tribologija u industriji

YU ISSN 0351 - 1642
GODINA XXI
JUN 1999.
2

tribology in industry ◆ трибология в промышленности

YU ISSN 0351 - 1642

VOLUME 21
BROJ 2
JUNI 1999.

tribologija u industriji

tribology in industry ◊ трибология в промышленности

sadržaj contents содержание

UVODNIK
INTRODUCTION
ВВЕДЕНИЕ

B. IVKOVIĆ: Tribološke površine u tribo-mehaničkim sistemima ◊ Tribological Surfaces in Tribo-mechanical Systems ◊ Трибологические поверхности в трибоеханических системах . . 45

ISTRAŽIVANJA
RESEARCH
ИССЛЕДОВАНИЯ

B. SOVILJ, B. PROPOTNIK, R. MITROVIĆ, V. TODIĆ: Uticaj postupaka obrade ozubljenja zupčanika na pojavu krzanja reznih elemenata odvalnih glodala ◊ Influence of the Toothing Machining Procedures on Appearance of Grumbling of Hob Milling Tool Cutting Elements ◊ Воздействие способа обработки зубчатых колес на возникновение зазубрин на режущих кромках червячных фрез. . 47

P. DAŠIĆ: Primeri analize različitih funkcija raspodele otkaza reznog alata ◊ Examples of Analysis of Different Functions of Cutting Tool Failure Distributio ◊ Примеры анализа различных функций распределения отказа режующего инструмента 53

S. VEINOVIĆ, R. PEŠIĆ, A. DAVINIĆ, R. PAVLOVIĆ: Doprinos tribologije povećanju ekonomičnosti domaćih motornih vozila ◊ Contribution of Tribology to Economic Efficiency Increase of Domestic Made Motor Vehicles ◊ Вклад трибологии в повышение экономичности отечественных автотранспортных средств . . . 62

R. JEČMENICA, M. RADOJIČIĆ, R. ĆIRIĆ : Uticaj mikrostrukture zavarenih spojeva na kvalitet reznog alata ◊ Influence of Welded Joints Microstructure on Cutting Tool Quality ◊ Воздействие микроструктуры сварных соединений на качество режущего инструмента 67

B. SOVILJ, V. TODIĆ, M. BABIĆ, Z. NIKIĆ: Veza postojanosti i brzine rezanja kod neoslojenih i oslojenih vretenastih glodala u zavisnosti od kriterijuma habanja ◊ Relationship Between Tool Life and Cutting Speed With Uncoated and Coated End Milling Cutters Depending on Wear Criterion ◊ Взаимозависимость износостойкости и скорости резания упрочняемых и неупрочняемых концевых фрез в зависимости от критерия изнашивания 72

NOVOSTI
NEWS
НОВОСТИ 77

KNJIGE I ČASOPISI
BOOKS AND JOURNALS
КНИГИ И ЖУРНАЛЫ 78

NAUČNI SKUPOVI
SCIENTIFIC MEETINGS
НАУЧНЫЕ СОБРАНИЯ 79

B. IVKOVIĆ

Tribološke površine u tribo-mehaničkim sistemima

Jedan od osnovnih prilaza rešavanju triboloških problema i definisanju tribologije kao nauke i tehnologije zasniva se na proučavanju pojava i posledica u tribološkim površinama.

Tribološke površine definišu se kao "površine u mehaničkom kontaktu pod relativnim kretanjem". Može se takođe reći da su tribološke površine one površine elemenata tribo-mehaničkih sistema preko kojih se ostvaruje njihov kontakt pri relativnom kretanju. Polazeći od ovih stavova može se definisati i tribo-mehanički sistem kao svaki sistem koji sadrži dve ili više triboloških površina.

Prihvatanjem ovih odrednica za termine tribološke površine i za tribomehanički sistem (u literaturi se koristi i termin tribo-sistem) može se definisati tribologija kao nauka i tehnologija o tribo-mehaničkim sistemima.

Sa ovakvim prilazom moguće je definisati trenje i habanje na jednostavan način.

Trenje se definiše kao sila koja delije suprotno od smera relativnog klizanja triboloških površina a habanje se definiše kao gubitak materijala sa triboloških površina.

Sadržaj triboloških površina u odrednicama za tribologiju, trenje i habanje ukazuje na neophodnost fundamentalnog prilaza rešavanju triboloških problema u industrijskim i transportnim sistemima. Problemi tribološke prirode (pojava velikog trenja i ubrzanog habanja) u industrijskj opremi (proizvodnoj i drugoj) i transportnim sredsvima svih vrsta javljaju se u brojnim tribo-mehaničkih sistema kojima se vrši prenos snage, kretanja i informacija kao i vođenje pokretnih elemenata. Raznovrsnost tribo-mehaničkih sistema nije velika ali njihov broj nije zanemarljiv. Postoje velike razlike u geometrijkim oblicima i materijalima elemenata kod raznih vrsta tribo-mehaničkih sistema (klizni i kotrljajni ležajevi, zubčasti i pužni prenisnici, bregasti i kulisni mehanizmi i sl). Međutim, kada se analizira proces ostvarivanja kontakta između elemenata svih vrsta tribo-mehaničkih sistema dolazi se do jasnog zaključka da se funkcija tribo-mehaničkih sistema ostvaruje uvek relativnim kretanjem dve ili više triboloških (kontaktnih) površina ali pod veoma različitim kontaktnim uslovima.

Procesi trenja i habanja razvijaju se u zonama kontakta triboloških površina. Trenje i habanje mogu biti veći ili manji u zavisnosti od uslova pod kojima se kontakt između triboloških površina ostvaruje (brzina klizanja, normalno opterećenje, temperatura okoline, režim podmazivanja, vrsta maziva) i fizičko hemijskih karakteristika površinskih slojeva. Hrapavost triboloških površina takođe ima velikog uticaja na veličinu trenja i intenzitet habanja u zoni kontakta triboloških površina.

Tribološke karakteristike čvrstih elemenata tribo-mehaničkih sistema kao i maziva koje je uvek prisutno u zonama kontakta određuju se sa energetskog aspekta merenjem sila trenja i utroška energije pri funkcionisanju odgovarajućeg tribo-mehaničkog sistema. Sa gledišta habanja tribološke karakteristike elemenata tribo-mehaničkog sistema i maziva određuju se merenjm pohabanosti kritičnog elementa sistema posle određenog vremena njegoveeksploatacije odnosno funkcionisanja.

Postoje u osnovi tri vrste triboloških testova.

Ispitivanje triboloških svojstava elemenata tribo-mehaničkih sistema i maziva može da se vrši u eksploatacionim uslovima praćenjem ponašanja tribo-mehaničkih sistema u proizvodima (vozila, traktori, mašine alatke, alati isl) u dužem vremenskom periodu. Na primer, praćenjem potrošnje reznih alata pri obradi predmeta na alatnoj mašini uz korišćenje više vrsta sredstava za hlađenje i podmazivanje moguće je odrediti njihove tribološke karakteristike sa gledišta habanja alata. Primer ispitivanja ove vrste su i putna ispitivanja vozila u kojima se ispituju ne samo

tribološka svojstva maziva već i tribološke osobine brojnih tribo-mehaničkih sistema kao što su ležajevi, zaptivke, zubčanici i sl.

Druga vrsta ispitivanja triboloških karakteristika elemenata tribo-mehaničkih sistema i maziva vrši se na laboratorijskim uređajima na kojima se simuliraju eksploatacioni uslovi u kojima određeni proizvodi. Na ovakvim uređajima ugrađuju se kompletni menjači, motori, pumpe ili drugi sklopovi i agregati sadržani u industijskoj opremi i transportnim sredstvima.

Treća vrsta triboloških istraživanja zasniva se na činjenici da se tribološki procesi pri klizanju odvijaju u tribološkim površinama (slojevima). Ostvarivanjem klizanja između dve tribološke površine, koje po svojim karakteristikama pripadaju realnom tribo-mehaničkom sistemu, na odgovarajućem tribometru moguće je odrediti tribološke karakteristike kako čvrstih elemenata sistema tako i maziva. Uslovi pod kojima se klizanje između triboloških površina ostvaruje identični su sa eksploatacionim uslovima proizvoda kome tribomehanički sistem pripada.

Savremeni prilaz određivanju triboloških karakteristika čvrstih elemenata i maziva zasniva se upravo na saznanju da nije bitno kakvoj vrsti tribo-mehaničkog sistema pripada tribološka površina već da su procesi trenja i habanja zavisni samo od uslova ostvarivanja kontakta i fizičko-hemijskih karakteristika površinski slojeva. Ovo saznanje je osnovni razlog sve većeg korišćenja tribometara za stvaranje baza podataka o tribološkim karakteristikama matarijala svih vrsta. Poznavanje triboloških svojstava triboloških površina omogućava projektovanje optimalnog režima eksploatacije proizvoda, njihovo održavanje i razvoj novih materijala za njihove tribo-mehaničke sisteme.

Tribological Surfaces in Tribo-mechanical Systems

One of the approaches to definition of tribology as science and technology is based on knowing the tribological surfaces on which the contact in tribo-mechanical systems of all types is realized.

Phenomena and consequences that appear on tribological surfaces during contact realization do not depend on the type of the tribo-mechanical system, but on physical and chemical characteristics of the contact layers. They also depend on conditions in which the contact is realized (feed rate, external load, etc.). These are the foundations for development of measurements of tribological characteristics of both solid materials and lubricants on corresponding tribometers.

Трибологические поверхности в трибоеханических системах

Один из подходов к определению трибологии как научной дисциплины и технологии основывается на знанию трибологических поверхностей через которые осуществляется контакт в трибо-механических системах всех типов. Явления и их последствия, возникающие на трибологических поверхностях при контактировании, не определяет тип трибо-механических систем, а физико-химические характеристики контактирующих слоёв и условия в которых контакт происходит (скрость скольжения, внешняя нагрузка и др.). На основах этих развиваются измерения трибологических характеристик твёрдых материалов и смазок, проводимые на соответствующих трибометрах.

UDK 621.001.5.539.43:620.178.2

B. SOVILJ, B. PROPOTNIK, R. MITROVIĆ, V. TODIĆ

Uticaj postupaka obrade ozubljenja zupčanika na pojavu krzanja reznih elemenata odvalnih glodala

Savremeni tehnički razvitak proizvodnje cilindričnih zupčanika usmeren je u dva osnovna pravca: povećanje ekonomičnosti odgovarajućeg metoda obrade ozubljenja zupčanika i istovremeno poboljšanje kvaliteta izrađenog zupčanika. Postizanje ovih, uglavnom suprotnih, zahteva predstavlja vrlo složen zadatak. Razvoj prevoznih sredstava, specijalnih industrijskih i građevinskih mašina sa jedne strane i razvoj pogonskih agregata sa druge strane, doveo je do pojave različitih konstrukcija prenosnika snage i obrtnih momenata među kojima značajno mesto zauzimaju zupčasti prenosnici. Unapređenje procesa odvalnog glodanja značajno je i korisno kako za proizvodnju zupčanika tako i za proizvodnju odvalnih glodala. Od posebnog je značaja za proizvođače zupčastih prenosnika detaljno poznavanje metoda obrade ozubljenja.

U radu je na osnovu eksperimentalnih istraživanja određen uticaj postupaka obrade ozubljenja zupčanika na pojavu krzanja reznih elemenata odvalnih glodala.

Ključne reči: postupak obrade ozubljenja, zupčanik, krzanje, rezni elemenat, odvalno glodalo, trošenje, habanje, postojanost, optimizacija, režimi rezanja

1. UVOD

Zbog visokih troškova alata i mašina kao i zbog znatnog udela u ukupnoj strukturi troškova izrade zupčastih prenosnika metodama obrade ozubljenja se u mnogobrojnim naučnim istraživanjima posvećuje velika pažnja.

Istraživanja procesa odvalnog glodanja zbog svoje kompleksnosti i dugotrajnosti, pa prema tome i visokih troškova, upućuju na istraživanja u realnim proizvodnim uslovima, čime se obezbeđuje pouzdana identifikacija procesa i stvaraju uslovi za njegovu optimizaciju.

Da bi omogućila sigurno iskorišćenje sredstava rada, metaloprerađivačka industrija mora imati pouzdane parametre obrade. Značajno mesto zauzimaju tehnološki parametri koji utiču na trošenje alata i uzimajući u obzir parametre za definisanje ekonomičnosti procesa, utiču na ostvarivanje optimalnih parametara režima rezanja.

Dr Bogdan Sovilj, red. prof.,
Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
Dr Branko Propotnik, TAM Maribor, Slovenija
Dr Ratko Mitrović, red. prof.,
Mašinski fakultet, Kragujevac
Dr Velimir Todić, vanr. prof.,
Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad,

U okviru ovih istraživanja stvorena je pogodna metodologija praćenja relevantnih parametara odvalnog glodanja, koja je uz minimalne troškove i bez poremećaja normalnog ciklusa proizvodnje omogućila sistematizovano sakupljanje podataka potrebnih za analizu i optimizaciju procesa odvalnog glodanja [5]. Tako stvorenom metodologijom su vršeni eksperimenti čiji rezultati potvrđuju da u procesu odvalnog glodanja postoje znatne rezerve i mogućnosti boljeg iskorišćenja alata i mašina i otvaraju se nova interesantna pitanja iz ove oblasti.

2. ANALIZA POJAVE KRZOTINA

U procesu rezanja kontakt reznog alata sa materijalom obradka ostvaruje se između strugotine i grudne površine reznog klina i leđnih površina zuba odvalnog glodala i obrađene površine obradka. Tribološki procesi koji se javljaju u procesu rezanja na grudnim i leđnim površinama zuba alata razvijaju se pod specifičnim uslovima [5]. Ti specifični uslovi pod kojima se ostvaruje kontakt između odvalnih glodala i materijala obradka otežavaju u značajnoj meri upoznavanje triboloških procesa na njima, tako da danas više raspolažemo znanjima o njihovim posledicama na obrađenoj površini i reznom elementu alata, a manje o njihovoj prirodi.

Do veće produktivnosti se dolazi smanjenjem troškova energije, maziva i sredstava rada.

Trošenje odvalnog glodala je jedna od krajnje negativnih pojava pri obradi ozubljenja zupčanika.

Treba razlikovati proces habanja od procesa trošenja alata. Habanje je jedan od oblika trošenja odvalnog glodala, jer uzroci trošenja, tj. gubljenje reznih svojstava alata, mogu se razvrstati u četiri osnovne grupe (sl. 1 [1, 4, 5]):

- habanje alata po reznim elementima,
- krzanje sečiva,
- odlamanje (odvaljivanje) delova sa reznih elemenata alata,
- plastična deformacija reznih elemenata alata.

Krzanje i odlamanje predstavljaju veoma nepovoljan oblik trošenja odvalnog glodala, jer kada se pojave tada se relativno brzo javlja otkaz alata u procesu rezanja. Ako su dimenzije odkrzanih čestica od *0.3 mm* do *1 mm*, tada se ovakav proces trošenja alata naziva krzanje, a ako su dimenzije čestica preko *1 mm* onda je reč o odlamanju odnosno odvaljivanju. Kraznje i odvaljivanje je čest pratilac prekidnog rezanja i rezanja materijala obradka visoke jačine i tvrdoće.

Na krzanje i odlamanje, odnosno na naponska stanja i preopterećenja u reznom klinu, utiču pored pomenutih karakteristika materijala, alata i obradka i uslovi obrade, režimi rezanja, geometrija odvalnog glodala i dr. To se manifestuje pojavom mikropukotina u vrlo kratkom vremenu rezanja. Posle pojave mikropukotine menja se naponska slika u reznom klinu do kritičnog stanja kada nastupa krzanje čestica i odlamanje delova sa reznih elemenata alata. Sem toga krzanje i odlamanje nastaju kada površina leđnog pojasa habanja dostigne određenu kritičnu vrednost posle koje otpočinje proces krzanja i odlamanja. Ovaj se slučaj može izbeći izborom kriterijuma pohabanosti h ispod ove kritične granice.

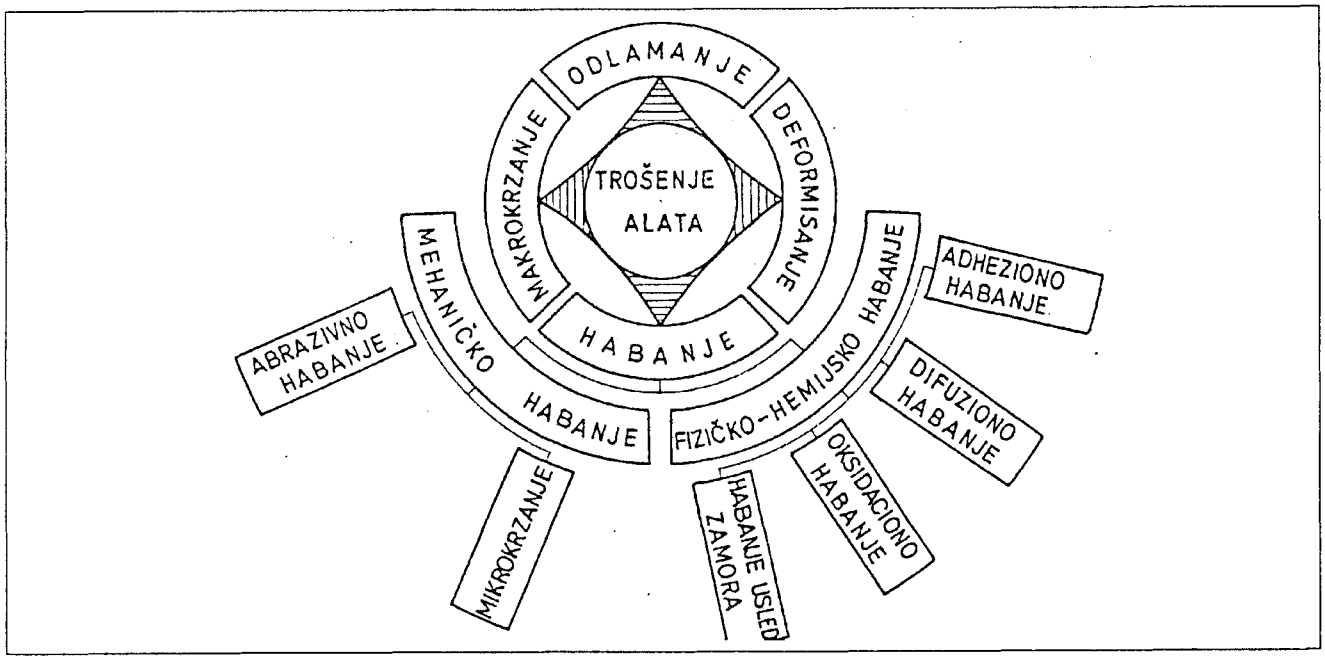
Plastična deformacija se javlja kao oblik trošenja alata u uslovima visokih toplotnih i mehaničkih opterećenja zuba odvalnog glodala u procesu obrade ozubljenja zupčanika.

