog rada kod najvećeg broja obradnih sistema, svih kategorija automatizacije, mogu se rangirati baš navedenim redosledom.

Po sličnom principu izvršeno je i rangiranje svih parametara u okviru pripadajućeg kriterijuma tako da za ručne rade, gde je zastupljenost mašinskog rada minimalna ili čak ne postoji, parametri imaju najmanju težinu, dok za rade sa maksimalnom zastupljenosti automatisacija imaju maksimalnu težinu.

Prema tome, posmatranjem napisanih funkcionalnih zavisnosti kriterijuma K_1 do K_6 , u funkciji pripadajućih parametara, parametri su poređani tako da oni koji se nalaze do leve otvorene zgrade imaju minimalnu težinu, a oni do desne zatvorene zgrade imaju maksimalnu težinu automatizacije. Stoga su sa minimalnim težinama automatizacije parametri

$$P_R, C_R, S_R, O_R, K_{RC}, PK_R,$$

a sa maksimalnom zastupljenosti automatizacije su

$$P_M, C_{IM}, S_{BR}, O_{BR}, K_{AK}, PK_A.$$

Između ovih parametara smešteni su svi ostali rangirani po važnosti automatizacije.

Uvažavajući postavku o egzistenciji 10 rangiranih tehnoloških nivoa automatizacije obradnih sistema označenih sa

$$TN_1, TN_2, TN_3, TN_4, TN_5, TN_6, TN_7, TN_8, TN_9, TN_{10}$$

kao i postavljene kriterijume

$$K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6$$

i sve njihove pripadajuće parametre

$$P_R, P_M$$

$$C_R, C_K, C_F, C_N, C_A, C_{AS}, C_{IM}$$

$$S_R, S_{RM}, S_K, S_{BR}$$

$$O_R, O_{RM}, O_P, O_{BR}$$

$$K_{RC}, K_{VC}, K_{MC}, K_{AK}$$

$$PK_R, PK_{AU}, PK_A$$

sačinjena je matrica logično mogućih kombinacija parametara tehnoloških nivoa sa gledišta automatizacije obradnih sistema, tabela 1.

Parametri koji kvalitativno prebacuju neki obradni sistem iz nižeg u viši tehnološki nivo sa gledišta automatizacije prikazani su na sledećoj šemi

$TN_1 - P_R$	\rightarrow	$TN_2 - P_M$
$TN_2 - C_R$	\rightarrow	$TN_3 - C_K$
$TN_3 - C_K$	\rightarrow	$TN_4 - C_F$
$TN_4 - K_{VC}$	\rightarrow	$TN_5 - K_{MC}$
$TN_5 - PK_R, PK_{AU}$	\rightarrow	$TN_6 - PK_A$
$TN_6 - C_F, PK_A$	\rightarrow	$TN_7 - C_N, PK_{AU}$
$TN_7 - C_N, K_{VC}, K_{MC}$	\rightarrow	$TN_8 - C_A, K_{AK}$
$TN_8 - C_A$	\rightarrow	$TN_9 - C_{AS}$
$TN_9 - C_{AS}$	\rightarrow	$TN_{10} - C_{IM}$

Na ovaj način koncipirane matrice, date u tabeli 1, korišćena je za identifikaciju tehnoloških nivoa automatizacije svakog obradnog sistema kojim raspolažu proizvodni procesi preduzača za proizvodnju privrednih vozila, građevinskih mašina i alata namenjenih mehaničkoj obradi.

Ovako razvijeni model za identifikaciju tehnoloških nivoa sa gledišta automatizacije obradnih sistema,

Tabela 1

Tehnološki nivo	Vrsta pogona	Način vođenja ciklusa	Način stezanja	Način opsluživanja	Način kontrole	Podešavanje i korekcija polož. alata	Primedba
TN1	PR	CR	SR	OR	KRC, KVC	PKR	
TN2	PM	CR	SR, SRM	OR, ORM	KRC, KVC	PKR	
TN3	PM	CK	SRM, SSK	OR, ORM	KRC, KVC	PKR	
TN4	PM	CF	SRM, SK, SBR	OR, ORM	KVC	PKR, PKAU	
TN5	PM	CF	SK, SBR	ORM, OP	KMC	PKR, PKAU	
TN6	PM	CF	SK, SBR	ORM, OP	KMC, KAK	PKA	
TN7	PM	CN	SK, SBR	OR, OP, ORM	KVC, KMC	PKAU	
TN8	PM	CA	SBR	ORM, OP, OBR	KAK	PKA	
TN9	PM	CAS	SBR	ORM, OP, OBR	KMC, KAK	PKA, PKAU	
TN10	PM	CIM	SBR	OBR	KAK	PKA	

Tabela 2

Preduzeće: _____ Naziv proizvodnog procesa: _____										List: _____		
OBRADNI SISTEM				PARAMETRI AUTOMATIZACIJE						Tehnološki nivo	Zbir oceana	Primedba
R. br.	NAZIV	Inv. broj	Vrsta pogona	Način vođenja ciklusa	Način stezanja	Način opsluživanja	Način kontrole	Podeš. i korekcija pol. alata				
			PR PM	CR CK CF CN CA CAS CIM	SR SRM SK SBR	OR OP OBR	KVC KRC KAK KMC	PKR PKAU PKA				

koncipiran je tako da omogućava pouzданo identifikovanje tehnološkog nivoa bilo kog obradnog sistema od strane svakog tehničkog lica vezanog za nabavku ili revitalizaciju proizvodne opreme.

Snimanje potrebnih podataka, na osnovu kojih se iz tabele 1 vrši identifikacija tehnološkog nivoa sa gledišta automatizacije obradnog sistema, vrši se pored samog obradnog sistema, a podaci o parametrima se unose u snimački list prikazan tabelom 2. U ovu tablu se upisuju podaci o obradnom sistemu kao i stanje nadjenih parametara automatizacije tog obradnog sistema. Po završenom snimanju parametre automatizacije svih žel-

jenih obradnih sistema, korišćenjem uporednih parametara koji se nalaze u tabeli 1, sa snimljenim parametrima iz tabele 2, utvrđuje se tehnološki nivo automatizacije svakog obradnog sistema i isti upisuje na predvideno mesto "tehnološki nivo" u tabeli 2.

3. NEKI REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Na osnovu rezultata istraživanja sakupljenih u preduzećima "Zastava-Iveko", iz Kragujevca i "14. Oktobar" iz Kruševca, izvršena je identifikacija tehnoloških nivoa proizvodnih procesa sa aspekta automatizacije. Identifikacija tehnoloških nivoa automatizacije proizvodnih procesa vršena je kroz identifikaciju tehnoloških nivoa sa gledišta automatizacije pojedinačnih obradnih sistema.

U preduzeću "Zastava-Iveko", sakupljeni su parametri automatizacije na 504 mašine razmeštene u sedam različitih pogona. Koristeći se matricom logično mogućih kombinacija parametara tehnoloških nivoa automatizacije obradnih sistema, tabela 1, došlo se do tehnoloških nivoa automatizacije obradnih sistema kao što je data u tabeli 3.