Krzanje, odlamanje, plastična deformacija i habanje zuba odvalnog glodala mogu se donekle ublažiti izborom pogodnih uslova obrade i odgovarajućeg alata i dr., ali se nikako ne mogu sasvim izbeći, naročito pri obradi savremenih materijala visoke jačine, koju uvek prate visoke temperature i naponi u zoni rezanja. Zbog toga je neophodna, sa stanovišta pojave ovih vidova trošenja odvalnih glodala, maksimalna opreznost pri izboru uslova i režima obrade pri obradi ovakvih i sličnih materijala.

3. REZULTATI EKSPERIMENTALNIH ISTRAŽIVANJA

Zahvaljujući predusretljivosti zaposlenih u preduzeću, autorima ovog rada je za izvođenje eksperimentalnog dela istraživanja stavljen na raspolaganje celokupan fond mašina za obradu ozubljenja zupčanika metodom odvalnog glodanja kojim su raspolagali, uz želju da se pri izvođenju eksperimenata što manje ometa redovno odvijanje proizvodnje.

Eksperimentalna istraživanja vršena su na obradcima koji su se u datom momentu zatekli u redovnom procesu proizvodnje. Ovakav pristup obavljanju eksperimentalnih istraživanja zahteva minimalne troškove i omogućava da se dobiju rezultati koji u potpunosti odgovaraju proizvodnim uslovima u jednom pogonu obrade ozubljenja zupčanika. Dovoljno dugim praćenjem i sistematskim



Slika 1. Trošenje odvalnog glodala

prikupljanjem podataka o svim relevantnim parametrima odvalnog glodanja moguće je doći do niza korisnih podataka.

Odvalno glodanje je složen proces na koje deluje veliki broj uticajnih veličina [3]. Kako se u ovim istraživanjima kao obradci koristili zupčanici kod kojih je završna obrada ozubljenja brijanje, odnosno ljuštenje, pa se prema tome traži nešto veća geometrijska tačnost glodanog ozubljenja odabrano je da se obrada ozubljenja glodanjem izvede iz dva prolaza. Prvi prolaz, po pravilu istosmerni, ima zadatak da odstrani veću količinu materijala. Drugi prolaz treba da skidanjem malog dodatka za obradu obezbedi zadovoljavajuću geometrijsku tačnost ozubljenja, pa je on po pravilu suprotnosmeran. Brzina rezanja pri drugom prolazu birana je u granicama od *0.67 - 1 m/s*, odnosno *40 - 60 m/min*, a pomak je usvojen na osnovu maksimalno raspoloživog pomaka na mašinama i iznosio je od *6* do *7 mm/obrtu*. Ova vrednost pomaka daje talasastu površinu pogodnu za sledeću obradu ozubljenja brijanjem.

Početnim eksperimentima obuhvaćen je veći deo obradaka koji se u periodu istraživanja zatekao u proizvodnji.

Na osnovu ovih početnih istraživanja moglo se zapaziti sledeće:

- habanje glodala *h* je u većini eksperimenata bilo znatno manje od optimalnog,
- i pored ovako malog habanja odvalnog glodala, uticaj krzotina hmax je veoma izražen i velikom broju eksperimenata veličina krzotina je bila znatno veća od optimalne veličine habanja.

Iz ovog proističe zaključak da se pojavi krzotina treba posvetiti odgovarajuća pažnja, jer se tek njihovim odklanjanjem odvalna glodala mogu koristiti u potpunoj meri.

Pojava krzotina, koja je evidentirana u značajnoj meri u toku izvođenja eksperimenata, predstavljala je do sada jedan od limitirajućih faktora za povećanje režima rada.

O pojavi krzotina na odvalnim glodalima od brzoreznog čelika nema mnogo podataka u literaturi.

U toku izvođenja eksperimentalnog dela istraživanja, a i kod redovne eksploatacije odvalnih glodala, ova pojava je u posmatranom pogonu bila često prisutna. Krzotine su se pojavljivale u vidu nepravilnog odlamanja većih i manjih delića materijala alata i to po pravilu na prelazu

Tabela 1

Redni broj	Podaci o zupčaniku						Glodalo		Pomoći			Brzine		Habanje					Postupak			
	m	z_2	α	β	nxb	Mat	d_{gl}	i	s_{o1}	s_{o2}	s_{e2}	V_1	V_2	h	h_{max}	Krzot. U	I	I_v	T			
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
1.1	4,500	21	24	0	2x58	2	120	14	3,0	6,0	10,2	45	45	0,1	1,0										
.2									4,0	6,0	13,6	45	45	0,[illegible]										
.3																									
.4																									
2.1	4,75	21	20	0	2x28	2	120	14																	
.2																									
3.1	4,0	39	20	24	2x[illegible]																				
.2																									
4.1	3,7[illegible]																								
5.1	4,0																								
.2																									
6.1	4,5																								
.2																									
.3																									
7.1	4,5	50	1																						
.2																									
.3																									
.4																									

Tabela 1 - nastavak

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
14.1	4,618	20	20	20	24	1	100	10	3,0	7,0	13,3	50	75	0,05	0,05	0	0	SS	1,0	370	4,7	43	43
.2									4,0	7,0	17,7	55	97	0,1	0,2	0	0	SS	1,0	310	3,9	38	42
.3									3,0	7,0	13,3	63	124	0,05	0,25	1	0	SS	1,0	310	4,0	36	45
.4									4,0	7,0	17,7	50	75	0,1	0,1	0	0	SS	1,0	315	4,0	39	39
.5									4,0	7,0	17,7	63	110	0,05	0,2	1	0	SS	1,0	265	3,4	32	38
15.1	4,000	31	20	24	29	1	120	14	4,0	7,0	10,1	60	90	0,1	0,7	1	2	IS	1,0	320	5,5	53	86
.2									4,0	7,0	10,1	60	90	0,05	0,7	3	2	IS	1,0	320	5,5	51	86
.3									4,0	7,0	10,1	60	90	0,1	0,5	1	1	SS	1,0	380	5,5	52	70
.4									4,0	7,0	10,1	60	90	0,1	0,4	0	1	SS	1,0	380	5,5	52	66
.5									6,0	7,0	15,1	75	136	0,05	0,3	0	1	II	1,0	210	3,7	35	49
.6									6,0	7,0	15,1	75	136	0,3	0,7	2	1	II	1,0	210	3,7	49	72
.7									7,0	7,0	17,7	90	136	0,3	0,5	0	1	IS	0,7	270	3,1	37	45
16.1	4,000	33	20	24	26	1	120	14	2,5	6,0	5,9	41	41	0,3	0,8	2	3	II	1,0	700	12,2	120	147
.2									3,5	6,0	8,3	41	41	0,2	1,2	1	3	II	0,8	680	9,6	91	135
17.1	4,75	38	20	0	22	1	120	14	3,0	7,0	5,6	60	60	0,4	0,6	1	1	IS	1,3	430	7,2	84	94
.2									3,0	7,0	5,6	60	60	0,3	0,4	0	0	SS	1,3	410	7,2	79	85
.3									7,0	7,0	13,1	45	60	0,6	0,7	0	0	SS	0,8	425	5,2	67	71

Tabela 1 - nastavak

1	2	3	4	5	6	7
8.1	5,0	19	15	0	28	
9.1	5,25	36	20	12	37	
.2						
.3						
10.1	5,000	32	20	12		
.2						
11.1	5,08	27	20			
.2						
.3						
12.1	5,000	22				
.2						
.3						
.4						
.5						
.6						

* 1 - Č 4321/20MnCr 5/
2 - Č 5420/15CrNi6/

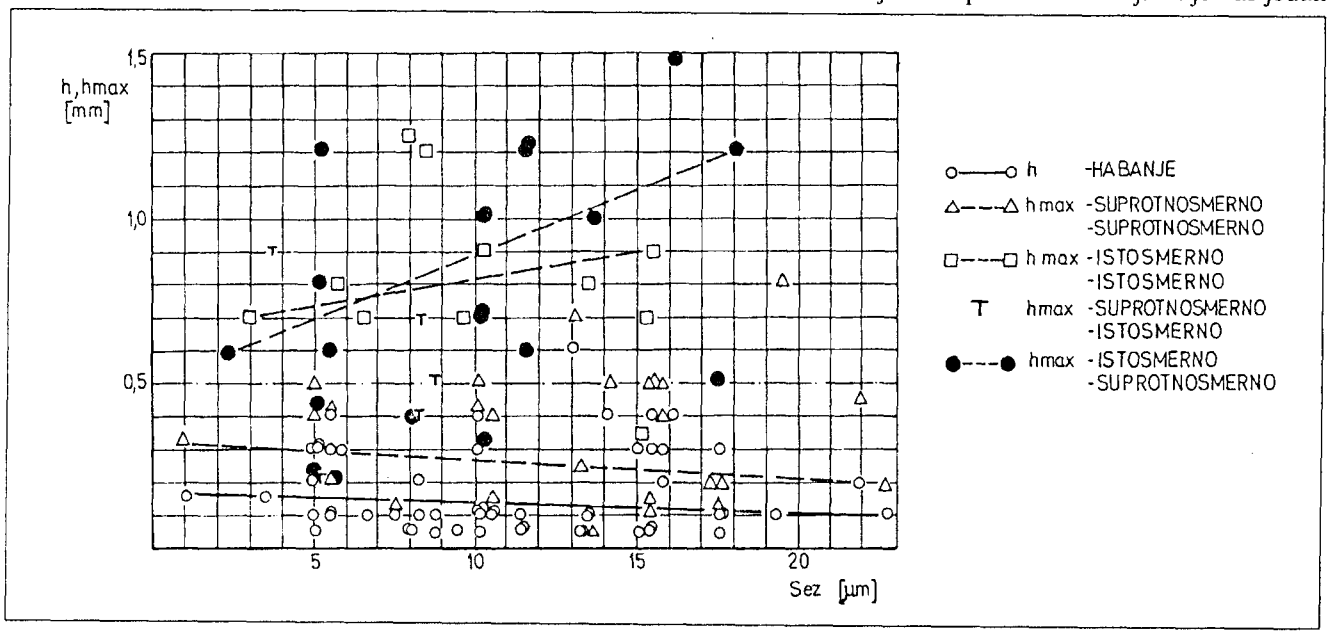
sa temenog na bočno sečivo. Pojava krzotina je uočena kako na ulaznom tako i na izlaznom boku zuba odvalnog glodala. Kod nekih odvalnih glodala zahvatila je gotovo sve zube u zahvatu, a kod nekih samo manji broj zuba.

Kako je pojava krzotina nepravilna pojava i po intenzitetu krzotina, a takođe i po broju krzotina koji se pojavljuje, odabran je sistem ocenjivanja ove pojave jednom od mogućih opisnih grupa:

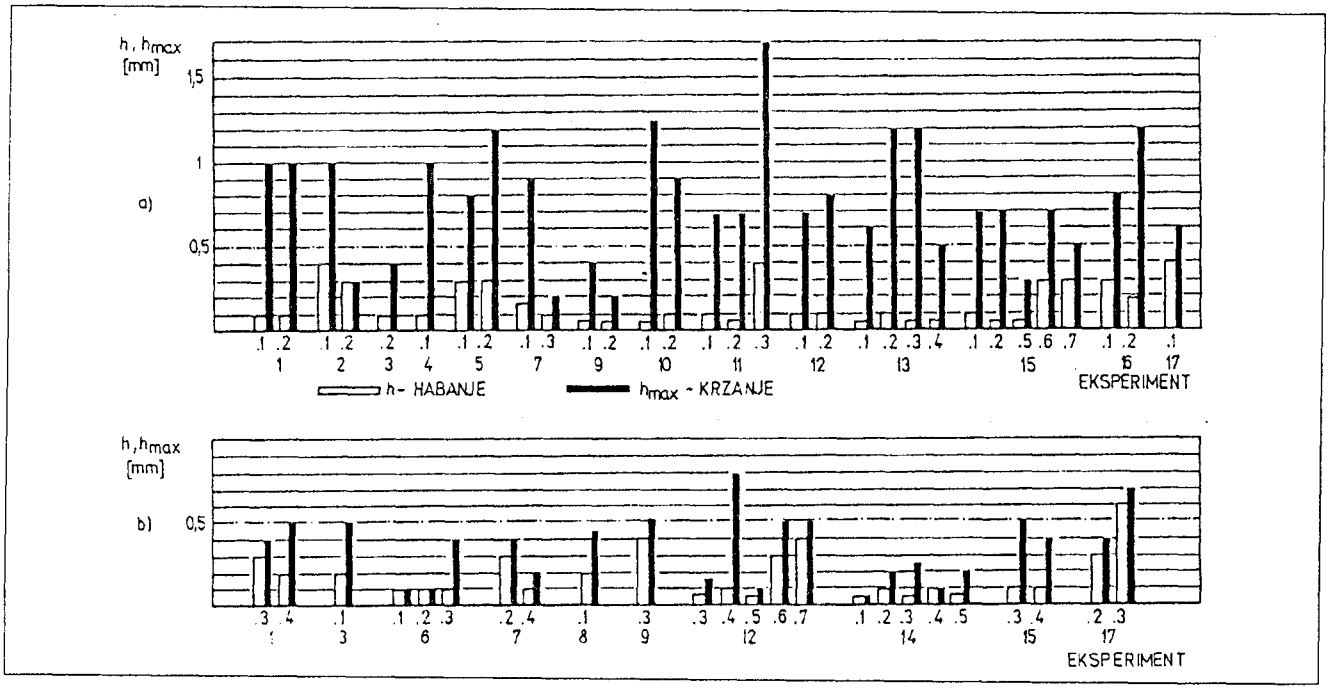
- nema krzotina 0
- neznatne krzotine 1
- srednje izražene krzotine 2
- izrazito velike i učestale krzotine 3

Da bi utvrdili kako na pojavu krzotina utiče postupak odvalnog glodanja u ovim istraživanjima svi rezultati su unešeni u dijagram: veličina habanja - jedinični efektivni pomak (sl.2.). Veličine habanja h unešene su jednim simbolom za sve eksperimente, dok su za veličinu koja karakteriše krzanje sečiva h_{max} korišćeni različiti simboli za različite kombinacije postupaka obrade ozubljenja odvalnim glodanjem. Iz dijagrama se uočava da je pojava krzotina znatno manje izražena kod suprotnosmernog postupka nego kod kombinacija gde se bar u jednom prolazu koristi istosmerni postupak glodanja ozubljenja.

Da bi se gornje ilustrovalo i na drugi način, sačinjen je pregled habanja i krzotina pri svim eksperimentima, u kome su razdvojeni eksperimenti u kojima je bar jedan

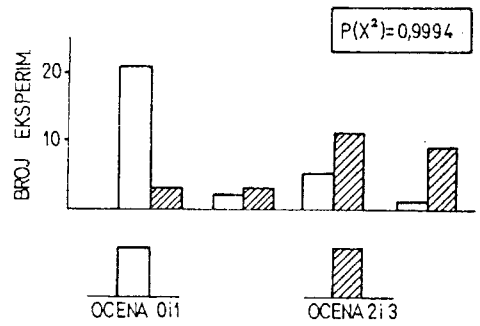


Slika 2. Habanje odvalnog glodala u zavisnosti od jediničnog efektivnog pomaka



Slika 3. Habanje odvalnog glodala u zavisnosti od postupka obrade ozubljenja

OCENA KRZOTINA	POSTUPAK OBRADE			
	SS	SI	IS	II
0	14	0	2	0
1	7	2	3	1
2	2	2	3	3
3	1	1	8	6

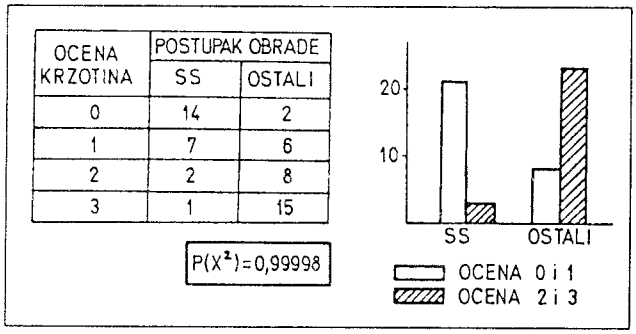


Slika 4. Međusobna zavisnost pojave krzotina od primenjenih postupaka obrade ozubljenja

prolaz bio istosmeran od eksperimenata gde su oba prolaza bila suprotnosmerna (sl.3).

Da bi se međusobna zavisnost krzotina i primenjene kombinacije postupaka odvalnog glodanja ozubljenja zupčanika zamenila iskazom, analitičkim putem sačinjena je tabela međusobne zavisnosti i primenjen program za testiranje međusobne zavisnosti. Rezultat ovog testa prikazan je na slici 4. Dobivena vrednost funkcije raspodele X^2, varijable $P(X^2) = 0.9994$ ukazuje na veoma jaku vezu ove dve veličine.

OCENA KRZOTINA	POSTUPAK OBRADE	
	SS	OSTALI
0	14	2
1	7	6
2	2	8
3	1	15

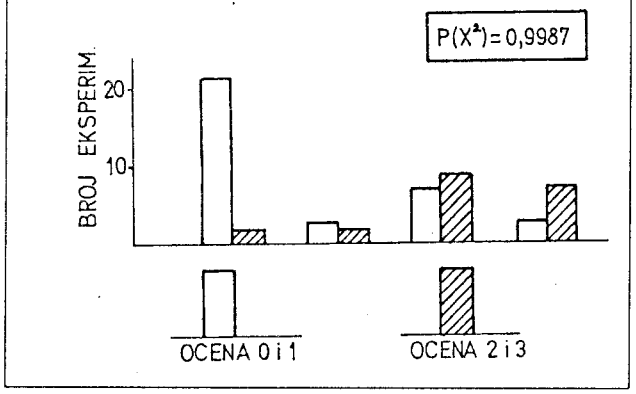


Slika 5. Međusobna zavisnost pojave krzotina i suprotnosmernih postupaka i ostalih postupaka obrade ozubljenja odvalnim glodanjem

Tabela u kojoj je razvrstanje izvršeno tako da su svi eksperimenti u kojima se javlja bar jedan istrosmerni prolaz svrstani u jednu grupu i njeno testiranje (Sl.5) ukazuje na još jaču međusobnu zavisnost $P(x)^2=0.99998$.

Na slikama 6. i 7. prikazani su rezultati analize uticaja postupka obrade ozubljenja na pojavu krzotina razdvojeno za ulazni i izlazni bok odvalnog glodala.

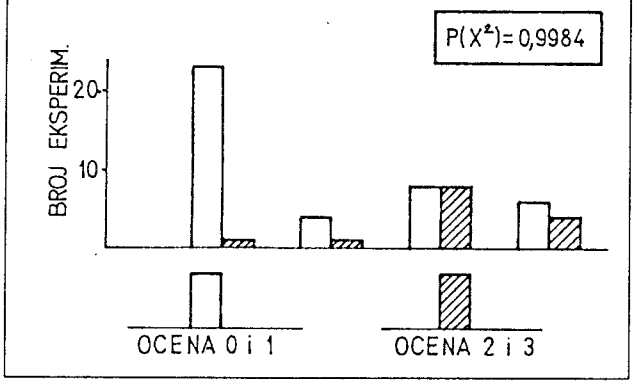
OC.KRZOTINA ULAZNI BOK	POSTUPAK OBRADE			
	SS	SI	IS	II
0	17	0	4	2
1	5	3	3	1
2	1	1	3	5
3	1	1	6	2



Slika 6. Međusobna zavisnost krzanja ulaznog boka odvalnog glodala i postupaka obrade ozubljenja

Na osnovu rezultata istraživanja može se zaključiti da kod istosmernog glodanja, bez obzira u kom se prolazu ono primenjuje, dolazi do pojave krzotina i to kako na ulaznom tako i na izlaznom boku reznog elementa odvalnog glodala. Ova zakonitost se donekle može objasniti tumačenjem da kod odvalnog glodanja ozubljenja zupčanika sa kosim zupcima i kod primene istosmernih smerova zavojnice odvalnog glodala i obradka suprotnosmerni postupak glodanja daje oblik strugotinje koji manje pogoduje pojavi krzotina na prelazu sa temena na

OC.KRZOTINA IZLAZNI BOK	POSTUPAK OBRADE			
	SS	SI	IS	II
0	16	3	5	2
1	7	1	3	4
2	1	1	6	0
3	0	0	2	4



Slika 7. Međusobna zavisnost krzanja izlaznog boka odvalnog glodala i postupaka obrade ozubljenja

izlazno sečivo alata. Ali činjenica da je suprotnosmerno glodanje povoljnije i kod obrada ozubljenja zupčanika sa pravim zupcima i da kod istosmernog glodanja dolazi do pojave krzotina na oba boka, traži još objašnjenja i istraživanja.

4. ZAKLJUČCI

Na osnovu izvedenih eksperimentanih istraživanja i njegove analize mogu se doneti sledeći zaključci:

1. Pojava krzanja reznih ivica odvalnih glodala je prisutna u znatnoj meri i veoma nepovoljno utiče na ukupne troškove izrade ozubljenja zupčanika odvalnim glodalom.
2. Pojava krzotina je znatno prisutnija kod eksperimenata gde je korišćeno istosmerno odvalno glodanje ozubljenja zupčanika.

LITERATURA

[1.] *Barrov, G.*: **Wear of cutting tools**, Tribology, 5, No 1., 1972.

[2.] *Sulzer, G.*, **Leistungsstrigerung bei der Zylinderrodherstellung durch genaue Erfassung der Zerspankinematik**, Diss., TH Aachen, 1973.

[3.] *Grupa autora:* **PFAUTER - Wallzfrasen**, Teil 1, Springer, Verlag Berlin (Heidenberg), New York, 1976.

[4.] *Mitrović, R.*: **Modelsko ispitivanje procesa odvalnog glodanja**, Disertacije, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1977.

[5.] *Prapotnik, B.*, **Eksperimentalno utvrđivanje optimalnih parametara rada odvalnim glodalima**, Magistarski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1982.

[6.] *Stanić, J.*: **Teorija obrade metala I**, Mašinski fakultet, Beograd, 1986.

[7.] *Sovilj, B.*, **Identifikacija triboloških procesa pri odvalnom gloda-nju**, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1988.

Influence of the Toothing Machining Procedures on Appearance of Grumbling of Hob Milling Tool Cutting Elements

Contemporary technical development of cylindrical gears manufacturing is aimed in two basic directions: increase of economic efficiency of corresponding method of toothing machining, and, simultaneously, improvement of produced gear quality. Achievement of these, mainly contradictory, requirements represents a very complex task.

Development of transportation means, special industrial and civil engineering machines, at one side, and development of the driving aggregates, at the other, had lead to appearance of different designs of the power and torque transmitters, among which the significant place belongs to gear transmitters. Improvement of the hob milling process is important and useful, for both manufacturing of gears and the hob milling tools. For manufacturers of gear transmitters is of a special importance to know the method of toothing machining.

In the paper is, based upon experimental investigation of toothing, determined the influence of the toothing machining procedure on appearance of crumbling of the cutting elements of hob milling tools.

Воздействие способа обработки зубчатых колес на возникновение зазубрин на режущих кромках червячных фрез.

Современное развитие производства цилиндрических зубчатых колес ориентировано в двух основных направлениях - на повышение экономичности соотвествующего метода нарезания зубьев и на одновременное улучшение качества получаемых зубчатых колес. Выполнение этих, в сущности противоположных требований,является весьма сложной задачей. Развитие транспортных средств, специальных промышленных и строительных машин с одной стороны и развитие силовых агрегатов с другой, обусловило разработку различных конструкций передач усилий и моментов вращения среди которых особое место занимают шестерни. Усовершенствование червячного фрезерования значитель но полезно как для заводов изготовителей зубчатых колес так и для производителей червячных фрез.Подробное знание методов нарезания зубьев осбенно важно изготовителям зубчатых колес.

На основании опытных данных авторы работы установили воздействие способа обработки зубчатых колес на появление зазубрин на режущих элементах червячных фрез.

UDK 621.9:531.43

P. DAŠIĆ

Primeri analize različitih funkcija raspodele otkaza reznog alata

ISTRAŽIVANJA

Rezni alat spada u grupu podsistema u okviru obradnog sistema čiji otkazi prouzrokuju zastoje u radu čitavog sistema. Za povećanje pouzdanosti obradnog sistema neophodno je i povećanje pouzdanosti reznog alata. Na osnovu saznanja iz teorije obrade metala, može se konstatovati da otkazi reznog alata u okviru obradnog sistema zavise od čitavog niza faktora i da predstavljaju vrlo kompleksnu pojavu. Takođe može se zaključiti da vreme do otkaza reznog alata nije konstantno već predstavlja slučajnu veličinu koja se može prognozirati primenom poznatih metoda statistike i verovatnoće. Cilj primene statističkih metoda je, da za dobijene eksperimentalne podatke praćenja otkaza reznog alata u fazi realne eksploatacije, utvrdi teorijski zakon raspodele kojim se najbolje aproksimiraju eksperimentalni podaci. U radu su dati primeri analize Weibull-ove, normalne i eksponencijalne funkcije raspodele otkaza reznog alata.

Ključne reči: pouzdanost, rezni alat, obradni sistem

1. UVOD

Pouzdanost obradnog sistema, napr. struga sa numeričkim upravljanjem, sastoji se od pouzdanosti podsistema [1]: mašine alatke, reznog alata i pomoćnog pribora, koji su povezani serijski ili redno, tj. u nizu. Za razliku od obradnih sistema, kod tehnoloških i proizvodnih sistema, veza između pojedinih komponenata, može biti: osim redne i paralelna, mešovita itd. U radu [2] dat je primer analize jednog proizvodnog sistema, tj. proizvodne linije, sa mešovitom vezom (kombinacija rednih i paralelnih veza).

Danas je svakako interesantno proučavanje pouzdanosti savremenih obradnih i tehnoloških sistema: NUMA, KNUMA, DNU, AdNUMA, FTS i sl., i to kako ukupnog sistema tako i njegovih komponenata.

Rezni alat spada u grupu podsistema (celina), u okviru obradnog sistema, čiji otkazi prouzrokuju zastoje u radu čitavog sistema. Ujedno se, na osnovu saznanja iz teorije obrade metala, može konstatovati da otkazi reznog alata u okviru obradnog sistema zavise od čitavog niza faktora i da predstavljaju vrlo kompleksnu pojavu. Pri tome se može zaključiti da vreme do otkaza reznog alata nije konstantno već predstavlja slučajnu veličinu koju možemo prognozirati.

Primenom poznatih statističkih metoda, a na osnovu praćenja otkaza reznog alata u fazi realne eksploatacije, moguće je utvrditi teorijski zakon raspodele kojim se najbolje aproksimiraju eksperimentalni podaci. Pri tome se u oblasti pouzdanosti reznog alata najčešće sreću sledeći teorijski zakoni raspodele: eksponencijalni, normalni, log-normalni, gama, Weibull-ov, Poason-ov, Rayleigh-ejev i zakon raspodele minimalnih ili maksimalnih vrednosti tipa I. Saglasnost izabranog teorijskog zakona raspodele sa eksperimentalnim podacima proverava se pomoću neparametarskih testova: Pearsona, Romanovskog, Kolmogorova, Kolmogorov-Smirnova i Misesa.

2. VRSTE OTKAZA REZNOG ALATA

Pod otkazom (kvarom) reznog alata podrazumeva se događaj koji ima za posledicu gubitak radne sposobnosti. Pri tome otkazi reznog alata mogu biti:

- otkazi sa mogućnošću obnavljanja radnih sposobnosti reznog alata, koje se mogu realizovati: oštrenjem reznih delova alata kod reznih alata od brzoreznog čelika, ponovnim lemljenjem reznih delova alata, regeneracijom i prevlačenjem izmenljivih pločica od tvrdog metala, uvođenjem u rad novog sečiva ili drugih delova alata pomoću popravke držača alata ili drugih delova alata i sl. i
- otkazi bez mogućnosti obnavljanja radnih sposobnosti reznih alata tj. otkazi koji izazivaju neophodnost otpisa reznog alata.

Otkazi reznog alata mogu se dogoditi kod:

- reznih delova alata,
- delova za mehaničko pričvršćivanje i stezanje izmenljivih pločica ili lemljenih spojeva,
- kućišta alata odn. držača pločice ili nosača alata itd.

Mr Predrag Dašić,
Viša tehnička mašinska škola u Trsteniku

Međutim, treba napomenuti, da ipak preovladavaju otkazi reznih delova alata.

Kriterijum otkaza reznog alata označava vremenski trenutak posle kojeg je neophodno zameniti rezni alat, a određuje se u zavisnosti od zahteva obrade za ostvarenje konkretne tehnološke operacije. Neophodnost zamene reznog alata može biti izazvana različitim uticajima: povećanim intezitetom habanja reznog alata, dostizanjem veličine dozvoljenog habanja reznog alata, krzanjem i plastičnim razaranjem reznih ivica alata, povećanjem hrapavosti obrađene površine odn. pogoršanjem kvaliteta obrađene površine, promenom dimenzija obratka, povećanjem sile i temperature rezanja, promenom u izgledu strugotine itd.

Kod operacija grube obrade, kriterijum otkaza reznog alata se obično formira na osnovu maksimalnog veka trajanja alata, prema uslovima racionalne proizvodnje, na osnovu povećane vrednosti sile rezanja ili temperature rezanja i sl.

Kod operacija završne obrade, kod kojih treba da se postigne odgovarajući kvalitet obrađene površine i određena tačnost mera, kriterijum otkaza reznog alata se definiše preko veličine parametara habanja do kojih je moguće dozvoliti proces habanja a da se ne prekorače dozvoljene granice kvaliteta obrade, parametara hrapavosti, tačnosti obratka, tolerancija mera i sl.

Analiza uzroka pojave navedenih otkaza reznog alata pokazuje da se svi otkazi reznog alata mogu podeliti na:

- postepene ili očekivane otkaze i
- iznenadne ili neočekivane otkaze.

Postepeni otkazi reznog alata nastupaju posle dostizanja dozvoljenih veličina habanja reznog alata, parametara hrapavosti obrađene površine, dimenzija obratka i sl.

Iznenadni otkazi reznog alata, po pravilu, nastupaju usled krzanja i plastičnog razaranja reznih ivica alata. Struktura i vrste otkaza reznog alata zavise od fizičko-mehaničkih svojstava alatnog materijala, tipa proizvodnje, stabilnosti tehnološkog procesa, osnovnih karakteristika reznog alata (forma, geometrija, dimenzije i hrapavost reznog alata, koji trebaju biti optimalni za zadate uslove obrade) itd.

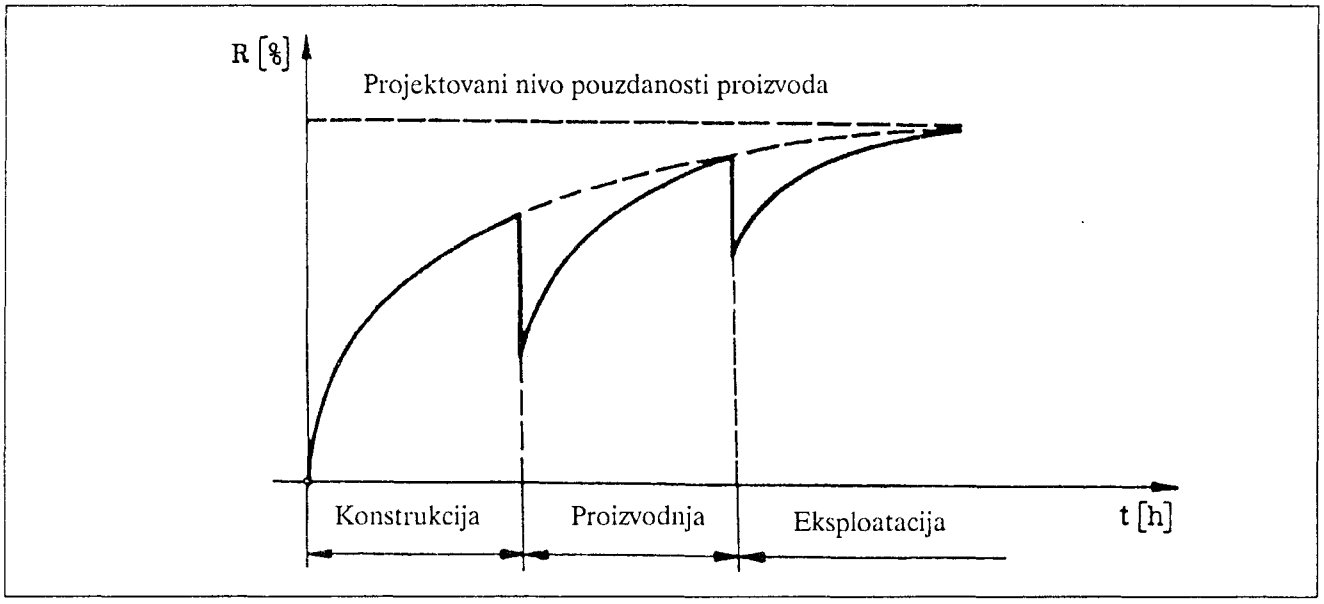
Obezbeđenje zahtevane pouzdanosti reznog alata predstavlja neprekidni proces, koji obuhvata, i ujedno zavisi od sledećih faza: konstrukcije, proizvodnje ili izrade i eksploatacije reznog alata (sl.1).

Faza konstrukcije obuhvata u sebi dve etape, i to:

- određivanje uslova eksploatacije izabranog reznog alata
- određivanje osnovnih karakteristika reznog alata za izvesne uslove eksploatacije istog i zahtevanu obradu.

Otkazi u fazi konstrukcije izazvani su znatnim sniženjem pouzdanosti, tj. pojavom grubih grešaka pri konstrukciji i tehnologiji istog. Ove greške se postepeno ispravljaju, otkrivaju i otklanjaju većinom u fazi probne proizvodnje reznog alata.

U fazi probne proizvodnje reznog alata, za početne količine proizvodnje mogu se dati preporuke o pouzdanosti reznog alata u narednoj fazi serijske proizvodnje. Međutim, ukoliko se uslovi serijske proizvodnje značajno razlikuju od uslova probne proizvodnje to će početak proizvodnje neminovno pratiti pad pouzdanosti. Mogući uzroci ove pojave su: nepridržavanje konstrukcione i tehnološke dokumentacije pri proizvodnji reznog alata, nedovoljna prilagođenost pripreme uslovima serijske proizvodnje i, najčešće, nedovoljna pažnja kod operacija kontrole proizvoda. U takvim situacijama ni teorijska obrazloženja konstruktorovih zamisli, ni visok nivo konstrukcije i tehnologije ne pomažu ako odgova-



Slika 1. Zavisnost projektovanog nivoa pouzdanosti reznog alata od konstrukcije, proizvodnje i eksploatacije istog

rajuća organizacija serijske proizvodnje ne obezbeđuje pouzdan rad. Sticanjem iskustava, izvođenjem korektivnih aktivnosti, povećanjem efikasnosti kontrole tehnološkog procesa pouzdanost raste težeći ka nivou potencijalno svojstvenom konkretnoj konstrukciji.