Zastupljena serijnost u ovom preduzeću odgovara nivou maloserijske i srednje serijske proizvodnje.

U preduzeću za proizvodnju gradevinskih mašina "14. Oktobar", sakupljeni su parametri tehnoloških nivoa automatizacije na 1238 mašina sistematizovanih u 15

Tabela 3. TN automatizacije preduzeća "Zastava-Iveko".

R. br. i naziv pogona	TN2	TN3	TN4	TN7	bez TN	Br. obr. sistema
1. M. O. GAMA "Z"		50	91	3	2	146
2. M. O. GAMA "Z"		22	79	2		103
3. M. O. Term. obr.		1	13			14
4. Preseraj	10	34	49			93
5. Karoserija		15	125			140
6. Montaža	3	2	1			6
7. Lakirница			2			2
Broj obr. sistema	13	124	360	5	2	504

Tabela 4. TN automatizacije preduzeća "14. Oktobar" iz Kruševca.

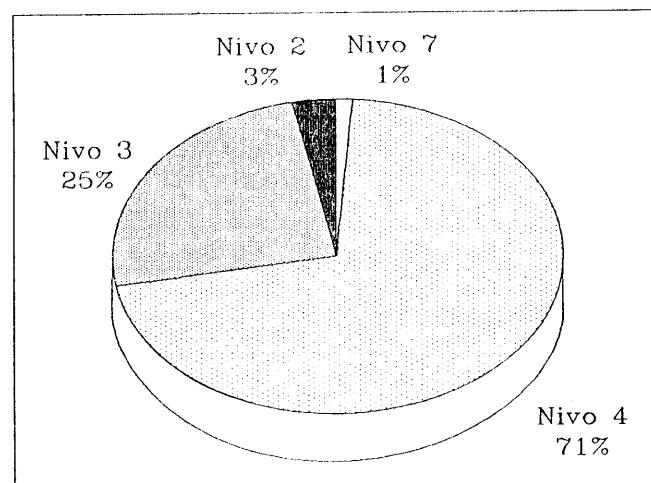
Red. br. i grupa obradnih sistema	TN ₁	TN ₂	TN ₃	TN ₄	TN ₅	TN ₇	Zbir
1. Maš za pripremu			58				58
2. Strugovi			177	43	17	36	273
3. Bušilice			126	9	4		139
4. Brusilice			83	32	2	5	122
5. Kom. buš.-glod.			28			4	32
6. Maš. za ozublj.			5	46		5	56
7. Glodalice			70	15		5	90
8. Rendis. i provl.			15	6			21
9. Obradni centri						8	8
10. Maš. za sl. kov.					8		8
11. Prese			35				35
12. Kovač. prese					17		17
13. Topl. spaj. zav.		243	55	44			342
14. Topl. razd. seč.		9		13	1		23
15. Brav.rad. mesta	2	9	3				14
Ukupno obr. sist.	2	261	555	233	24	63	1238

grupa po srodnosti. Kao i u prethodnom slučaju tabele 3, sačinjena je tabela 4, koja daje pregled tehnoloških nivoa sa gledišta automatizacije obradnih sistema u preduzeću "14. Oktobar" iz Kruševca, u kome je serijnost na nivou maloserijske proizvodnje.

Na osnovu prezentiranih rezultata, jasno je uočljivo, da je u svim pogonima za proizvodnju kamiona najdominantnije prisustvo obradnih sistema TN₄ pri čemu je obuhvaćeno 360 obradnih sistema. Na drugo mesto po frekventnosti dolaze obradni sistemi sa TN₃, ukupno 124 obradna sistema. Procentualno učešće tehnoloških nivoa sa gledišta automatizacije u proizvodnom procesu za proizvodnju kamiona dato je na slici 1.

Interesantno je da su mehaničke obrade za program GAMA "Z" i GAMA "S" osavremenjene obradnim sistemima tehnološkog nivoa automatizacije TN₇, dok su pogoni preseraja a posebno montaže na niskom tehnološkom nivou sa gledišta automatizacije.

Na osnovu datih rezultata, jasno je uočljivo, da je kod svih karakterističnih grupa obradnih sistema najdominantnije prisustvo obradnih sistema sa TN₃, pri čemu je obuhvaćeno 555 obradnih sistema. Na drugo mesto dolaze obradni sistemi sa TN₂ a na trećem mestu su obradni sistemi TN₄ sa aspekta automatizacije. Bitno je napomenuti da su sve vrste mehaničke obrade, koja se izvodi na strugovima, brusilicama, kombinovanim mašinama za bušenje i glodanje, mašinama za ozubljenje glodalicama i obradnim centrima, znatno osavremenjene uvođenjem nove opreme sedmog tehnološkog nivoa sa gledišta automatizacije, odnosno TN₇. Najniži tehnološki nivoi automatizacije obradnih sistema, TN₂, su kod bravarskih radnih mesta i toploplotnog spajanja zavarivanja, čime je obuhvaćeno oko 20% obradnih sistema. Procentualno učešće tehnoloških nivoa sa gledišta automatizacije ob-



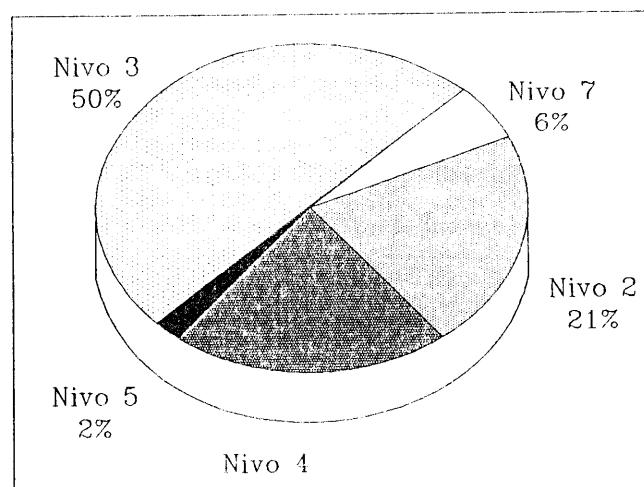
Sl. 1. TN automatizacije preduzeća "Zastava-Iveko"
TN of automation in manufacturing systems
in heavy vehicles production
ТУ автоматизации обрабатывающих систем в
производстве легких грузовых автомобилей

radnih sistema, u proizvodnom procesu za proizvodnju građevinskih mašina u preduzeću "14.Oktobar" iz Kruševca dato je na slici 2.

4. ZAKLJUČAK

U okviru prikazanog modela za identifikaciju tehnološkog nivoa sa gledišta automatizacije obradnih sistema uočavaju se šest karakterističnih kriterijuma i 24 parametra koji su u direktnoj vezi sa odgovarajućim sklopovima ili podsklopovima kao nosiocima srodnih triboloških parova.

Logično je očekivati da sa rastom tehnološkog nivoa sa gledišta automatizacije odgovarajući sklopovi postaju složeniji i da se broj triboloških parova povećava, čime se nameće potreba za njihovim nadzorom, kako bi se neочекivani otkazi sveli na minimalnu meru. Ovakvo koncipirani rad otvara novi pristup sistematizaciji u praćenja



Sl. 2. TN automatizacije preduzeća 14. Oktobar Kruševac
TN of automation in manufacturing systems
in construction machines manufacturing
ТУ автоматизации обрабатывающих систем в
производстве строительных машин

triboloških pojava na srodnim celinama obradnih sistema koji se nalaze na različitim tehnološkim nivoima.

Istraživanja sprovedena u preduzećima "Zastava-Iveko" iz Kragujevca i "14.Oktobar" iz Kruševca, kojima su pokriveni programi proizvodnje kamiona i građevinskih mašina, dala su sledeće rezultate.

- U preduzeću "Zastava-Iveko" analizirano je 504 tehnološka sistema koji rade u uslovima maloserijske i srednje serijske proizvodnje.
- Najfrekventniji je tehnološki nivo sa gledišta automatizacije TN4(71%), a uvedeno je i 10% savremenih tehnoloških sistema sa tehnološkim nivoom automatizacije TN7, što je niže od svetskog nivoa.
- Najviši tehnološki nivoi zabeleženi su u mehaničkim obradama programa za proizvodnju kamiona, GAMA "S" i GAMA "Z" i Karoseriji.
- U preduzeću "14.Oktobar" iz Kruševca analizirano je 1238 tehnoloških sistema koji rade u uslovima maloserijske proizvodnje, pa se isti i grupisani po tehnološkoj srodnosti.
- Najfrekventniji tehnološki nivoi sa gledišta automatizacije su TN3(45%) zastupljeni na tehnološkim sistemima.

mima obrade rezanjem koja je zadnje vreme obogaćena sa TN5 i TN7(7%). Tehnološki nivo TN4 zastupljen je sa 18.8%. Kod tehnoloških sistema obrade zavarivanjem primećuje se vrlo nizak tehnološki nivo automatizacije TN3(21%)

LITERATURA

- [1] D. ZELENOVIĆ, *Projektovanje proizvodnih sistema*, Naučna knjiga, Beograd, (1987.)
- [2] R. MITROVIĆ, *Projektovanje tehnoloških procesa*, Naučna knjiga, Beograd, (1991.)
- [3] J. REKECKI, *Osnovi automatizacije mašina alatki*, FTN, Novi Sad, (1974.)
- [4] B. IVKOVIĆ, *Osnovi tribologije*, Građevinska knjiga, Beograd, (1983.)
- [5] J. BRIGHT, *How to Evaluate Automation*, Harvard Business Review, No. 4. jul-august, New York, (1955.)
- [6] M. M. KUZNECOV, I. L. VOLKEVIĆ, P. JU. ZAMČALOV, *Avtomatizacija proizvodstvenih processov*, Viššaje škola, Moskva, (1976.)

Tribological Aspects of Machining Systems Automation

Tribology, as the new science, becomes more often an indicator of the success and functionality of performance of all technical and technological systems. However, way of determination of tribological criteria, by which is possible to control different available technological resources, often requires realization of investigations that, at first sight, do not seem to be closely related to problems of tribology. This is the case with this paper, while each manufacturing process in metal working industry is being realized on numerous tribologically endangered machining systems, that are most often found on lower technological levels from the aspect of automation.

It is known that all machining systems, in performing their functions, during time, wear off, and that the basic cause for that wear is existence and development of tribological processes on contact surfaces of assembled elements of those machining systems. To be able to enter the problems of analysis of tribological phenomena of each group of related tribological pairs, it was first necessary to develop the convenient method for identification of technological of the machining system from the aspect of automation, what is in fact the aim of this work.

Трибологические аспекты автоматизации обрабатывающих систем

При определении успешности и функциональности работы всех технических и технологических систем все чаще опираются на трибологию. Однако, установление трибологических критериев, на основании которых можно привести существующими технологическими ресурсами, часто требует проведения исследований, кажущихся, на первый взгляд, не связанными с трибологией. Такой кажется и настоящая работа. Но каждый производственный процесс в металлообрабатывающей промышленности, осуществляется на многочисленных трибологически угрожаемых системах, которые, главным образом, находятся на разных уровнях технологической автоматизации.

Известно, что все обрабатывающие системы со временем изнашиваются. Основной причиной их изнашивания является возникновение и развитие трибологических процессов на поверхностях контакта сопряженных деталей данной системы. Чтобы провести анализ трибологических явлений отдельных групп близких трибологических пар, авторам работы вначале пришлось разработать подходящий метод идентификации технологических уровней обрабатывающих систем с аспекта автоматизации, что и является основной целью работы.

D. JEŠIĆ

Izbor povoljnijeg momenta trenja kod pritezanja vijaka

1. UVOD

Pod pojmom "trenja" podrazumeva se, u širem smislu, proces suprostavljanja kretanju tela. Ovo suprostavljanje kretanju tela može da se mjeri deformacijom sredine u kojoj se tijelo kreće ili utroškom rada neophodnih za realizaciju kretanja.

Trenje ima višestruku primjenu, a zaslužuje posebnu pažnju proučavanja i analiziranja u tehnici. Jedan od primjera je i pojava trenja u navojima i ispod navrtke.

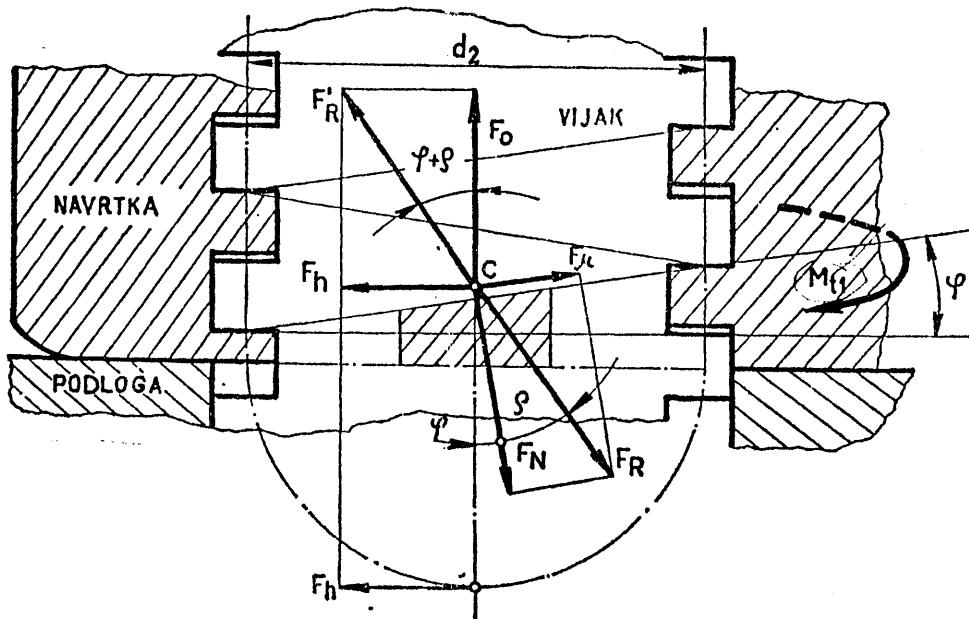
U teorijski promatranoj relaciji momenta pritezanja vijaka, odnosno njegove navrtke, i montaže sile polazi se od geometrijskih veličina same vijčane veze i koeficijenta trenja u navojima i ispod navrtke.