Strogo gledano u procesu proizvodnje reznog alata je nemoguće u potpunosti izbeći pad pouzdanosti u odnosu na predviđeni nivo. Taj pad se samo može svesti na minimum. Korišćenjem informacija dobijenih iz procesa proizvodnje potencijalna pouzdanost reznog alata se može povisiti. Pored povećanja teorijskog nivoa moguće je povećanje i stvarne pouzdanosti reznog alata. Razlika potencijalne i stvarne pouzdanosti u početku proizvodnje reznog alata je veoma velika. Analiza informacija o otkazima iz perioda eksploatacije početnih količina reznog alata iz serijske proizvodnje pokazuje da znatan deo od ukupnog broja otkaza nastaje zbog propusta u fazi proizvodnje reznog alata.

Sniženje nivoa pouzdanosti reznog alata u početnoj fazi eksploatacije objašnjava se činjenicom da su oni za rukovaoce i održavaoce novi, još potpuno neosvojeni. Pored toga, u početnoj fazi eksploatacije su uobičajene dorade usmerene ka olakšanju kontrole i održavanja, bržem vraćanju iz stanja U OTKAZU u stanje U RADU odn. bržem obnavljanju, poboljšanju dijagnostike tehničkog stanja i dr.

3. OSNOVNI POKAZATELJI POUZDANOSTI REZNOG ALATA

Osnovni pokazatelji pouzdanosti reznog alata su (3-7):

- funkcija pouzdanosti ili verovatnoća bezotkaznog rada tj. ispravnog funkcionisanja sistema $R(t)$;
- funkcija nepouzdanosti ili verovatnoća pojave otkaza $F(t)$;
- funkcija učestanosti (gustine) otkaza ili učestanost pojave otkaza $f(t)$ i
- funkcija inteziteta (brzine) otkaza ili brzina pojave otkaza $\lambda(t)$.

Ako je poznata jedna od četiri navedene karakteristike pouzdanosti lako se mogu odrediti ostale tri. Pouzdanost reznog alata može da se okarakteriše i numeričkim parametrima. Najznačajniji od tih parametara su vreme bezotkaznog rada T za određenu verovatnoću i tzv. "Srednje vreme bezotkaznog rada" ili "Srednje vreme između otkaza" - ("Mean Time Between Failures", skraćeno MTBF ili $\overline{T}$). Pri tome, $\overline{T}$ predstavlja srednje vreme rada neke funkcionalne komponente između uzastopnih otkaza, pod određenim uslovima.

Navedeni osnovni pokazatelji pouzdanosti reznog alata mogu poslužiti za određivanje:

- perioda zamene reznog alata u automatizovanoj proizvodnji,
- utroška i potrebnog broja reznog alata za obradu serije,
- optimalnih režima rezanja pri obradi delova,
- kvaliteta reznog alata i sl.

Zakon raspodele može biti zadat u vidu funkcije raspodele $F(t)$ koja predstavlja verovatnoću da će se otkaz desiti do momenta vremena t, odn. verovatnoću da vreme bezotkaznog rada ne prelazi neku vrednost t:

$$F(t) = P\{T \leq t\} \tag{1}$$

Očito je, da je pri $t=0$ vrednost $F(0)=0$, a pri $t \rightarrow \infty$ veličina $F(\infty)$ teži jedinici odn. $F(\infty)=1$.

Verovatnoća bezotkaznog rada ili funkcija pouzdanosti je komplement funcije nepouzdanosti i može se predstaviti sledećom jednačinom:

$$R(t) = 1 - F(t) = P\{T \geq t\} \tag{2}$$

Funkcija gustine otkaza izračunava se prema jednačini:

$$f(t) = F'(t) = -R'(t) \tag{3}$$

a funkcija inteziteta otkaza definiše se kao:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \tag{4}$$

Za definisanje i izbor teorijskih zakona raspodele za verodostojnu interpretaciju eksperimentalnih podataka polazi se od hipoteze o mogućem matematičkom modelu funkcija kriterijuma. Postupak analize pouzdanosti reznog alata obuhvata sledeće faze:

- izračunavanje osnovnih eksperimentalnih pokazatelja pouzdanosti,
- identifikaciju teorijskog zakona raspodele,
- izračunavanje teorijskih pokazatelja pouzdanosti i
- proveru saglasnosti izabranog teorijskog zakona raspodele sa eksperimentalnim podacima pomoću neparametarskih testova.

Postupak i algoritam određivanja funkcije pouzdanosti reznog alata koja najbolje aproksimira eksperimentalne podatke dati su u radovima [3-6], a program je realizovan u programskim jezicima Turbo PASCAL i FORTRAN.

4. PRIMER WEIBULL-OVE FUNKCIJE RASPODELE OTKAZA REZNOG ALATA

Za nesimetričan raspored eksperimentalnih podataka, primenjuje se Weibull-ov zakon raspodele kod koga funkcija raspodele ima oblik:

$$F(t) = 1 - e^{-(t/\eta)^{\beta}} \tag{5}$$

pa je funkcija pouzdanosti:

$$R(t) = e^{-(t/\eta)^{\beta}} \tag{6}$$

Funkcija gustine otkaza iznosi:

$$f(t) = \left(\frac{\beta}{\eta}\right)\cdot\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}\cdot e^{-(t/\eta)^{\beta}} \qquad (7)$$

a funkcija inteziteta otkaza:

$$\lambda(t) = \left(\frac{\beta}{\eta}\right)\cdot\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \qquad (8)$$

Srednje vreme bezotkaznog rada preko gama funkcije iznosi:

$$\bar{T} = \eta\cdot\Gamma[(1/\beta)+1] \qquad (9)$$

Kao primer Weibull-ovog zakona raspodele otkaza reznog alata posmatrana je operacija struganja (zahvat spoljašnjeg konturnog struganja) zupčanika na CNC strugu MD 10S sa kontinualnom promenom broja obrtaja i koraka i pogonskom snagom mašine od *40 [KW]*. Materijal obratka bio je čelik Č.5421 žaren na dobru obradljivost. Rezni alat za obradu struganjem bila je izmenljiva pločica od tvrdog metala: držač pločice PDJNL 3225P 15 i izmenljiva pločica DNMG 150612 PGP015 firme PP-Corun sa poluprečnikom zaobljenja vrha alata $r=1.2$ *[mm]*. Elementi režima rezanja bili su: dubina rezanja $a=0.5$ *[mm]*, broj prolaza $i=1$, brzina rezanja $v=260$ *[m/min]* i korak $s=0.2$ *[mm/o]*, pri čemu je glavno mašinsko vreme $tg=0.35$ *[min]*. Obrada je realizovana sa sredstvom za hlađenje i podmazivanje.

U toku obrade praćeni su otkazi reznog alata od tvrdog metala, pri čemu je kriterijum zatupljenja bio tehnološki, vezan za pogoršanje kvaliteta obrađene površine (zahtevana hrapavost obrađene površine bila je $R_a=1.6$ [μm]). Otkazi reznog alata od tvrdog metala registrovani su i kao posledica otežanih uslova obrade ili pri promeni oblika strugotine. Eksperiment je realizovan u proizvodnim uslovima Industrije "14. oktobar" u Kruševcu, kod veličine uzorka $n=30$. Vreme bezotkaznog rada reznog alata od tvrdog metala t mereno je u *[min]* i kretalo se od *13.3 [min]* do *19.25 [min]*, a predstavlja proizvod broja obrađenih komada posle kojih je izvršena zamena izmenljive pločice od tvrdog metala izraženo u *[kom/seč]* i glavnog mašinskog vremena t_g. Rezultati praćenja otkaza reznog alata od tvrdog metala grupisani su u šest podjednakih intervala tzv. grupnih intervala, kako je to učinjeno u tabeli 1 [1, 4, 6].

Pomoću metode najmanjih kvadrata izračunati su parametri Weibull-ovog zakona raspodele: $\beta=12.6202$ i $\eta=16.4777$. Pa se na osnovu parametara β i η mogu lako formirati funkcije osnovnih teorijskih pokazatelja pouzdanosti, i to u obliku:

- funkcije pouzdanosti:

$$R(t) = e^{-(t/16.4777)^{12.6202}} \qquad (10)$$

- funkcije nepouzdanosti:

$$R(t) = 1 - e^{-(t/16.4777)^{12.6202}} \qquad (11)$$

- funkcije gustine otkaza:

$$f(t) = 0.7659\cdot\left(\frac{t}{16.4777}\right)^{11.6202}\cdot e^{-(t/16.4777)^{12.6202}} \qquad (12)$$

- funkcije intenziteta otkaza:

$$\lambda(t) = 0.7659\cdot\left(\frac{t}{16.4777}\right)^{11.6202} \qquad (13)$$

Tabela 1. Rezultati praćenja otkaza reznog alata od tvrdog metala pri obradi struganjem čelika Č.5421 grupisani u šest podjednakih intervala

R.br. interv.	Grupni intervali	Sredina intervala t_{mi}	Frekvencija otkaza Δn	Kumulativna frek. otkaza N(t) 1.
2.	14.25 - 15.25	14.75	3	6
3.	15.25 - 16.25	15.75	7	13
4.	16.25 - 17.25	16.75	10	23
5.	17.25 - 18.25	17.75	4	27
6.	18.25 - 19.25	18.75	3	30

Dok je srednje vreme bezotkaznog rada reznog alata od tvrdog metala $\bar{T} = 15.8142$ *[min]*, a napr., vreme bezotkaznog rada za verovatnoću *90%* je $T_{90\%}=13.7866$ *[min]*.

Hipoteza o Weibull-ovom zakonu raspodele prihvata se, za nivo značajnosti $\alpha=10\%$, na osnovu testa Pearsona pošto je:

$$\chi^2 = 1.74236 < \chi^2_{kr} = 2.706 \qquad (14)$$

Grafički prikaz teorijskih pokazatelja Webull-ovog modela pouzdanosti reznog alata od tvrdog metala, uporedo sa eksperimentalnim pokazateljima, dat je na sl.2.

5. PRIMER NORMALNE FUNKCIJE RASPODELE OTKAZA REZNOG ALATA

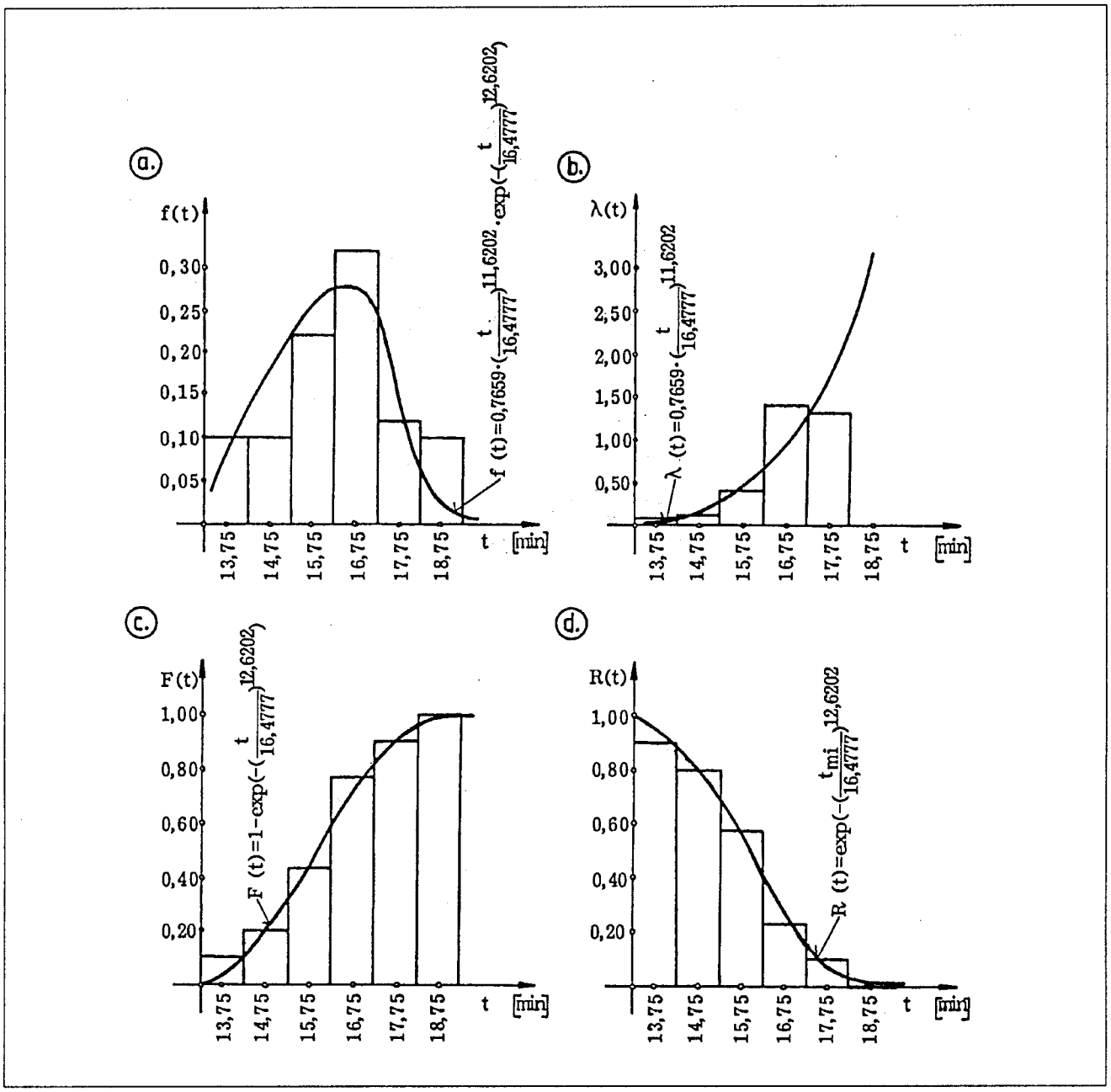
Za simetričan raspored eksperimentalnih podataka, odn. kod slučajeva postepenih otkaza koji nastaju zbog tzv. "starenja", primenjuje se normalan zakon raspodele otkaza reznog alata kod koga funkcija raspodele ima oblik:

$$F(t) = 0.5 + \Phi\left(\frac{t-\bar{t}}{\sigma}\right) \qquad (15)$$

pa je funkcija pouzdanosti:

$$R(t) = 0.5 - \Phi\left(\frac{t-\bar{t}}{\sigma}\right) \qquad (16)$$

Funkcija gustine otkaza iznosi:



Slika 2. Grafički prikaz osnovnih pokazatelja Weibull-ovog modela pouzdanosti reznog alata od tvrdog metala

$$f(t) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(t-\bar{t})^2}{2 \cdot \sigma^2}} \qquad (17)$$

i funkcija inteziteta otkaza:

$$\lambda(t) = \frac{\frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(t-\bar{t})^2}{2 \cdot \sigma^2}}}{0.5 - \Phi\left(\frac{t-\bar{t}}{\sigma}\right)} \qquad (18)$$

Srednje vreme bezotkaznog rada iznosi:

$$\bar{T} = \bar{t} \qquad (19)$$

Kao primer normalnog zakona raspodele otkaza reznog alata posmatrana je operacija struganja (zahvat spoljašnjeg poprečnog struganja) zupčanika na univerzalnom strugu D-480. Materijal obratka bio je čelik Č.4721 kaljen na tvrdoću 58-60 HRC. Rezni alat za obradu struganjem bila je izmenljiva pločica od mešane keramike: držač pločice CCLNR 2525M 16 i izmenljiva pločica CNGN 160812T02020 SH1 firme SPK Feldmuhle sa poluprečnikom zaobljenja vrha alata $r=1.2$ *[mm]*. Elementi režima rezanja bili su: dubina rezanja $a=0.5$ *[mm]*, broj prolaza $i=1$, broj obrtaja $n=280$ *[o/min]*, odn. brzina rezanja $v=68.61\text{-}95$ *[m/min]* i korak $s=0.16$ *[mm/o]*, pri čemu je glavno mašinsko vreme $t_g=0.66964$ *[min]*. Obrada je realizovana bez sredstvom za hlađenje i podmazivanje.

U toku obrade praćeni su otkazi reznog alata od keramike, pri čemu je kriterijum zatupljenja bio tehnološki, vezan za pogoršanje kvaliteta obrađene površine (zahtevana hrapavost obrađene površine bila je $R_a=0.8$ *[μm]*).

Otkazi reznog alata od keramike registrovani su i kao posledica otežanih uslova obrade ili pri promeni oblika strugotine. Eksperiment je realizovan u proizvodnim uslovima Industrije "14. oktobar" u Kruševcu, kod veličine uzorka $n=27$. Vreme bezotkaznog rada reznog alata od keramike t mereno je u *[min]* i kretalo se od *12.0536 [min]* do *19.4196 [min]*. Rezultati praćenja otkaza reznog alata od keramike grupisani su u šest podjednakih intervala, kako je to učinjeno u tabeli 2 [1, 4].

Tabela 2 Rezultati praćenja otkaza reznog alata od keramike pri obradi struganjem čelika Č.4721 grupisani u šest podjednakih intervala

R.br. interv.	Grupni intervali	Sredina intervala t_{mi}	Frekvencija otkaza Δn	Kumulativna frek. otkaza N(t)
1.	12.00 - 13.25	12.625	2	2
2.	13.25 - 14.50	13.875	5	7
3.	14.50 - 15.75	15.125	8	15
4.	15.75 - 17.00	16.375	6	21
5.	17.00 - 18.25	17.625	4	25
6.	18.25 - 19.50	18.875	2	27

Pomoću metode najmanjih kvadrata izračunati su parametri normalnog zakona raspodele: $\bar{t}=15.0383$ i $\sigma=1.7337$. Pa se na osnovu parametara $\bar{t}$ i σ mogu lako formirati funkcije osnovnih teorijskih pokazatelja pouzdanosti, i to u obliku:

- funkcije pouzdanosti:

$$R(t) = 0.5 - \Phi\left(\frac{t - 15.03830}{1.7337}\right) \tag{20}$$

- funkcije nepouzdanosti:

$$F(t) = 0.5 + \Phi\left(\frac{t - 15.03830}{1.7337}\right) \tag{21}$$

- funkcije gustine otkaza:

$$f(t) = 0.2876 \cdot e^{-\frac{(t-15.0383)^2}{6.0114}} \tag{22}$$

- funkcije intenziteta otkaza:

$$\lambda(t) = \frac{0.2876 \cdot e^{-\frac{(t-15.0383)^2}{6.0114}}}{0.5 - \Phi\left(\frac{t - 15.03830}{1.7337}\right)} \tag{23}$$

Dok je srednje vreme bezotkaznog rada reznog alata od keramike $\bar{T} = 15.0383$ *[min]*, a napr. vreme bezotkaznog rada za verovatnoću *90%* je $T_{90\%}=12.8192$ *[min]*.