Pritezanjem vijka ili njegove navrtke još u montaži nastaju otpori koji rastu više ukoliko je pritezanje veće. Otpori trenja nastaju u navojima vijka i navrtke i ispod navrtke.

2. ODREĐIVANJE OTPORA TRENJA KOJE SE JAVLJA IZMEĐU NAVRTKE I PODLOGA

Na sl. 1. prikazani su u aksijalnom presjeku vijak i navrtka sa kvadratnim presjekom navoja. U slučaju pritezanja navrtke moment pritezanja (M_{t1}) predstavlja umnožak sile (F_a) u ruci i kraka ključa mjerenoj od napadne tačke sile (L) do ose vijka.

Pritezanjem navrtke u naznačenom smjeru momentom M_{t1} javljaju se u tački (c) aktivne sile: (F_h), koja nastaje



Sl. 1 - Pritezanje navrtke sa kvadratnim presjekom navoja
Tightening of the nut with square cross section of threads
Затяжка гайки с квадратным сечением резьбы

Ješić Dušan, dipl. ing.
Zanatoprema, Rijeka

od vanjskog momenta (M_{t1}) i (F_G), koja se javlja uzduž vijka, poznata još i kao montažna sila, koja izaziva naprezanje na zatezanje u vijku, a u navrški naprezanje na pritisak.

Pored aktivnih sila javljaju se i taceri (četvrtina reakcije F_R), koja djeluje okomito na navojnu površinu i sila otpora trenja F_u , koja se javlja u ravnini došla pravilno navoja, ali suprotno od smjera klizanja.

Čitav ovaj sistem sila je uravnotežen ako je rezultanta aktivnih sila jednaka rezultanti sile reakcije, odnosno kada je $F'_R = F_R$.

Iz slike 1. je vidljivo da postoji veza između F_R i F_{Gy} :

$$M_{t1} = F_R \cdot \frac{d_2}{2} + \mu_1 \cdot \frac{d_2 \cdot \pi}{P} [Nm] \quad (1)$$

Jednadžba (1) predstavlja važeće uslovne pogoje prema ključu kojim se savladava moment trenja trenja u navojima vijka i navrški.

Ovaj moment zavisi od geometrijskih karakteristika tretiranog koraka navoja (P), slijednjeg promjera u navoju, zatim od montaže sile (F_G) koju želimo uvegnuti u vijek, od vrednosti koeficijenta trenja (μ_1), te od vrednosti radijusa u dodirnim površinama navoja vijka i navrški.

Kod metričnog navoja je proti ne kvadratični međutreni trokut. Zbog toga je potrebno razlikovati silu otpora trenja u navoju, koju je potreban da bude jednak momentom priticanja M_{t1} , nezavisno od vrednosti $\alpha/2$, iz koje prizilazi sljedeći izraz:

$$F_{Gy} = F_G \cos \varphi; F_{Hy} = F_G \sin \varphi$$

Možemo sada napisati da je u jasnošću da je $M_{t1} = M_{t2}$:

$$F_{Gy} + F_{Hy} F_{Ny} = 0 \Rightarrow F_{Ny} = F_{Gy} / (F_{Hy} + F_{Gy})$$

Iz oborenog projekta metričkog navoja u ravnici ($y-y$) imamo da je okončana sila na bočni profil F_{ND} jednaka:

$$F_{ND} = \frac{(F_R \cdot \cos \varphi + F_h \cdot \sin \varphi)}{\cos \frac{\alpha'}{2}}$$

Dakle, F_{ND} može se izračunati tako da se $(F_R \cdot \cos \varphi + F_h \cdot \sin \varphi) / \cos \alpha'/2$ razdeli na dva komponenta: jednu okomitu na ravninu navoja, ali paralelnu s silom reakcije F_R , a drugu u smjeru klizanja.

$$F_{Ny} = F_R \cdot \cos \varphi + F_h \cdot \sin \varphi \cdot \frac{\mu_1}{\cos (\alpha'/2)}$$

Dakle, F_{Ny} može se izračunati tako da se $(F_R \cdot \cos \varphi + F_h \cdot \sin \varphi) / \cos \alpha'/2$ odredujemo iz slike 2.:

$$\tan \varphi = \frac{P}{d_2}; \cos \varphi = \frac{d_2}{P}; \cos \varphi = \frac{b}{P}$$

Dakle, $F_{Ny} = F_R \cdot \cos \varphi + F_h \cdot \sin \varphi \cdot \frac{\mu_1}{\cos (\alpha'/2)}$

$$F_{Ny} = F_R \cdot \cos \varphi + F_h \cdot \sin \varphi \cdot \frac{\mu_1}{\cos (\alpha'/2)} = F_R \tan (\rho + \rho') \quad (2)$$

Preostala je da se pošteđuju pogoje trenja μ_1 , koji odgovara načinu na koji se savladava moment trenja trenja u navoju. U slike 2. možemo uspostaviti sledeće:

$$F_R \tan (\rho + \rho') = F_R \tan (\rho + \rho'') = F_R \tan (\rho + \rho''')$$

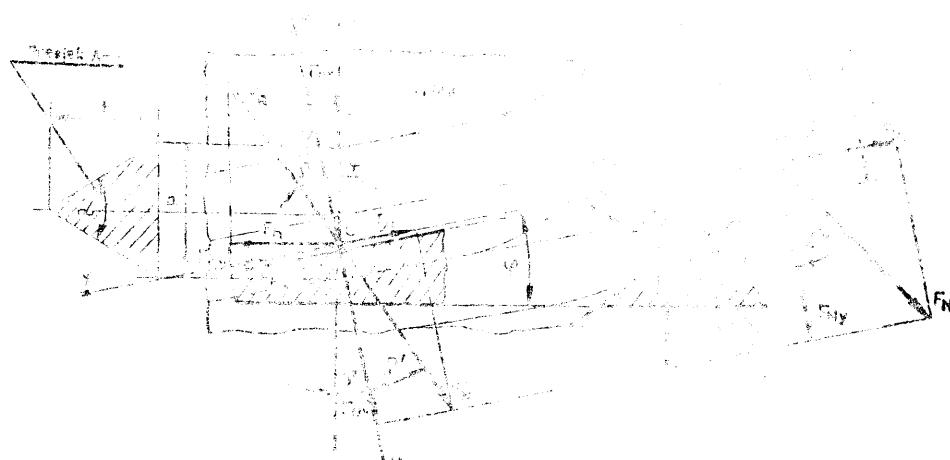
U slike 2. je ρ - ugao načina na koji se savladava moment otpora trenja trenja u navoju, a ρ'' - ugao načina na koji se savladava moment otpora trenja trenja u navoju.