Hipoteza o normalnom zakonu raspodele prihvata se, za nivo značajnosti $\alpha=5\%$, na osnovu testa Pearsona pošto je:

$$\chi^2 = 2.91496 < \chi^2_{kr} = 3.841 \tag{24}$$

Grafički prikaz teorijskih pokazatelja normalnog modela pouzdanosti reznog alata od keramike, uporedo sa eksperimentalnim pokazateljima, dat je na slici 3.

6. PRIMER EKSPONENCIJALNE FUNKCIJE RASPODELE OTKAZA REZNOG ALATA

Za normalan rad komponenti sistema ili rad komponenti sistema sa konstantnim intezitetom otkaza:

$$\lambda(t) = \lambda = const. \tag{25}$$

kod kojih otkazi nastupaju iznenadno, odn. ne zavise od toga koliko se komponenta sistema nalazila u eksploataciji i kakvo je njeno stanje, primenjuje se eksponencijalni zakon raspodele, kod kojeg funkcija raspodele ima oblik:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda \cdot t} \tag{26}$$

pa je funkcija pouzdanosti:

$$R(t) = e^{-\lambda \cdot t} \tag{27}$$

a funkcija gustine otkaza:

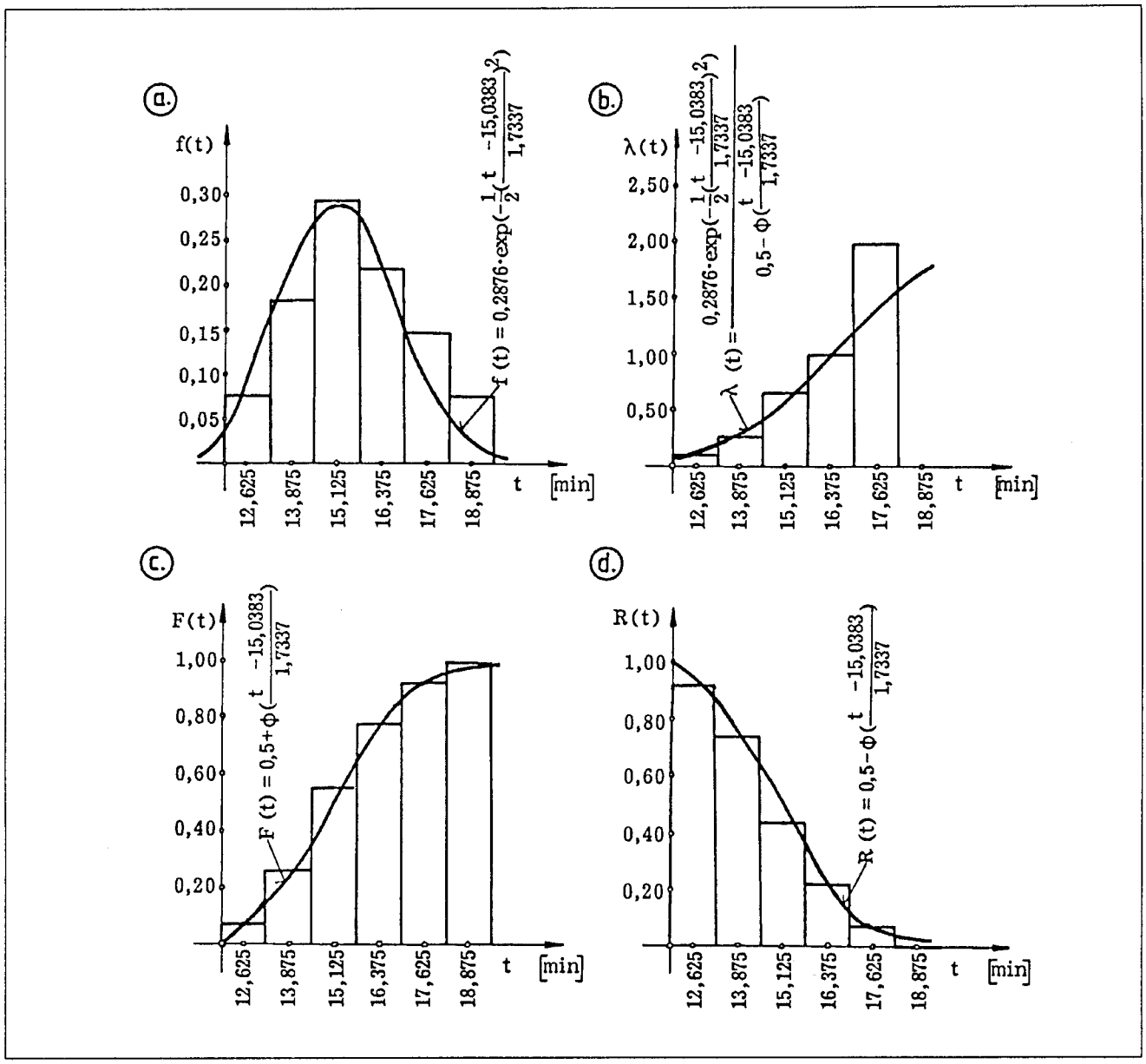
$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot t} \tag{28}$$

Srednje vreme bezotkaznog rada iznosi:

$$\bar{T} = 1/\lambda \tag{29}$$

Kao primer eksponencijalnog zakona raspodele otkaza reznog alata posmatrana je operacija bušenja prečnika $d=3$ *[mm]* na radijalnoj bušilici. Materijal obratka bio je čelik 40X. Rezni alat za obradu bušenjem bila je spiralna burgija $\phi 3$ *[mm]* od brzoreznog čelika. Elementi režima rezanja bili su: brzina rezanja $v=19.075$ *[m/min]*, odn. broj obrtaja $n=2024$ *[o/min]*, korak $s=0.04$ *[mm/o]* i dubina bušenja $a=16$ *[mm]*, pri čemu je glavno mašinsko vreme $t_g=0.2$ *[min]*. Obrada je realizovana sa sredstvom za hlađenje i podmazivanje. U toku obrade praćeni su otkazi spiralne burgije $\phi 3$, pri čemu je kriterijum zatupljenja bio vezan za dostizanje veličine dozvoljenog habanja spiralne burgije. Otkazi spiralne burgije $\phi 3$ registrovani su i kao posledica otežanih uslova obrade ili pri povećanju vrednosti sile rezanja ili temperature rezanja i sl. Eksperiment je realizovan u proizvodnim uslovima automobilske industrije, kod veličine uzorka $n=62$. Vreme bezotkaznog rada spiralne burgije t mereno je u *[min]* i kretalo se od *0.2 [min]* do *79 [min]*. Rezultati praćenja otkaza spiralne burgije $\phi 3$ grupisani su u osam podjednakih intervala, kako je to učinjeno u tabeli 3 [9].

Analiza rezultata ispitivanja spiralne burgije $\phi 3$ (tabela 3) pokazuje, da ima spiralnih burgija s veoma malim vremenom bezotkaznog rada, što je najverovatnije rezultat defekata u kvalitetu, odn. neujednačenom kvalitetu izrade istih.



Slika 3. Grafički prikaz osnovnih pokazatelja normalnog modela pouzdanosti reznog alata od keramike

Pomoću metode najmanjih kvadrata izračunat je parametar eksponencijalnog zakona raspodele: $\lambda = 0.0665$. Pa se na osnovu parametra λ mogu lako formirati funkcije osnovnih teorijskih pokazatelja pouzdanosti, i to u obliku: funkcije pouzdanosti:

$$R(t) = e^{-0.0665 \cdot t} \tag{30}$$

funkcije nepouzdanosti:

$$F(t) = 1 - e^{-0.0665 \cdot t} \tag{31}$$

funkcije gustine otkaza:

$$f(t) = 0.0665 \cdot e^{-0.0665 \cdot t} \tag{32}$$

funkcije intenziteta otkaza:

$$\lambda(t) = 0.0665 = const. \tag{33}$$

Tabela 3. Rezultati praćenja otkaza spiralne burgije $\phi 3$ pri obradi bušenjem čelika 40X grupisani u osam podjednakih intervala

R.br. interv.	Grupni intervali	Sredina intervala t_{mi}	Frekvencija otkaza Δn	Kumulativna frek. otkaza N(t)
1.	0 - 10	5	26	26
2.	10 - 20	15	19	45
3.	20 - 30	25	7	52
4.	30 - 40	35	6	58
5.	40 - 50	45	1	59
6.	50 - 60	55	1	60
7.	60 - 70	65	0	60
8.	70 - 80	75	2	62

Dok je srednje vreme bezotkaznog rada spiralne burgije $\overline{T} = 15.0312\ [min]$, a napr. vreme bezotkaznog rada za verovatnoću 90% je $T_{90\%}=1.5837\ [min]$.

Hipoteza o eksponencijalnom zakonu raspodele prihvata se, za nivo značajnosti $\alpha = 10\%$, na osnovu testa Pearsona pošto je:

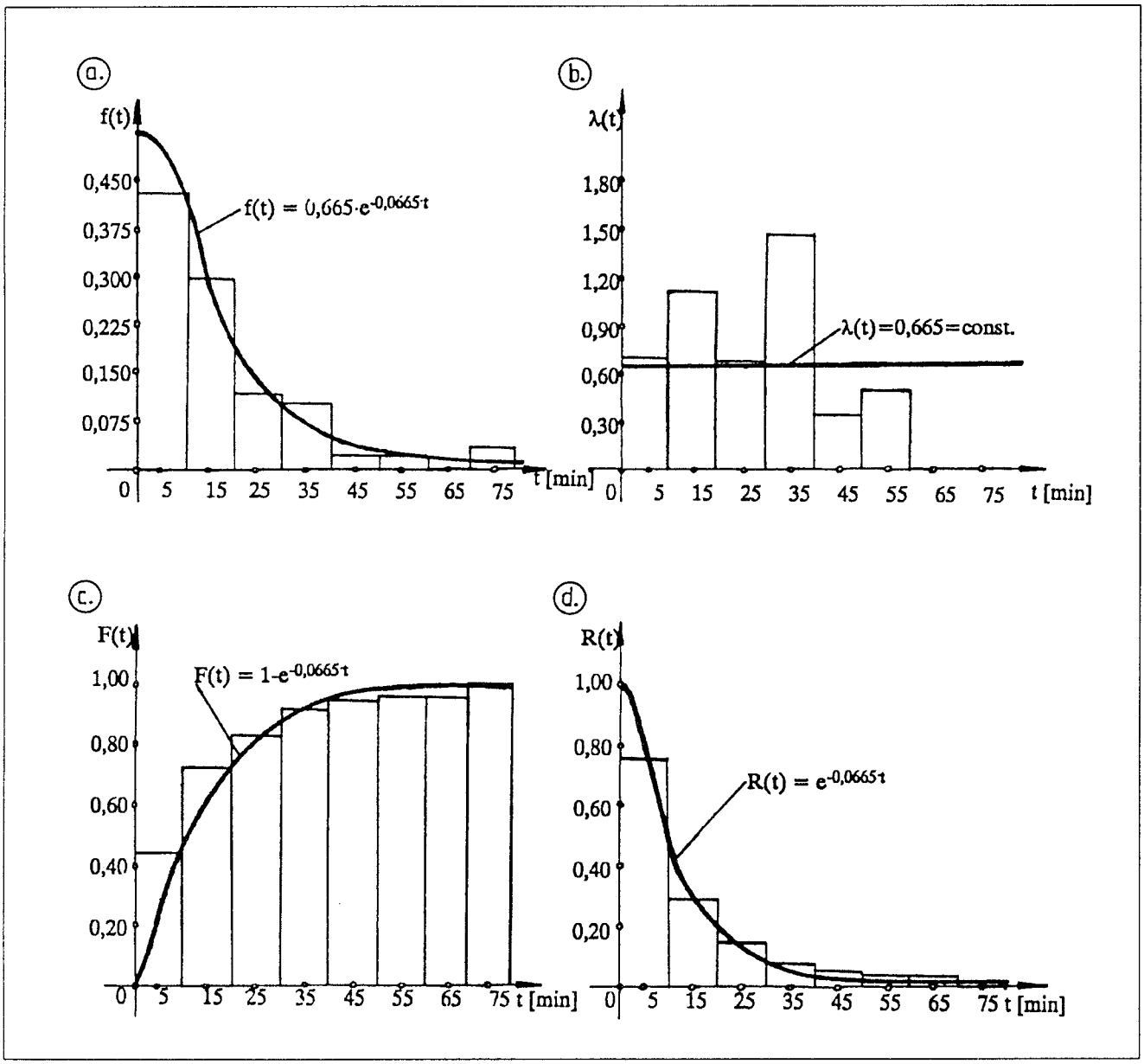
$$\chi^2 = 1.97872 < \chi^2_{kr} = 4.605 \qquad (34)$$

Grafički prikaz teorijskih pokazatelja eksponencijalnog modela pouzdanosti spiralne burgije, uporedo sa eksperimentalnim pokazateljima, dat je na slici 4.

7. ZAKLJUČCI

Iz izloženog slede osnovni zaključci:

- Metodologija po kojoj se bira teorijski model pouzdanosti koji najbolje aproksimira eksperimentalne podatke je dosta pouzdan, što se potvrđuje proverom saglasnosti datog modela pomoću neparametarskih testova;
- Može se uočiti, dosta pouzdano, da u datim primerima teorijski Weibull-ov, normalni i eksponencijalni model pouzdanosti dobro reprezentuje eksperimentalne podatke pri praćenju otkaza reznog alata;
- Analiza pouzdanosti reznog alata je svakako interesantna, naročito pri analizi pouzdanosti savremenih reznih alata na savremenim obradnim sistemima, jer otkazi reznog alata prouzrokuju zastoje u radu čitavog obradnog sistema i
- Rezultati sprovedenih istraživanja pouzdanosti reznog alata omogućavaju pouzdano određivanje broja obrađenih komada posle kojih može nastupiti vremenski period u kome treba izvršiti zamenu reznog alata i pravilno planiranje količine reznog alata u odnosu na zahtevanu količinu proizvodnje.



Slika 4. Grafički prikaz osnovnih pokazatelja eksponencijalnog modela pouzdanosti spiralne burgije ϕ3

LITERATURA

[1.] *Dašić P., Stanić J., Ječmenica R.*: **Određivanje pouzdanosti reznog alata na savremenim obradnim sistemima**, Prva Jugoslovenska konferencija o tribologiji - YUTRIB'89 (Zbornik radova s. 212-215), Kragujevac, 20. do 22. septembra 1989.

[2.] *Yoshikawa H.*: **Fundamentals of Mechanical Reliability and its Application to Computer Aided Machine Design**, CIRP Ann. 24/1 (1975.)

[3.] *Dašić P.*: **Computer Analyzing of Reliability of Cutting Tools**, International Conference - ROTRIB'96, Bucuresti, 10th to 12th september 1996.

[4.] Дашич П., **Методология определения надёжности функциональных элементов технических систем на основе оптималъного выбора теоретического закона распределения**, журнал Надёжност и контролы качества, год 23 (1991), Но3, с. 46-51

[5.] *Dašić P.*: **Određivanje pouzdanosti komponenti tehničkih sistema na osnovu izbora najboljeg teorijskog zakona raspodele pomoću računara**, časopis Tehnika, separat Mašinstvo, god. 39 (1990.) br. 9-10, str. M1-M7

[6.] *Dasic P., Papic Lj.*: **Reliability of Cutting Tools on the Basis of the Choice of the Distribution**, The Xth International Conference on Production Research - ICPR'89 (Extended Summaries of papers presented p.116-117), Nottingham, 14th to 18th august 1989.

[7.] *Vujanović N.*: **Teorija pouzdanosti tehničkih sistema**, Vojno-izdavački i novinski centar, Beograd, 1987.

[8.] *Zelenović D., Stanivuković D.*: **Pouzdanost sistema**, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1979.

[9.] *Кацев П. Г.*, **Статистические методы исследования режущего инструмента**, Машиностроение, Москва, 1974. - 240 с.

[10.] *Dašić P., Papić Lj.*: **Analiza pouzdanosti reznog alata**, časopis Tribologija u industriji, god. XI (1989.) br. 3, s. 69-72

[11.] *Dašić P., Ječmenica R., Pantelić T., Radovanović M.*: **Analiza pouzdanosti reznog alata pomoću računara**, VI Međunarodna konferencija fleksibilne tehnologije - MMA'97 (Zbornik radova s. 333-337), Sombor, 24. - 26. juna 1997, Zbornik radova VTMŠ u Trsteniku povodom 35 godina rada škole s. 68-73, Trstenik, oktobra 1997.

Examples of Analysis of Different Functions of Cutting Tool Failure Distribution

Cutting tool is a sub-system within processing system which failures cause stoppage in the operation of a whole system. So, together with liability of processing system it is neccessary also to increase liability of cutting tools. At the same time, on the base of already acquired knowledge from the theory of metal processing, it could be stated that failures of cutting tools within processing system depend on a series of factors making rather complex phenomenon. It could be also concluded that the time of the fail of cutting tools is not constant, however it represents accidental unexpected value which could be predicted by application of already known methods of statistics. The application aim of statistics methods is, that for acquired experimental facts of following of the failures of cutting tooling, in the phase of real exploatation, to determine theorethical law of distribution by which the experimental facts could be approximated the best. In the paper are given examples of analysis of Weibull, normal and exponential function of distribution of the failures of cutting tooling.

Примеры анализа различных функций распределения отказа режующего инструмента

Режующие инструменты относятся к группе подсистем в рамках обрабатывающей системы, отказ которой вызывае простой в работе всей системы. Поэтому для повышения надёжности обрабатывающей системы необходимо и повышение надёжности режующих инструмента.При этом, на его основании сведений из теории обработки металлов, можно констатировать что откаы режующих инструментов в рамках обрабатывающей системы зависят от целого ряада факторов и представляюот собой очень сложное явление. Также можно заключить и то, что время отказа режующего инструментов не постоянно, а является случайной величиной, которую можно прогнозировать применением известных методов статистики и вероятности. Цель примемения этих методов - для полученных экспериментальных даных наблюдения отказа режующих инструмента в фазе реальной эксплуатации утвердить теоретический закон распределения, каторым лучше всего апроксимируются экспериментальные данные. В работе даны примеры анализа Вейбуля, нормалной и экспоненциальной функций распределения отказа режующих инструментов.

UDK 621.9.025.7.003

S. VEINOVIĆ, R. PEŠIĆ, A. DAVINIĆ, R. PAVLOVIĆ

Doprinos tribologije povećanju ekonomičnosti domaćih motornih vozila

Globalni ekološki izazovi nalažu svestrano ocenjivanje svih ljudskih proizvoda po uticaju na održanje života na Planeti. Po takvim životnim merilima motorna vozila spadaju u vrlo važne objekte interesovanja. U razvijenim zemljama broj vozila je blizak broju stanovnika, a instalisane snage u vozilima su nekoliko puta veće od svih drugih izvora energije. Pri tome vozila tokom eksploatacije troše najviše energenata, čak preko 50% ukupne svetske produkcije nafte i njenih derivata. Slično je sa angažovanjem plemenitih i ostalih metala kao i brojnih drugih dragocenih sirovina.

Primenom triboloških analiza mogu se inženjerskim metodama sniziti potrošnje energenata i sirovina. Mi u ovome radu iznosimo rezultate naših racionalizacija u podizanju pogonskih i upotrebnih karakteristika domaćih motora i vozila počev od faza projektovanja, preko izbora pogonskih materijala do korektne upotrebe i ponovnog ulaženja u sirovinsko kruženje.

Ključne reči: tribologija, motorna vozila, ekonomija

1. UVOD

Vozni park u svetu (1995.g.) čini 609 775 429 i to putnikkih 462 112 863 i 145 942 329 teretnih vozila. Dok se broj stanovnika na Zemlji nagađa (oko 5.5 milijardi) dotle su sva vozila detljno opisana i registrovana. Prognoze u bližoj budućnosti predviđaju milijardu vozila do 2000.g. i 1.6 milijardi do 2030. g. (oko 10 milijardi stanovnika).

Visok standard podrazumeva potpunu motorizaciju porodice tj. vozilo za svakog odraslog člana tako da se pravi bum tek očekuje u nerazvijenim zemljama. Vozila i ljudi koriste iste prirodne resurse: sirovine, naftu, vazduh, vodu i zemljište. Kao ilustraciju navodimo stanje rezervi plemenitih metala koji se od nedavno ugrađuju u katalizatore. Na vidiku je njihovo brzo iscrpljivanje jer je donet nalog o obaveznoj ugradnji katalizatora u svako vozilo.

Naredna, više puta ponovljena, tematika je štednja energenata. Strogo gledajući, svaka upaljena sveća puni našu okolinu parazitskim sadržajem. Dejstvo vozila je mnogo uticajnije i opasnije. Trenutno vozila emituju u okolinu 4.4 milijarde tona CO_2 godišnje sa tendencijom ka 6.7 milijardi tona u 2030. g. U tabeli 1 imamo bilans CO_2 na našoj Planeti [11,12]. Odmah se uočava neravnoteža u smislu stalnog povećanja količina CO_2 u atmosferi. Tako ćemo nerazumnim angažovanjem fosilnih goriva napraviti zagušljivu atmosferu koja će zivotni ambijent pretvoriti u usijanu rernu (blag izraz za to je "fenomen staklene bašte ").

Tabela 1: Bilans ugljendioksida na zemlji

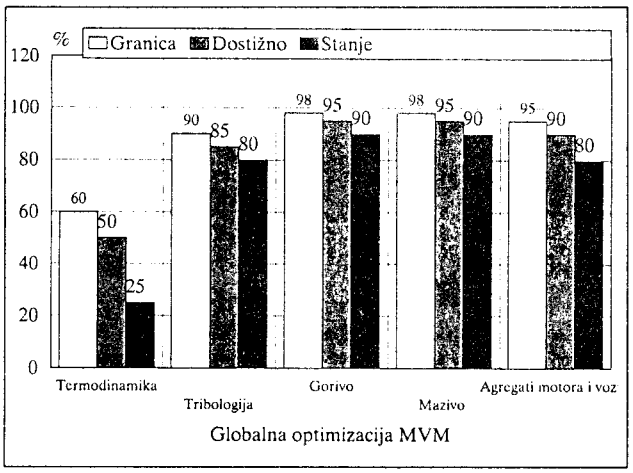
Nastajanje	CO_2 tona/god	Nestajanje
Prirodni procesi $2x10^{11}$	Stanje u atmosferi $3x10^{12}$ tona ili 150 ppm	Fotosinteza
Izumiranje $2x10^{11}$		Absorbcija okeana?
Sagorevanje $2x10^{10}$		Raspadanje stena?
Respiracija $1x10^{9}$		

2. TRIBOLOŠKE KARAKTERISTIKE VOZILA I MOTORA

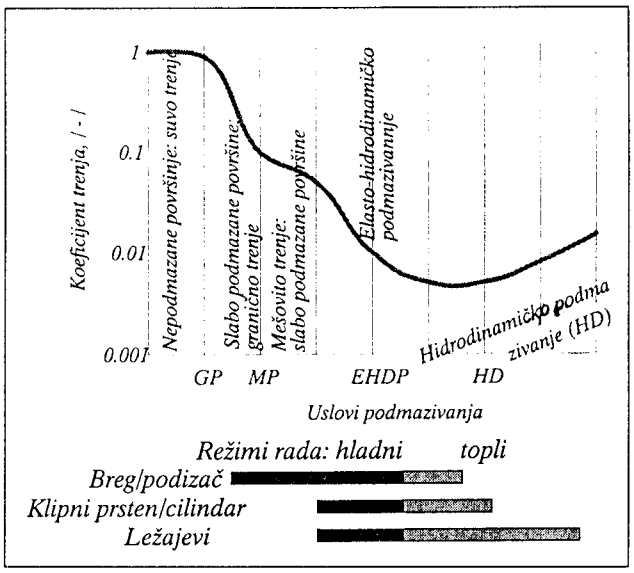
Svakom laiku je jasno da su fabrički podaci o performansama vozila bliži reklamnim nego eksploatacionim. Uzmimo za primer potrošnju goriva koja je kao po pravilu uvek iznad fabričkih vrednosti. Veliki potrošači goriva, glomazna i teška vozila, su zato pod strogim nadzorom ekologa. Za sada samo najrazvijenije zemlje (SAD i Švedska) imaju kompletne propise o kvalitetu vozila, obaveznom korektnom održavanju i stalnom usavršavanju.

Na zahtev ekologa da se ekonomićnost vozila poboljšava svake godine za *1%* nemačka automobilska industrija je odgovorila sa dobrovoljnim usvajanjem *2%* godišnje. Mi smo na bazi analize svetskih projektnih zadataka ("Super Car 80 mpg" u SAD i vozila "auto 3 litra" u Nemackoj) ustanovili da je kod naseg "Yuga 55" moguće prepoloviti

Dr ing. Stevan Veinović,
profesor, Mašinski fakultet u Kragujevcu
Dr ing. Radivoje Pešić, docent, MFK Mr ing.
Aleksandar Davinić, asistent MFK Dipl.ing.
Radomir Pavlović, stručni saradnik MFK



Slika 1. Stanje i očekivani efekat optimizacija motornih vozila, motora i pogonskih materijala na primeru "Yugo 55"



Slika 2. Stribekov dijagram podmazivanja na primeru vitalnih delova motora

potrošnju, sl. 1. Doprinos triboloških optimizacija nije samo u smanjenju trenja vitalnih sklopova (sto smo analizirali u našim ranijim radovima [1-9]) veš isto tako u funkcionalnom i tribološkom poboljšanju agregata i uređaja motora i vozila. Na slici 2 imamo klasični Stribek-ov dijagram sa naznačenim tipičnim pojavama trenja kod motora sus. Levo su režzimi česti kod hladnih i nezagrejanih motora, a desno su režimi tipični za nominalne uslove. To nas je navelo da patentiramo i zatim ispitamo triboelastične uloške za klipove [1].

3. TRIBOLOŠKE KAKTERISTIKE POGONSKIH MATERIJALA

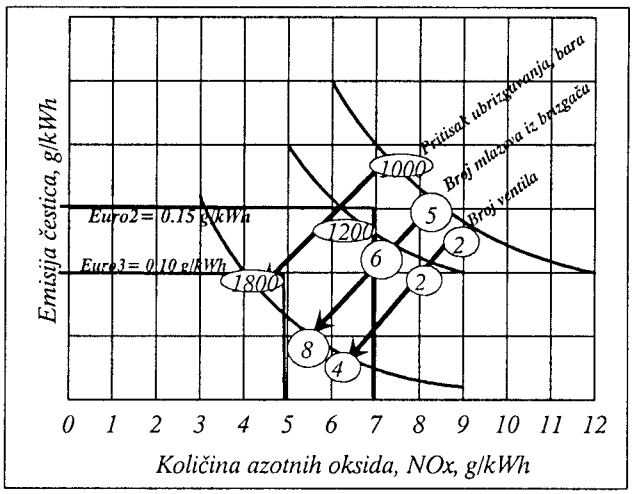
Tribološki doprinosi su posebno značajni u tzv. nespecificiranim režimima. Nezagrejani motori, vozila i uređaji imaju daleko veću potrošnju od one pod nominalnim termičkim uslovima. Izvori veće potrošnje su: povećano trenje hladnog motora i vozila, bogata smeša i turiranje motora. Pri tome je u motoru dominantno trenje klipne grupe [10].

Maziva su osnovna tribološka sredstva u svim vozilima. Radi zaštite od raznih surogata SAD su donele standard o kvalitetu maziva radi garantovanja doprinosa ekonomičnijem radu voznog parka. Naša je želja da u ovome radu stavimo težište na inostrana iskustava o tribološkim svojstvima dizel goriva i instalaciji za njihovo merenje.

Opšte poznata stvar je da su dizel motori u vozilima ekonomičniji do *30%* od oto motora. Nove varijante oto motora su međutim po ekonomićnosti stigle dizel motore, a po ekološkim osobinama ispred njih. Tako je pre desetak godina nagla dizelizacija putničkog voznog parka praktično zamrla.

Još više problema dizel motori imaju u teškim vozilima. Čestice u izduvnim gasovima stimulisu kancerogena oboljena pa se vozilima sa dizel motorima ograničava kretanje u naseljenim zonama. Novi propisi za vozila, dizel motore, goriva i maziva sa oznakama EURO 1, 2, 3 i 4 se vrlo teško ispunjavaju jer traže velike investicije. Kao primer, uzimamo uslove za sistem napajanja gorivom, sl. 3: pritisci ubrizgavanja dizel goriva od ranijih sto-dvesta bara su sada desetostruko veći. Na jednoj pumpi visokog pritiska ima od *25* do *30* mesta istrošenja za koja je važna mazivost goriva i od kojih zavisi radni učinak i vek pumpe, a onda motora.

Kada su statistički obrađeni rezultati za *180* uzoraka goriva u tri evropske laboratorije onda su za sve evropske uzorke dizel goriva sa velikim poverenjem ustanovljene granice istrošenja WDS (Wear Scar Diameter) od *500* mikrona i koeficijenat trenja *0.25*. U tabeli 2 imamo prikaz triboloških karakteristika pogonskih materijala motornih vozila snimljenih na tribometru označenom kao HFRR.



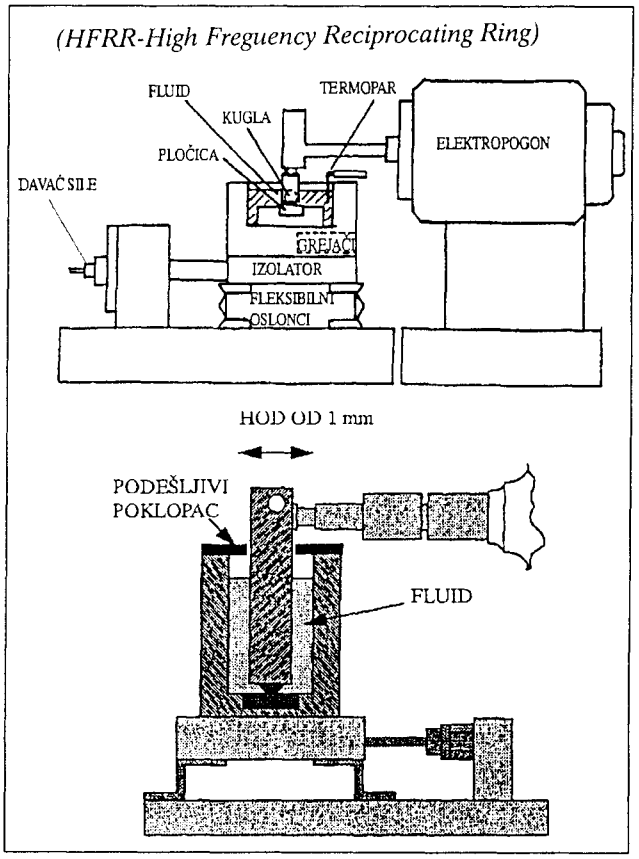
Slika 3. Novi zahtevi prema sistemima ubrizgavanja po euro normama

Tabela 2: Tribološke karakteristike pogonskih materijala MVM

POGONSKI MATERIJALI		HFRR test na 25°C		Literatura
		WSD, μm	Koeficijent trenja	
BENZINI	FINSKI GRADSKI BENZIN (26% aromata; 11% aleina; 11% oksigenata; 27 ppm S)	861	0.53	11- 21
	Ca RFC-Kalifornijski reformulisani benzin (20-25% aromata; 12-14% olefina; 10.8-11.2% MTBE; 30-40 ppm S)	872	0.47	
	EURO 96 BENZIN (38% aromata; 7% olefina; 80 ppm S)	799	0.35,Č	
	CEC RF-83-A-91 (35% aromata;l9% olefina;1 37 ppm S)	711	0.32	
	UK- komercijalni BENZIN 33% aromata; 9% olefina;140 ppm S)	792	0.38	
		HFRR test na 60°C		
DIZEL	EURO 93 (0.2% S)	<400	<0.20	11 - 21
	EURO 96 <500 ppm S)	<500	<0.25	
	JAPAN (0.2% S) Letnji (13 uzoraka) Zimski (50 uzoraka)	443 462	- -	
	SVEDSKI DIZEL KLASE 1 (<5% aromata; <10 ppm S) 680 0.58			
		HFRR test na 80,°C		
ULJE	MOTORNO ULJE	-	0.04 posle 50 h	11 - 15
		-	0.09 posle rada od 220 h	

Intenzivnije habanje elemenata pumpe vodi ka porastu ubrizgane količine goriva, kasnijem početku ubrizgavanja, padu snage, rastu potrošnje goriva i uopšte ugrožavanja funkcionalnih karakteristika motora i vozila u celini. Prelazak na "*ekoloske formulacije dizelgoriva*" je povećao rizik od neželjenog istrošenja pumpi visokog pritiska.

Tribometar je tipa kugla-pločica sa modifikacijama (donji deo slike) iznuđenim lakom isparljivošću goriva, sl. 4. Kada se takvim ispitivanjima podvrgnu "niskosumporna goriva" onda se redovno dolazi do nedovoljne mazivost i istrošenja većeg od *550 mikrona*. Mada još nije jasna korelacija između mazivosti i ostalih karakteristika dizel goriva naredni zadaci su u istraživanju formulacija goriva u rafinerijama, tretmanu aditivima i korišćenju obnovljivih izvora termogenih materijala.



Slka 4. Tribometar kugla-pločica sa modifikovanim nosačem (HFRR-High Freguency Reciprocating Ring)

4. ZAKLJUČCI

Kvalitet života sadašnjih i budućih generacia bitno zavisi od racionalnog angažovanja raspoloživih resursa na našoj Planeti.

Najvažniji vid žtednje je usavršavanje postojećih i projektovanje svih novih čovekovih pomoćnika uz strogo uvažavanje kriterijuma S+3E = sirovine+ energija + ekologija + ekonomija.

Tribološki doprinos u optimiranju novih konstrukcija motora i vozila je ravnopravan po korisnom učinku svim ostalim merama i mora se sprovoditi od konstruktorskog stola do zadrnjeg dana eksploatacije.

LITERATURA

[1.] *S. Veinović, R. Pešić, Z. Građin i M. Stanojević*, **Klip motora i kompresora sa triboelastičnim uloščima**, Patentna prijava P-88/94 od 28.02.1994. g.

2]. *S. Veinović, R. Pešić, M. Stanojević i Z. Građin*, **Mogućnost poboljšanja mehaničkog stepena korisnosti motora SUS**, Simpozijum MVM Kragujevac-94, Zbornik radova strana 497-504.

3.] *S. Veinović, R. Pešić, M. Stanojević i Z. Građin*, **Prilog poboljšanju triboloških karakteristika automobilskih motora**, Savetovanje JUGOMA-94 sa međunarodnim učešćem, Novi Sad 11-13. oktobar 1994. g., Zbornik radova strana 477-483.

4.] *R. Pešić, S. Veinović, D. Radonjić, A. Davinić, Z. Radošević*, **Kritična slika triboloških karakteristika domaćih motora DMB**, Prvi simpozijum JUNG'95, Vrnjačka Banja, oktobar 1995, st. 61-71

5.] *S. Veinović, V. D. Negrea, R. Pesic i A. Davinić*, **Pogonski materiiali za vozila od 3 litra na 100 km**, JUNG'95 P-4,18-20.10.1995., s.225-235,Vrnjacka Banja.