$$\rho'' = \rho + \tan (\rho + \rho'')$$

$$\rho''' = \rho + \tan (\rho + \rho''') \quad (3)$$

U slike 2. je ρ''' - ugao načina na koji se savladava moment priticanja jednak je:

$$M_{t1} = F_R \cdot \frac{d_2 \cdot \cos \alpha'}{2} = F_R \cdot \frac{d_2 \cdot \cos \alpha'}{2} \cdot \frac{1}{\cos \alpha'} = \frac{F_R \cdot d_2}{2} \quad (4)$$



Sl. 1. Dijagrami sile na metričkom navoju
Brojčani odjek mrežnog navoja
i njegova primena u vijku

Po analogiji izvođenja momenta otpora trenja (M_{t1}) kod pritezanja navrtke, možemo izvesti i moment otpora trenja kod odvrtanja navrtke, imajući u vidu da je sada otpor trenja usmjeren suprotno od smjera klizanja navrtke:

$$M'_{t1} = F_o \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \tan(\varphi' - \varphi) \quad \dots \dots \dots \quad (5)$$

odnosno:

$$M'_{t1} = F_o \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \frac{\mu_1 \cdot d_2 \cdot \pi - P}{d_2 \cdot \pi + \mu_1 \cdot P} \quad \dots \dots \dots \quad (6)$$

Iz jednadžbe (1) možemo izračunati veličinu izvedenog koeficijenta trenja (μ_1):

$$\mu_1 = \frac{M_{t1} - F_o \cdot P \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi}}{\frac{F_o \cdot d_2}{2} + M_{t1} \cdot \frac{P}{\pi \cdot d_2}} \quad \dots \dots \dots \quad (7)$$

Pored otpora trenja, u navojima navrtke postoji i otpor trenja ispod navrtke, koji se kod pritezanja navrtke javlja suprotno od smjera okretanja navrtke.

2.1 Analiza otpora trenja ispod navrtke

Na sl. 3. prikazan je diferencijal otpora trenja dF_μ , koji napada diferencijal površine navrtke $dA = \rho \cdot d\rho \cdot d\varphi$

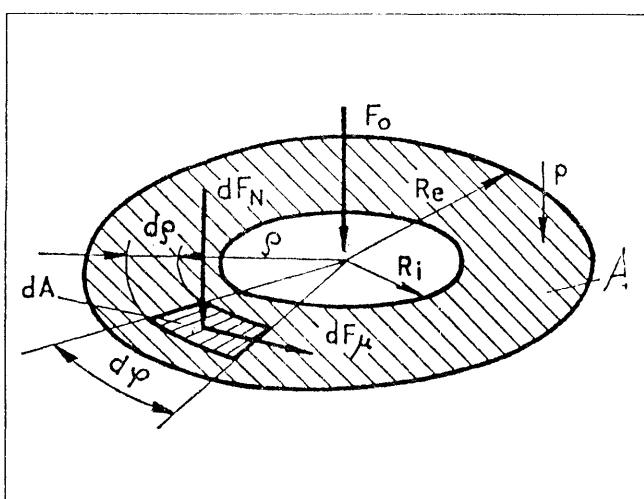
Pritisak na površinu navrtke:

$$p = \frac{F_o}{A} = \frac{F_o}{(R_e^2 - R_i^2) \cdot \pi}$$

Diferencijal okomite sile: $dF_N = p \cdot dA = p \rho \cdot d\rho \cdot d\varphi$

Diferencijal otpora trenja: $dF_\mu = dF_N \mu_2$ (μ_2 - koeficijent trenja na dodornoj površini navrtke i podloge).

$$dF_\mu = p \cdot \rho \cdot d\rho \cdot d\varphi \cdot \mu_2 = \frac{F_o}{(R_e^2 - R_i^2) \cdot \pi} \rho \cdot d\rho \cdot d\varphi \cdot \mu_2$$



Sl. 3 - Diferencijal otpora trenja
Cutting resistance differential

Диференциал сопротивления трения

Diferencijal momenta otpora trenja:

$$dM_{t2} = dF_\mu = p \mu_2 \rho^2 \cdot d\rho \cdot d\varphi$$

Ukupni moment otpora trenja na površini navrtke:

$$M_{t2} = \int dM_{t2} = p \mu_2 \int_{R_i}^{R_e} \rho^2 \cdot d\rho \cdot \int_0^{2\pi} d\varphi = p \mu_2 \cdot \frac{\rho^3}{3} \Big|_{R_i}^{R_e} \cdot 2\pi \quad (8)$$

$$M_{t2} = \frac{2}{3} \cdot F_o \cdot \mu_2 \cdot \frac{R_e^3 - R_i^3}{R_e^2 - R_i^2} \quad \dots \dots \dots \quad (8)$$

Ako izvršimo zamjenu: $D_e = 2 \cdot R_e$ i $D_i = 2 \cdot R_i$ bit će:

$$M_{t2} = \frac{1}{3} \cdot F_o \cdot \mu_2 \cdot \frac{D_e^3 - D_i^3}{D_e^2 - D_i^2} \quad Nm \quad \dots \dots \dots \quad (9)$$

Iz jednadžbe (9) možemo izračunati veličinu koeficijenta trenja μ_2 :

$$\mu_2 = 3 \cdot M_{t2} \cdot \frac{D_e^2 - D_i^2}{F_o \cdot (D_e^3 - D_i^3)} \quad \dots \dots \dots \quad (10)$$

2.2 Određivanje koeficijenta trenja μ_1 i μ_2

Jednadžbu (7) možemo napisati u sledećem vidu:

$$\mu_1 = \frac{M_{t1} - A}{B + C \cdot M_{t1}} \quad \dots \dots \dots \quad (11)$$

gde je: $A = F_o \cdot P / (2\pi)$, $B = F_o \cdot d_2 / 2$, $C = P / (\pi \cdot d_2)$

Jednažbu (10) možemo napisati u sledećem vidu:

$$\mu_2 = E \cdot M_{t2} \quad \dots \dots \dots \quad (12)$$

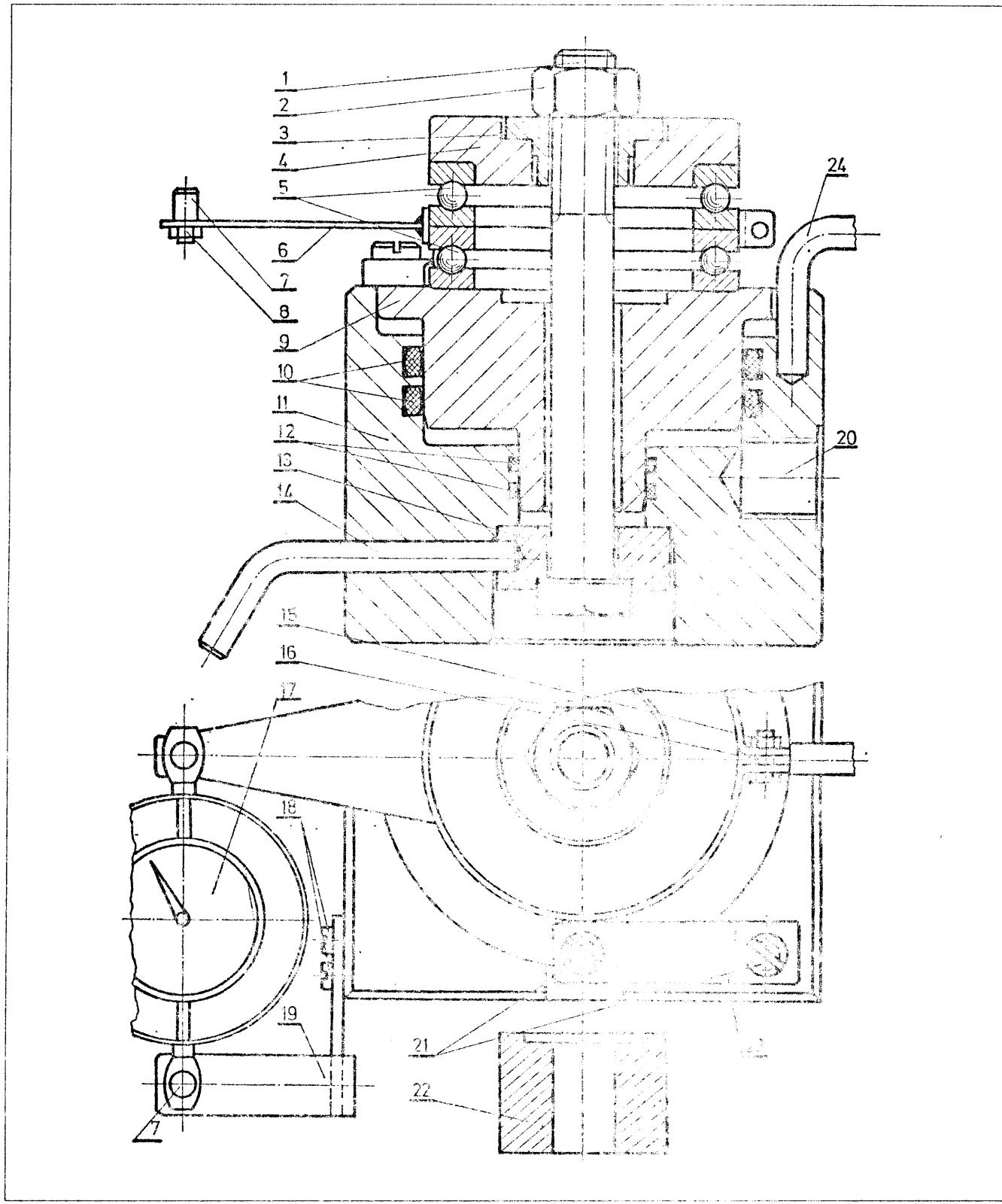
gde je:

$$E = \frac{3}{F_o} \cdot \left(\frac{D_e^2 - D_i^2}{D_e^3 - D_i^3} \right)$$

Da bi se odredile veličine koeficijenta trenja pomoću jednadžbi (11) i (12) potrebno je bilo načiniti takvu napravu kojom bi se moglo mjeriti montažne sile (F_o) u zavisnosti od momneta trenja (M_{t1}) i (M_{t2}) i ukupnog momenta pritezanja M_t . Za geometrijske veličine vijka i navrtke nije bilo poteškoća jer su to uglavnom standardne veličine, propisane JUS-a standardom.

Naprava se sastoji od sledećih dijelova:

1- vijak namijenjen ispitivanju; 2- navrtka vijka; 3- izmenjiva podloška koja odgovara veličini vijka; 4- neizmenjiva podloška; 5- dva aksijalna kotrljajuća ležaja tipa 5111; 6- prstenasta stega s krakom veličine 100 mm; 7- dva svornjaka s navojem smješteni na stezi 6 i nosaču 19; 8- dvije navrtke na svornjacima 7; 9- stap (klip); 10- dva prstenasta zaptivača; 11- tijelo hidraulične naprave; 12- dva prstenasta zaptivača; 13- podložni prsten za



Sl. 4 - Naprava za eksperimentalno ispitivanje vijaka

Device for experimental investigation of screws

УСТАНОВА ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ГУБОВ

sprečavanje okretanja vijka; 14- cilindrična čivija za fiksiranje dijela (13); 15- navrtka; 16- vijak za pritezanje prstenaste stege (6); 17- dinamometar "Tiedemann" H 685; 18- dva vijka za učvršćenje nosača 19; 19- nosač dinamometra (17); 20- povrt u koji se uvrće dinamometar;

21- svornjak s navođenjem (4 konuada) za pričvršćenje opruge 23; 22- podlozni pleten koji se stavlja umjesto dijela (5); 23- cilindrična čivija koja je bila predviđena ali nekorištena

Djelovi u prikazu uključuju na sl. 4.

Prije ispitivanja naprava se pričvršćuje donjim dijelom u ručnu stegu. Vijak (vidi poz. 1.) stavlja se odozdo kroz otvor podnožnog prstena 13, odnosno provrt izmenjive podloške 3, te priteže navrtkom 2. Pritezanje navrtke 2 ostvaruje se momentna sila F.

Kroz provrt 20 usuta je tekućina za hidraulične kočnice tipa "INA - UKA 2". Kada se provrt s navojem 20 pritegne priključak manometra tada se pritezanjem vijka 1, odnosno njegove navrtke 2, izaziva utoliko veći pritisak tekućine ispod stapa 9 ukoliko je veće pritezanje navrtke 2. Kada ne bi postojalo trenje između stapa i prstenastih zapitivača 12 i 10, vrijednost ostvarene montažne sile u vijačnoj vezi bila bi jednaka umnošku pritisaka. No kako se ovo trenje ne smije zanemariti, izvršeno je prethodno baždarenje hidraulične naprave na utestiranoj kidalici od 400 kN. Da bi se mogao ostvariti moment pritezanja M_{t1} kojim se savladava momenta otpora trenja u navojima navrtke 2 i vijka 1, predviđena su dva aksijalna kotrljajuća ležaja 5. Prstenasta stega 6 pritegnuta je preko unutrašnjih ležaja 5 i na sebi ima krak veličine 100 mm, na kraju kraka nalazi se svornjak 7 na kojem je jednim krakom pričvršćen dinamometar 17, dok je svojim drugim krakom pričvršćen na nosaču 19.