[5.] *S. Veinović, R. Pešić, D. Radonjić, A. Davinić, A. Tešić, B. Tadić*, **Primena triboloških uložaka radi smanjenja trenja klipa i cilindra**, Deveti simpozijum MVM, Kragujevac '96, Zbornik radova, str. 390-393

[6.] *S. Veinović, R. Radonjić, B. Jeremić, R. Pešić, M. Stanojević, Z. Građin*, **The Role of Tribology In Quallitiy Improvements of The Automotive Engines.** Balkantrib'96, 2nd INternational Conference on Tribology, Editor K.-D. Bouzakis, Tessaloniki, geece, 5-7 June 1996.p. 485-492.

[7.] *S. Veinović, V.D. Negrea, R. Pesic, A. Davinić*, **Pogonski materijali za vozila od 3 litra na 100 km**, JUNG'95, P-4,18-20. Oktobar 1995.Vrnjacka Banja, zbornik radova s. 225-235.

[8.] *R. Pesić*, **Automobilski oto motori sa minimalnom potrošnjom**, Monografsko izdanje casopisa Mobility & Vehicle Mechanics, Kragujevac 1994. godine

[9.] *J. Neale (Editor)*, **Tribology Handbook**, London, Newnes-Butterworths, Secund impression 1975. p.700

[10.] *A. Rac*, **Osnovi triblogije** (udžbenik), MF Beograd,1991.strana 198.

[11.] *Kleinschek, A. Roj*, **Environmentala Class Fuel In Scandinavia in The Light of The European Auto-oil Program**, AGELFI,12th European Automotive Symposium, Strasbourg, June 6-7,1996

[12.] *Engelen, F. Panarello, P. Schmelzle*, **Diesel Fuel Lubricity**, AGELFI,12th European Automotive Symposium, Strasbourg, June 6-7,1996

[13.] *Y. Yano, Y. Akasaka, Y. Yamasaki, Y. Sugawara*, **Overview of Automotive Fuels Quality in Japan**, AGELFI,12th European Automotive Symposium, Strasbourg, June 6-7,1996

[14.] *Advenier, G. Cahill*, **Future Diesel Fuels Quality Requirements**, AGELFI,12th European Automotive Symposium, Strasbourg, June 6-7,1996

[15.] *Grieshaber*, **Wear of Injection Pumps Due to Low-sulfur Diesel Fuel**, AGELFI,12th European Automotive Symposium, Strasbourg, June 6-7,1996

[16.] *D. Gruden*, **Fuels, Vehicle Engines And Environment**, FUELS,Technische Akademie Esslingen,1st International colloquium,16-17 January 1997

[17.] *M. Meyer*, **Tribologie Von Dieselkraffstoffen**, FUELS,Technische Akademie Esslingen,1st International colloquium,16-17 January 1997

[18.] *von Wedel*, **Erhaltung der Schmierfahigkeit von Niedrigschwefel Dieselkraffstoffen Durchadditivierung**, Fuels,Technische Akademie Esslingen,1st International colloquium,16-17 January 1997

[19.] *G. J. Hitchings, M. Pearson, S. D. Robertson*, **Lubricity Additives For Low Sulphur Diesel Fuels**, FUELS, Technische Akademie Esslingen,1st International colloquium,16-17 January 1997

[20.] *Eisfeld*, **Der Kraffstoffeinfluss auf den Düsennadelverschleiss und Möglichkfiten der Verschleissverringerung**, FUELS, Technische Akademie Esslingen, 1st International colloquium, 16-17 January 1997

[21.] *H. A. Spikes, D.-P. Wei, S. Korcek*, **The Lubrication Properties of Gasoline Fuels**, FUELS,Technische Akademie Esslingen,1st International colloquium, 16-17 January 1997

[22.] *K.-D. Vohringer, E.-C. von Glasner, W. Muller, R. Povel, M. Schittler*, **Von Der Komponente zum System-Entwicklungen in der Nutzfahrzeugtechnik**, 5. Aachener Kolloquium, Fahrzeug- und Motoren- Technik, Aachen, Oktober 1995

UDK 621.941.02:657.472

R. JEČMENICA, B. NEDIĆ, R. ĆIRIĆ

ISTRAŽIVANJA

Uticaj mikrostrukture zavarenih spojeva na kvalitet reznog alata

Proizvodnja reznih alata se ne može zamisliti bez tehnologije zavarivanja trenjem. Pri tome je poznavanje uticaja mikrostrukture na kvalitet reznih alata od presudnog značaja. U okviru rada prikazani su rezultati ipitivanja zavarenih spojeva alata i to mikrostrukture, raspored i udeo karbidne faze i mikrotvrdoća kod brzoreznog čelika S-6-5-2 i čelika 60. Ovim istraživanjima utvrđen je oblik, položaj i mikrostruktura navarenog sloja i oblik linije spoja u fazi trenja.

Ključne reči: rezni alat, tribologija, navareni sloj

1. UVOD

Zavarivanje trenjem je tehnologija koja se sve više koristi u proizvodnji reznih alata. Mikrostrukturne pojave koje se dešavaju u zavarenom spoju direktno se odražavaju na mehanička svojstva zavarenih komponenata. U ovom radu autori su istraživali uticaj mikrostrukturnih pojava na zavarenom spoju kod proizvodnje zavojnih burgija.

Ispitivanjem zavarenog spoja obuhvaćen je opis mikrostrukture, raspored i udeo karbidne faze u Č.7680, oblik zone mešanja oba osnovna materijala, opis utvrđenih prslina i ocena udela i postojanosti zaostalog austenita u Č.7680. Takođe su izvršena merenja mikro tvrdoće i tvrdoće u zakaljenom delu Č.7680.

U žarenom stanju su izvršena metalografska ispitivanja karakterističnih zona i analiziran uticaj režima zavarivanja trenjem i žarenja na pojavu određenih grešaka. Ispitivanja su takođe obuhvatila i stanja posle kaljenja, i posle kaljenja i otpuštanja.

Analiza mikrostrukture u kaljenom stanju obuhvatila je pojavu grubog zrna u Č.7680 do spoja kao i oblik, raspored i udeo karbidne faze u Č.7680.

Preliminarna ispitivanja su pokazala da u fazi trenja dolazi do *navarivanja* Č.7680 na Č.1730.

Cilj ovih istraživanja bio je da se utvrdi oblik, položaj i mikrostruktura navarenog sloja i oblik linije spoja u fazi trenja.

Dr Ratomir M Ječmenica, redovni profesor,
Tehnički fakultet Čačak, Svetog Save 65
Dr Bogdan Nedić, Docent
Faculty of Mechanical Engineering, Kragujevac,
Mr Radovan Ćirić dipl. ing., FRA Čačak

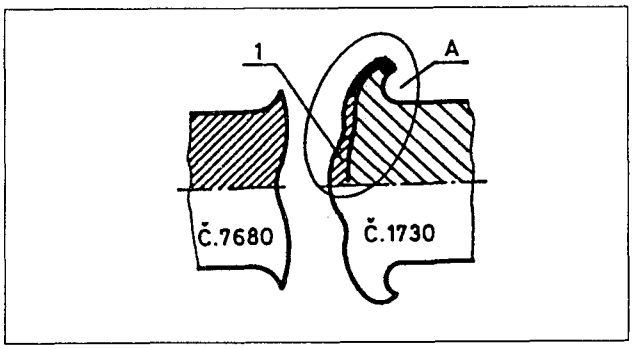
2. OBLIK NAVARENOG SLOJA I LINIJE SPOJA U FAZI TRENJA

Kako su probna ispitivanja pokazala da u fazi trenja dolazi do navarivanja Č.7680 na Č.1730, cilj ovih eksperimenata je da se utvrdi oblik, položaj i mikrostruktura navarenog sloja i oblik linije spoja u fazi trenja. Pretpostavku da dolazi do navarivanja, a ne samo do kidanja mikrospojeva u momentu razdvajanja OM, potvrđuje postojanje navarenog sloja Č.7680 na Č.1730, koji je u fazi trenja istisnut van spoja. Eksperimenti su izvedeni na taj način sto su OM zagrevani (faza trenja), a zatim razdvajani bez sabijanja.

Šematski prikaz oblika i položaja sloja Č.7680 navarenog na Č.1730 dat je na slici 1.

U žarenom stanju su izvršena metalografska ispitivanja karakterističnih zona i data objašnjenja o uticaju režima zavarivanja trenjem i žarenja na pojavu određenih grešaka i promenu mikrostrukture ovih zavarenih spojeva.

Ispitivana su i stanja posle završne termičke obrade. Rezultati merenja pokazuju da promena brzine V_t od *1.5 - 17 s* skoro da ne utiče na debljinu navarenog sloja u



Slika 1. Šematski prikaz sloja Č.7680 (1 u zoni A) navarenog u fazi trenja na Č.1730

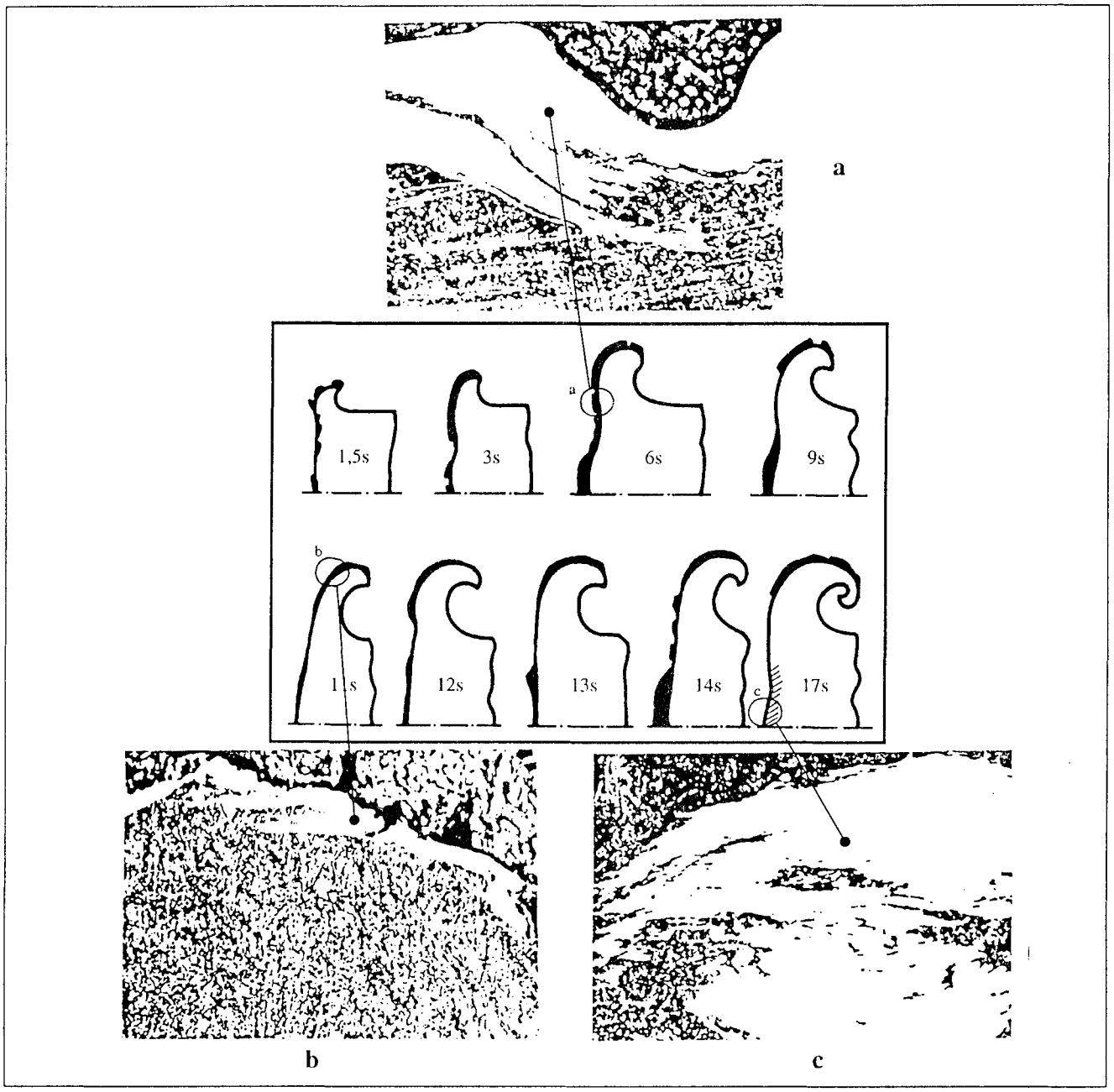
perifernim oblastima pripremka, čija je debljina u granicama *0.05 -0.2 mm*, izuzev sto se posle V_t = *13 - 14 s* dobijaju nešto tanji slojevi.

Na slici 2 sematski je predstavljen oblik navarenog sloja Č.7680 posle zavarivanja sa različitim Vt i date mikrofotografije karakteristicnih oblika navarenog sloja (a, b) i primer mešanja OM. Na mikrofotografijama na slici 2 navareni sloj Č.7680 nije nagrižen, jer se pre svega želeo istaći njegov oblik i položaj.

Smatra se da se pri primenjenim brzinama trenja u I i na početku II faze trenja u perifernim delovima šipke, u odnosu na oblast oko ose šipke, prenose sitniji delovi Č.7680 na Č.1730.

Promena V_t od *1.5 -17 s* takode ne utiče na promenu debljine sloja Č.7680 navarenog na Č.1730, koji je u fazi trenja istisnut van spoja. Debljina ovog sloja je *0.02-0.2 mm*, izuzev u intervalu *11-13 s*, kada se dobija sloj debljine *0.02-0.06 mm*. Izmerene debljine su u dobroj korelaciji sa debljinama Č.7680 navarenog u perifernim delovima šipke.

Debljina sloja Č.7680 navarenog u centralnim delovima šipke se brzo menja sa promenom V_t. Sa produženjem Vt do *6 s* ovaj sloj dostize najveću debljinu (*0.5 mm*), a zatim se sve do V_t =*12 s* smanjuje na *0.15 mm*. Pri V_t = *13-14 s* njegova debljina se ponovo povećava (i do *0.8 mm*) da bi se pri V_t =*17 s* smanjila na ispod *0.3 mm*.



Slika 2. Šematski prikaz sloja Č.7680 navarenog u fazi trenja na čeonu površinu Č.1730 pri različitim vremenima trenja (razmera 3:1); a, b, c - mikrofotografije navarenog sloja (a, b), odnosno oblasti mešanja oba OM (c) na mestima a, b, i c (100x)

Navarivanje sloja Č.7680 na Č.1730 već na početku faze trenja je posledica smicanja nastalih mikrospojeva na izvesnom udaljenju od ravni trenja oba OM, usled čega dolazi do prenošenja delova Č.7680 na Č.1730. Smatra se da su ovi procesi najintenzivniji u I fazi procesa ZT, koja traje oko *1 s*, ali se odigravaju i u II i III fazi procesa ZT, a verovatno i na početku IV faze procesa ZT (faza kocenja). Pri velikim brzinama trenja, što je u ovim eksperimentima bio slučaj, krupni delovi OM prenose se uglavnom u centralnim delovima šipke.

Analizom dobijenih rezultata zaključuje se da isti nisu u potpunoj saglasnosti sa rezultatima eksperimenta. Moglo se očekivati da će sa produžavanjem V_t *do 13 - 14 s* doći do kontinualnog porasta debljine sloja Č.7680 navarenog na Č.1730, i to po celoj površini poprečnog preseka šipke, a ne do njegovog smanjanja sa produžavanjem V_t *od 6 -12 s*. S obzirom da je prema ostalim rezultatima našeg rada posle V_t *=13 - 14 s* proces ZT usao u III fazu, koju karakterise stanje dinamičke toplotne ravnoteže i simetrična (ili skoro simetrična) raspodela temperature sa obe strane ravni trenja, može se pretpostaviti da izmerena debljna navarenog sloja Č.7680 na Č.1730 od oko *0.8 mm* posle V_t = *13 - 14 s*, predstavlja i maksimalnu moguću debljinu navarenog sloja za korišćene OM i dimenzije uzoraka.

Rezultati merenja oblika i debljine sloja Č.7680 navarenog u toku faze trenja na Č.1730 su pokazali da se poliranje površina trenja u III fazi procesa ZT odvija po površini koja je u centralnom delu šipke dosta neravna i više pomerena u Č.7680, nego u perifernoj oblasti. Pomenuta površina predstavlja ravan na kojoj je ukupna čvrstoća svih mikrospojeva najmanja, sto može biti posledica najmanje čvrstoće pojedinih mikrospojeva (najviša temperatura) i (ili) najmanje ukupne površine svih mikrospojeva.

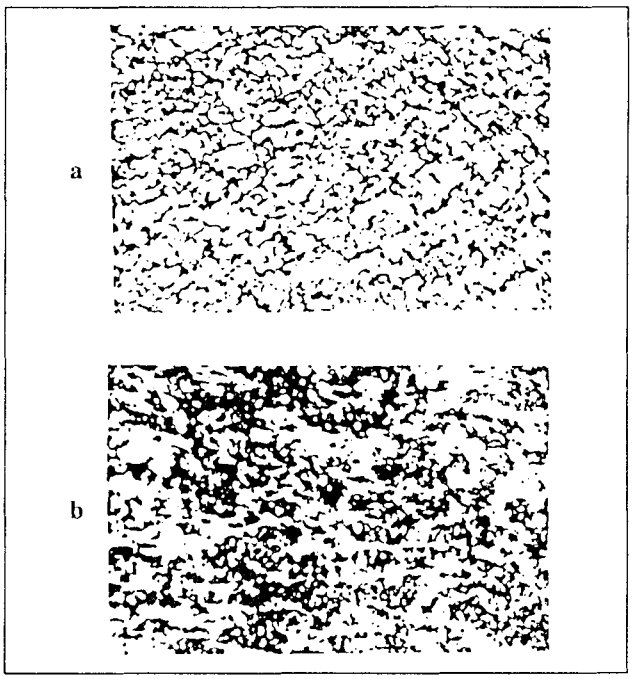
Na osnovu dobijenih rezultata zaključuje se da u fazi trenja dolazi do navarivanja Č.7680 na Č.1730, ravan trenja se pomera u Č.7680 i trenje se praktično odigrava između dva sloja Č.7680. Usled neprekidnog formiranja novih i raskidanja ranije nastalih spojeva položaj ravni trenja se neprekidno menja. Ova pojava ukazuje da je pri nastalim temperaturno-deformacijskim uslovima adheziona čvrstoća između Č.7680 i Č.1730 veća od ukupne čvrstoće svih mikrospojeva Č.7680 u ravni trenja. Upoređenjem ovih i drugih sopstvenih rezultata zaključuje se da se neprovari najčešće javljaju na spoju dva sloja Č.7680, koji takode predstavlja i najpovoljnije mesto za širenje prslina.