Pritezanjem navrtke 2, koja naliježe na izmenljivu podlošku 3, dolazi do zajedničkog okretanja i gornjeg prstena kotrljajućeg ležaja 5. Otpor ispod navrtke se ne javlja jer se navrtka okreće zajedno s gornjim prstenom ležaja 5. Međutim, trenje u kotrljajućim ležajima 5 postoji i ono izaziva zakretanje kraka stope 6 pa time izaziva u dinamometru 17 utoliko veću silu F_{din} ukoliko je moment otpora trenja u ležajima 5 veći. Vrijedina momenta otpora trenja u aksijalnim ležajima 5 odredena je umnoškom sile u dinamometru F_{din} i kraka stope b:

$$M_{lež.} = F_{din} \cdot b$$

Da se dobije samo moment otpora trenja u navojima M_{t1} potrebno je da se moment pritezanja na ključu $M_{t1} + M_{lež.}$ odbije moment otpora trenja u ležajima $M_{lež.}$

$$M_{t1} = (M_{t1} + M_{lež.}) - M_{lež.}$$

Za sprečavanje okretanja stapa 9 služe dvije lisnate opruge 23 unakrsno postavljene, tako što su obje pričvršćene jednim svojim krajem za stup 9, dok drugim za tijelo uredaja 11. Obje lisnate opruge primaju na sebe dio momenta pritezanja i u njima se javljaju dvije zatežuće sile međusobno antiparalelne, a koje djeluju u ravni okomitoj na osu vijka. Zbog vrlo male krutosti lisnatih opruga, a i zbog vrlo malog kretanja stapa zbog nestišljivosti tekućine (što su mjerena potvrdila) do predviđene granice ispitivanja - 150 bara - može se smatrati da je izazvana sila u lisnatim oprugama praktički zanemariva, što je pokazalo i ispitivanje krutosti lisnatih opruga 23. Da bi se dobilo ukupni moment pritezanja M_t , potrebno je da se ležaji 5 zamijene podložnim prstenom 22 u koji se može staviti izmenjivi prsten 3 prema veličini vijka 1. Budući, da je podložni prsten 22 pričvršćen za tijelo 9 pomoću zatika (koji nije prikazan na slici) te se između navrtke i njega javlja otpor trenja pri okretanju navrtke 2. Pritezanjem navrtke 2 nastaje ukupni moment pritezanja M_t koji se može očitati na momentnom ključu

koji obuhvaća moment otpora trenja u navrtkama M_{t1} i moment otpora trenja ispod navrtke M_{t2} :

$$M_t = M_{t1} + M_{t2}$$

Ako za istu montažnu silu vršimo pritezanje navrtke i to za dva slučaja: kada imamo ležaje 5 ispod 2 i kada nema ni njih, imamo podložni prsten 22, tada možemo dobiti moment otpora trenja ispod navrtke M_{t2} pomoću slijedeće jednadžbe:

$$M_{t2} = M_t - M_{t1}$$

2.3 Eksperimentalno ispitivanje vijka

Za određivanje veličine koeficijenta trenja u navojima μ_1' bilo je potrebno ispitati po 25 vijka i to M10, M12, M14 i M16. Za svaku veličinu vijka najpre je utvrđena veličina montažne sile $F_{o max}$ prema Tochtermannu:

$$F_{o max} = \frac{\sigma_{doz} \cdot A_v}{\sqrt{2}} \quad \dots \dots \dots \quad (13)$$

gdje je:

$$\sigma_{doz} = \sigma_v / \nu_v \text{ N/mm}^2 \quad \dots \dots \dots \quad (14)$$

σ_v = granica razvlačenje materijala vijka

(za M10: $\sigma_v = 400$; za M12, M14 i M16: $\sigma_v = 640$ (N/mm²)

ν_v = vrijednosti koeficijenta sigurnosti

$\nu_v = 1.4$ za M10; $\nu_v = 1.3$ za M12 i 14; $\nu_v = 1.2$ za M16

$$A_p = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_1 + d_2}{2} \right)^2 \text{ mm}^2 \quad (15) \quad \dots \dots \dots$$

d_1 = promjer jezgra navoja

d_2 = srednji promjer navoja

Na osnovu jednadžbi (13), (14), (15) određene su slijedeće veličine montažne sile:

$$F_o = 10400, 28700, 39800 \text{ i } 59000 \text{ N i to za M10, M12, M14 i M16.}$$

Za mjerjenje vrijednosti momenta pritezanja M_{t1} korišten je momentni ključ za područje do 200 Nm, posebno baždaren pomoću utega od 20 do 500 N, koji su vješani na kraj momentnog ključa (ručke), čiji je krak iznosio 40 cm.

Tabela 1. daje statističku obradu momenta utega (x) i očitanih podataka na komparatoru momentnog ključa (y).

Vrednosti u tabeli se odnosi za slučaj kada je stoga na momentnom ključu bila postavljena na skali od 200 Nm. Na osnovu prethodne tabele odredene su sledeće veličine:

Srednja vrijednost varijable x :

$$\bar{x} = \frac{\Sigma x}{N} = \frac{7840}{9} = 871.1$$

Srednja vrijednost varijable y :

$$\bar{x} = \frac{\Sigma x}{N} = \frac{514.8}{9} = 57.2$$

theoretical framework, the relationship between the two variables was tested by means of a correlation analysis. The results showed that there was a significant positive correlation between the two variables ($r = 0.51$, $p < 0.05$). This indicates that the higher the level of self-efficacy, the higher the level of motivation.

The second hypothesis was that the level of motivation would be positively related to the level of performance. In order to test this hypothesis, the level of motivation was measured by means of a questionnaire. The results showed that there was a significant positive correlation between the two variables ($r = 0.51$, $p < 0.05$).

Finally, the third hypothesis was that the level of performance would be positively related to the level of self-efficacy. In order to test this hypothesis, the level of performance was measured by means of a questionnaire. The results showed that there was a significant positive correlation between the two variables ($r = 0.51$, $p < 0.05$).

Based on the results of the correlation analysis, it can be concluded that the three variables are interrelated. Therefore, the three variables were included in the model. The results of the structural equation model are presented in Table 1.

Figure 1 shows the results of the structural equation model. The model consists of three latent variables: self-efficacy, motivation and performance. The relationships between the latent variables are indicated by paths. The paths are labeled with their standardized path coefficients. The paths from self-efficacy to motivation and from self-efficacy to performance are significant ($p < 0.05$), while the path from motivation to performance is not significant ($p > 0.05$).

Figure 1 also shows the results of the structural equation model. The model consists of three latent variables: self-efficacy, motivation and performance. The relationships between the latent variables are indicated by paths. The paths are labeled with their standardized path coefficients. The paths from self-efficacy to motivation and from self-efficacy to performance are significant ($p < 0.05$), while the path from motivation to performance is not significant ($p > 0.05$).

Figure 1 also shows the results of the structural equation model. The model consists of three latent variables: self-efficacy, motivation and performance. The relationships between the latent variables are indicated by paths. The paths are labeled with their standardized path coefficients. The paths from self-efficacy to motivation and from self-efficacy to performance are significant ($p < 0.05$), while the path from motivation to performance is not significant ($p > 0.05$).

Figure 1 also shows the results of the structural equation model. The model consists of three latent variables: self-efficacy, motivation and performance. The relationships between the latent variables are indicated by paths. The paths are labeled with their standardized path coefficients. The paths from self-efficacy to motivation and from self-efficacy to performance are significant ($p < 0.05$), while the path from motivation to performance is not significant ($p > 0.05$).

Table 1 presents the results of the structural equation model.

The results of the structural equation model show that the model fits the data well. The fit indices are as follows: $\chi^2 = 12.34$, $p = 0.001$, $\text{RMSEA} = 0.05$, $\text{CFI} = 0.95$, $\text{IFI} = 0.95$, $\text{NFI} = 0.95$. The results of the structural equation model are presented in Table 1.

The results of the structural equation model show that the model fits the data well. The fit indices are as follows: $\chi^2 = 12.34$, $p = 0.001$, $\text{RMSEA} = 0.05$, $\text{CFI} = 0.95$, $\text{IFI} = 0.95$, $\text{NFI} = 0.95$. The results of the structural equation model are presented in Table 1.

The results of the structural equation model show that the model fits the data well. The fit indices are as follows: $\chi^2 = 12.34$, $p = 0.001$, $\text{RMSEA} = 0.05$, $\text{CFI} = 0.95$, $\text{IFI} = 0.95$, $\text{NFI} = 0.95$. The results of the structural equation model are presented in Table 1.

The results of the structural equation model show that the model fits the data well. The fit indices are as follows: $\chi^2 = 12.34$, $p = 0.001$, $\text{RMSEA} = 0.05$, $\text{CFI} = 0.95$, $\text{IFI} = 0.95$, $\text{NFI} = 0.95$. The results of the structural equation model are presented in Table 1.

The results of the structural equation model show that the model fits the data well. The fit indices are as follows: $\chi^2 = 12.34$, $p = 0.001$, $\text{RMSEA} = 0.05$, $\text{CFI} = 0.95$, $\text{IFI} = 0.95$, $\text{NFI} = 0.95$. The results of the structural equation model are presented in Table 1.

The results of the structural equation model show that the model fits the data well. The fit indices are as follows: $\chi^2 = 12.34$, $p = 0.001$, $\text{RMSEA} = 0.05$, $\text{CFI} = 0.95$, $\text{IFI} = 0.95$, $\text{NFI} = 0.95$. The results of the structural equation model are presented in Table 1.

The results of the structural equation model show that the model fits the data well. The fit indices are as follows: $\chi^2 = 12.34$, $p = 0.001$, $\text{RMSEA} = 0.05$, $\text{CFI} = 0.95$, $\text{IFI} = 0.95$, $\text{NFI} = 0.95$. The results of the structural equation model are presented in Table 1.

The results of the structural equation model show that the model fits the data well. The fit indices are as follows: $\chi^2 = 12.34$, $p = 0.001$, $\text{RMSEA} = 0.05$, $\text{CFI} = 0.95$, $\text{IFI} = 0.95$, $\text{NFI} = 0.95$. The results of the structural equation model are presented in Table 1.

The results of the structural equation model show that the model fits the data well. The fit indices are as follows: $\chi^2 = 12.34$, $p = 0.001$, $\text{RMSEA} = 0.05$, $\text{CFI} = 0.95$, $\text{IFI} = 0.95$, $\text{NFI} = 0.95$. The results of the structural equation model are presented in Table 1.

The results of the structural equation model show that the model fits the data well. The fit indices are as follows: $\chi^2 = 12.34$, $p = 0.001$, $\text{RMSEA} = 0.05$, $\text{CFI} = 0.95$, $\text{IFI} = 0.95$, $\text{NFI} = 0.95$. The results of the structural equation model are presented in Table 1.

The results of the structural equation model show that the model fits the data well. The fit indices are as follows: $\chi^2 = 12.34$, $p = 0.001$, $\text{RMSEA} = 0.05$, $\text{CFI} = 0.95$, $\text{IFI} = 0.95$, $\text{NFI} = 0.95$. The results of the structural equation model are presented in Table 1.

	α	β	γ	δ	ϵ	ζ	η	θ	φ	ψ	ω									
α	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
β	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
γ	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
δ	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
ϵ	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
ζ	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
η	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
θ	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
φ	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
ψ	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
ω	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85

Table 1

LITERATURA

- [1] B. IVKOVIĆ, *Osnovi tribologije u industriji prerade metala*, IRO "Gradevinska knjiga", Beograd
- [2] DECKER K. H., *Elementi strojeva*, "Tehnička knjiga", 1983. Zagreb 1980.
- [3] NEIMAN K. H., *Konstruktion im Maschinen - appare und Gerätebau*, Munchen, 1971.
- [4] Katedra za elemente strojeva FSB-a, Vratilo
- [5] Katedra za elemente strojeva FSB-a, *Obrada i hrapanost površine*
- [6] Katedra za elemente strojeva FSB-a, Spojke
- [7] Katedra za elemente strojeva FSB-a, *Tarni i remenski prenos*
- [8] KRAUT B., *Strojarski priručnik*, "Tehnička knjiga", Zagreb, 1976.
- [9] OBERŠMIT E., *Ozubljenja i zupčanici*, SNL, Zagreb, 1976.
- [10] OBERŠMIT E., *Nauka o konstruisanju, metodičko konstruisanje i konstruisanje pomoću računala*, FSB, Zagreb, 1985.
- [11] OBERŠMIT E., *Osnovi konstruisanja*, FSB, Zagreb, 1983.
- [12] REBEC B., *Naprave*, FSB, Zagreb, 1974.

The Choice of The Favorable Friction Moment of Screw Tightening

By design and production of hydraulic device for measuring of the assembling force necessary for screw tightening, the conditions are established for investigations of the influence of thread manufacturing quality, kind of shims, and roughness magnitude of the shim surface, on the friction moment magnitude, i.e., the necessary tightening force.

Presented is the procedure for determination of the theoretical value of the tightening moment that represents the sum of the cutting resistance moment in threads and the friction resistance moment in the contact zone of the lower front surface of the nut and the shim, namely the leaning surface of the nut. Besides the general equations also is given the review of expressions for the tightening moment with the screw that has the nut with the parallel leaning surface. In fig. 4 is shown the experimental device for investigations of the screws which was used for measuring the friction coefficient and the friction moment.

In the experimental program we used the screw M10, M12, M14 and M16. The magnitude of the tightening force at beginning of the experimental program was determined according to Tochtermann. Investigation results show that the friction coefficients in the M1 thread and between the nut and the learning surface are in the range 0.1 and 0.16 depending on the thread diameter. The choice of the optimal friction moment of screw tightening is possible to perform based on results obtained by realization of adequate experimental programs of this kind.

Выбор подходящего момента трения при затяжке болтов

Изготовлением гидравлического прибора для измерения необходимого момента затяжки болтов, созданы условия для исследования воздействия качества изготовления резьбы, вида материала прокладок, шероховатости их поверхностей и диаметра болта на величину момента трения, т.е. необходимой силы затяжки.

В работе описан способ определения теоретического значения момента затяжки, являющегося суммой моментов сопротивления трения в зоне контакта нижней торцевой поверхности гайки и прокладки, т.е. поверхности налегания гайки. Паряду с общими уравнениями приведены и выражения для подсчета момента затяжки болтов с гайкой, имеющей ровную налегающую поверхность. На рис. 4. показан экспериментальный пробор для исследования болтов, использованный при измерении коэффициента и момента трения.

В экспериментальной программе использовались болты M10, M12, M14 и M16. Величина силы затяжки в начале исследований определена по Тоцхтерманн-у. Полученные результаты показывают, что коэффициенты трения в резьбе M1 и между гайкой и поверхностью прилегания находятся в пределах 0.1 и 1.16, в зависимости от диаметра резьбы. Выбор оптимального момента трения при затяжке болтов можно провести на основании результатов, полученных при соответствующих исследованиях.