Prema rezultatima kvalitativnog mikrostrukturnog ispitivanja i literaturnih podataka utvrđeno je da su mikrokonstituenti u sloju Č.7680, navarenom u fazi trenja na Č.1730, martenzit, austenit i karbidi, pri čemu je sadržaj karbida uglavnom niži nego u Č.7680 u polaznom stanju. Promena V_t *od 1.5-17 s* ne utiče na veličinu austenitnog zrna, koje je znatno sitnije nego posle uobičajene termičke obrade i iznosi od *20* do *41 SG*. Veoma sitno zrno je posledica visokog stepena plastične deformacije prikontaktnih slojeva u toku faze trenja.

Za razliku od podataka za slučaj ZT sa *500, 1000* i *2000 ob/min* u ovim eksperimentima je kod svih režima ZT utvrđeno da je u centralnom delu šipke čeoni deo Č.1730 ispupčen i zadire u Č.7680. Imajući u vidu veličine otpora oba OM prema plastičnoj deformaciji na temperaturama dostignutim na površini trenja, zaključuje se da je u centralnom delu šipke, zbog navarivanja debljeg sloja Č.7680 i otežanog tečenja, pomeranje Č.1730 bilo manje nego u perifernim zonama šipke. Navedeno ukazuje da se u suštini ne radi o zadiranju Č.1730, već o njegovom većem isticanju u zonama bliim obimu, koje je bilo olakšano i zbog malog prečnika OM (*10 mm*).

Pri ponovljenom ZT pod istim eksperimentalnim uslovima, izuzev što je umesto Č.1730 rotirao Č.7680, dobijeni su skoro identični rezultati.

Mikrostruktura trenjem zavarenog spoja Č.7680 sa Č.1730 posle hlađenja na vazduhu prikazana je na slici 3.



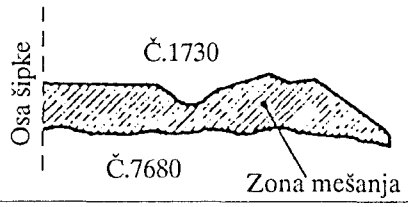
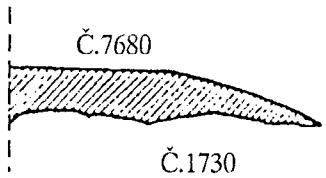
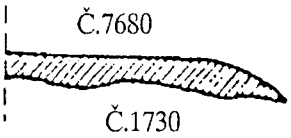
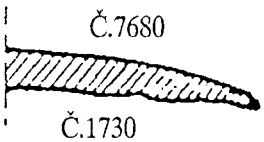
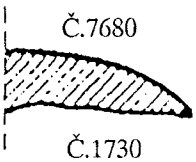
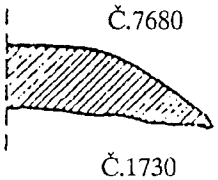
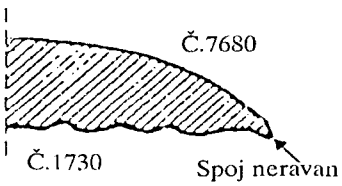
Sl. 3. Mikrokonstituenti u Č. 7680 posle zavarivanja trenjem i hlađenja na vazduhu; V_t =8 s; 1000x
a) martenzitno-austenitno-karbidna struktura (do spoja)
b) perlitno- martenzitno-austenitno- karbidna struktura

Mikrostruktura Č.7680 (sl.3a) do spoja je martenzitno-austenitna, sa manjim udelom karbida nego u polaznom stanju. Na udaljenju *0.16-1.8 mm* od spoja (V_t *=1,5-23 s*) pojavljuju se prvi tragovi finolamelarnog perlita, čiji se udeo sa udaljenjem od spoja povećava, sl.3b, tako da je kod uzoraka ZT sa V_t = *1.5-23 s* u Č.7680 na udaljenju *0.3-2.8 mm* od spoja u mikrostrukturi prisutno oko *50%* perlita.

Sadržaj zaostalog austenita indirektno je procenjen na osnovu udela neotpustenog martenzita (posle nagrizanja alkoholnim rastvorom HNO3 bela polja predstavljaju neotpušteni martenzit i zaostali austenit) koji je pri prvom otpuštanju *1 čas* na *833K* nastao iz zaostalog austenita. Rezultati merenja su pokazali da je u Č.7680 do spoja, u sloju debljine oko *0.015 mm*, posle ZT sa V_t = *4-15 s* sadržaj zaostalog austenita veći nego posle uobičajenog kaljenja sa prekidom i iznosi oko *35-50%*.

Zaostali austenit u ovom sloju je veoma postojan i ne transformiše se u martenzit ni posle drugog otpuštanja. U ostalom delu ZUT u Č.7680, van kontaktnog sloja, sadržaj zaostalog austenita je niži nego posle kaljenja sa prekidom. Kod uzoraka zavarivanih sa V_t dužim od *15 s* debljina zone sa povečanom količinom zaostalog austenita je i do *0.025 mm*, a u oblasti većeg mešanja oba OM i do *0.045 mm*. Mogući uzroci velike postojanosti austenita su visok sadržaj ugljenika i legirajućih elemenata u

Tabela 1.

Vt' (s)	Debljina zone (mm) na udaljenju od ose šipke (mm)						Šematski izgled zone
	u osi	1	2	3	4	5	
4	0.2	0.18	0.1	0.18	0.07	0	
7	0.15	0.12	0.1	0.05	0	0	
10	0.105	0.105	0.1	0.04	0	0	
12	0.14	0.12	0.05	0	0	0	
13	0.18	0.16	0	0	0	0	
15	0.25	0.25	0.03	0	0	0	
19	0.3	0.26	0.19	0	0	0	

istom (usled difuzije C iz Č.1730 i rastvaranja karbida u toku ZT), kao i zagrevanje na temperature više od uobičajenih temperatura austenizacije.

Posle ZT sa V_t = *4-15 s* i hladenja na vazduhu austenitno zrno u Č.7680 do spoja po većem delu preseka šipke je veoma sitno (SG 25-40), što je posledica visokog stepena plastične deformacije pri ZT. U zonama do obima šipke zrno je nešto krupnije (SG 18-30), ali je i pored toga sitnije od zrna zahtevanog po standardu (SG 14 i sitnije). Čak i kod uzoraka ZT sa V_t =*19 s* zrno je SG 19-21 (do obima - SGlS).

Merenje mikrotvrdoće je izvršeno u cilju indirektne procene uslova zagrevanja i hlađenja Č.7680 do spoja sa Č.1730 i ocene sklonosti ka pojavi prslina. Mikrotvrdoća Č.7680 je merena sa opterećenjem *0.1 kp (0.981 N)* u neposrednoj blizini linije spoja, ali van zone sa visokim sadržajem zaostalog austenita, po osi šipke i u preseku udaljenom *4 mm* od nje i to na uzorcima koji su posle ZT hlađeni na mirnom vazduhu. Rezultati su pokazali da je pri promeni V_t od *1.5* do *20 s* u oba merena preseka tvrdoća Č.7680 viša od *840 HV* ostvarena u zoni širine oko *0.25 mm* (V_t =*1.5 s*), *0.5 mm* (V_t = *5 s*), *0.6 mm* (V_t = *8 s*), *0.75 mm* (*Vt* =*11 s*), *1.2 mm* (V_t =*14 s*) i *1.5 mm* (V_t =*17-20 s*).

3. REZULTATI EKSPERIMENTALNIH ISPITIVANJA

Izgled, dimenzije i položaj zone mešanja oba OM dat je u tabeli 1.

4. ZAKLJUČAK

Pri eksperimentalno isprobanim rezimima ZT sa korišćenom šaržom OM zona mešanja se uglavnom nije mogla potpuno istisnuti van spoja. Posle ZT sa *Vt* =*12 - 13 s* prečnik oblasti u kojoj zaostaje ova zona se izrazito smanjuje, što je u dobroj saglasnosti sa rezultatima ispitivanja zatezanjem. Ako je V_t bila *13 s* dimenzije zone mešanja su u nekim slučajevima bile i manje od datih u tabeli 1, ili je pri ZT dolazilo do njenog istiskivanja van spoja. Iz tabele 1 se vidi da se posle ZT sa *Vt* = *4-7* s zona mešanja prostire na većem delu poprečnog preseka. Idući od *Vt* = *10* s ka *13 s* njen prečnik se smanjuje, dok se pri *Vt* = *15 s* i dužim prečnik zone mešanja povećava. Utvrđeno je da se pri ispitivanju zatezanjem (u žarenom stanju) prekid skoro u svim slučajevima odvijao po Č.1730 kod uzoraka bez zone mešanja ili kada su dimenzije ove zone manje ili približno jednake dimenzijama datim u tabeli 1 za *Vt* =*12-13 s*.

LITERATURA:

[1.] *Ječmenica R., Ivković B.*; **Tehno-economic analysis for justification applying welding tehnology to spiral drills production**, Balkantrib, Sofija, 1994.

[2.] *Ječmenica R., Ćirić R.*, **Influenta procedeelor de rulare la cald asupra Calitatii îmbinarilor sudate cu frecare**, ROTRIB'96, The 7th International Tribology conference, Romania, Bucharest, September,10-12, 1996.

[3.] *Ječmenica R., Ćirić R.*, **One Analysis of Cracks Phenomenon in Friction Welded Joints**, VI th international symposium, INTERTRIB'96, April 23-26, 1996, The High Tatras, Slovakia.

Influence of Welded Joints Microstructure on Cutting Tool Quality

Cutting tools manufacturing can not be imagined without technology of friction welding. There, knowing the microstructure's influence on cutting tools quality is of a decisive importance. Within this work, results are presented of welded joints investigations, especially the microstructure, distribution and participation of the carbide phase, as well as micro-hardness of high-speed steel S-6-5-2 and steel C60. Through these investigations was determined the shape, position and microstructure of the hard-faced layer and shape of the joint line in the friction phase.

Воздействие микроструктуры сварных соединений на качество режущего инструмента

Производство режущего инструмента невообразимо без применения сварки трением. При этом необходимо знатя какое воздействие оказывает микроструктура материала на качество изготовляемого режущего инструмента. В настоящей работе изложены результаты исследования сварных соединений инструмента из быстрорежущей стали С-6-5-2 и стали 6О - их микроструктура, распределение и доля карбидной фазы и микротвёрдость. При настоящих исследованиях установлена форма, положение и микроструктура нанесённого сваркой слоя и форма линии соединения на этапе трения.

UDK 621.835.2.004.62

B. SOVILJ, V. TODIĆ, M. BABIĆ, Z. NIKIĆ

Veza postojanosti i brzine rezanja kod neoslojenih i oslojenih vretenastih glodala u zavisnosti od kriterijuma habanja

Već duže vremena pokušavaju stručnjaci za obradu rezanjem, tehnolozi i metalurzi u industriji i u naučnim ustanovama sveta da smanje habanje alata od brzoreznog čelika u želji povećanja njihove ekonomičnosti i prevazilaženja razlike između alata od brzoreznog čelika i alata od tvrdog metala.

Oslojavanje alata izrađenih od brzoreznog čelika tvrdim titannitridom, moguće je tek kratko vreme primenom PVD - postupka. Ova tehnika predstavlja najznačajniji napredak na sektoru alata za obradu rezanjem od uvođenja tvrdog metala i postala je moguća tek kada je primenom fenomena plazme bilo moguće sniziti temperaturu mešavine gasa za nanošenje slojeva.

U radu je pronađena veza između postojanosti i brzine rezanja kod neoslojenih i oslojenih vretenastih glodala u zavisnosti od kriterijuma habanja.

Ključne reči: *postojanost, brzina rezanja, oslojavanje, vretenasto glodalo, habanje, kriterijum habanja, tribologija, kvalitet obrađene površine*

1. UVOD

Proizvodnja kvalitetnih alata za obradu rezanjem u našoj zemlji značajno zaostaje od potrebe i u kvalitetu i u količinama, pa se u otežanim uslovima na svetskom tržištu vršio i nedozvoljeno veliki uvoz istih. Poznato je da se razvoj i unapređenje tehnoloških procesa u metalnoj industriji može ostvariti proizvodnjom i primenom savremenih alata.

Stalno rastući zahtevi koji se postavljaju pred alate za obradu rezanjem traže neprekidno razvijanje i nalaženje novih metoda za izradu kombinovanih materijala. Posebno je razvijeno mnogo postupaka oslojavanja sa tvrdim materijalom u cilju zaštite od habanja, a koji su zbog nedovoljnog znanja i iskustva sa zadrškom nalazili primenu u industriji.

U cilju razjašnjenja mogućnosti primene oslojenih vretenastih glodala u industriji treba izvršiti eksperimentalno ispitivanje neoslojenih i oslojenih alata u laboratorijskim i proizvodnim uslovima.

U ovome radu dat je deo tih istraživanja u proizvodnim uslovima koji se odnose na određivanje veze postojanosti i brzine rezanja kod neoslojenih i oslojenih vretenastih glodala u zavisnosti od kriterijuma habanja alata.

Dr Bogdan Sovilj, red. prof.,
Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
Dr Velimir Todić, red. prof.,
Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
Dr Miroslav Babić, vanr. prof.,
Mašinski fakultet, Kragujevac
Dr Zoran Nikić, red. prof., Tehnički fakultet, Čačak

2. REZULTATI EKSPERIMENTALNIH ISTRAŽIVANJA

U okviru istraživanja mogućnosti uvođenja u proizvodni proces oslojenih vretenastih glodala izvršena su istraživanja u proizvodnim pogonima DD Livnica "Kikinda" u Kikindi i deo tih rezultata iznosi se u ovom radu.

Na osnovu plana eksperimenta izvršena su ispitivanja pri čemu su korišćena vretenasta glodala, iz iste šarže neoslojene i oslojena sa TiN. U pogonima gde su izvršena ispitivanja vrši se obrada najrazličitijih žljebova. Oni se razlikuju kako po obliku, tako i po dimenzijama. Kao reprezent uvojili smo žljeb širine *25 mm* a dubine *7 mm*. Materijal obradka je Č.6440.

Kao alat korišćena su vretenasta glodala za žljebove sa valjkastom drškom G.115-025 proizvođač "JUGOALAT", izrađenih od Č.7680 i tvrdoće radnog dela *62-64 HRC*. Jedan deo alata je oslojen u "JUGOALAT"-u sa TiN debljine sloja *3.2 μm* sila athezije *47N*, a mikrotvrdoća *2180* $HV_{0.025}$. Ovi podaci dobijeni su preko etalona od istog materijala. Sva glodala su obeležena slučajnim izborom. Pre početka eksperimentalnih istraživanja izmerena su radijalna bacanja svih vretenastih glodala i zabeležena u odgovarajuće tablice. Takođe su vršena merenja radijalnih bacanja u steznoj glavi pre i posle svakog prekida u radu, tj. za vreme merenja pojasa habanja.

Na osnovu literaturnih informacija i sopstvenih istraživanja usvojeni su režimi rezanja. Brzine rezanja v iznosile su: *18.63; 27.88* i *39.27 m/min*, odnosno brojevi obrta n iznosili su: *250; 355* i *500 o/min*. Za sve eksperimentalne tačke bio je isti pomak i iznosio je $s=63$ *mm/min*.

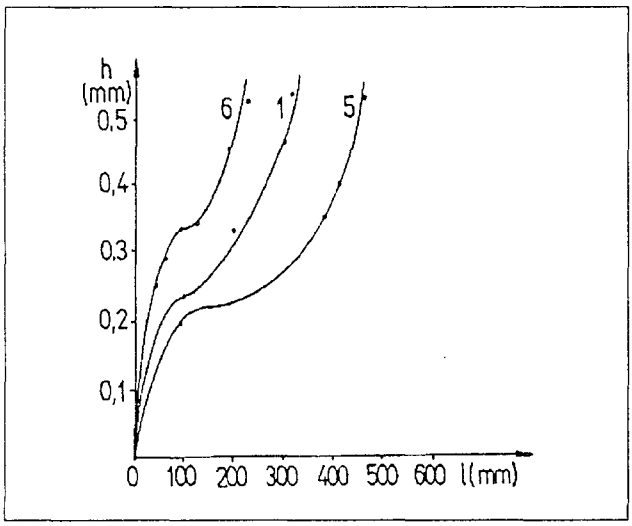
Materijal obradka: Č.6440 sa $\sigma_m=760\text{-}830$ N/mm^2, $HB=241$, odnosno $HV=270$.

Mašina alatka na kojoj su izvođeni eksperimenti: OERLICON M08U-ISTALIANA - MILANO (1976).

Sredstvo za hlađenje i podmazivanje: "SIN-30" - FAM Kruševac.

Na osnovu plana eksperimenata izvršena su ispitivanja pri čemu su korišćena vretenasta glodala, iz iste šarže, neoslojena i oslojena sa TIN.

U cilju određivanja postojanosti T, odnosno L pri pojedinim brzinama rezanja i konstantnom pomaku, a koji su određeni na osnovu literaturnih informacija i sopstvenih istraživanja, praćena je promena širine pojasa habanja h na leđnoj površini alata u zavisnosti od dužine obrađenog žljeba, a što je poslužilo za crtanje krivih habanja. Za usvojene kriterijume habanja $h=0.3$ *mm*; $h=0.4$*mm* i $h=0.5$ *mm* sa dijagrama sl.1., odnosno dijagrama sl.2. očitane su za pojedine brzine odgovarajuće vrednosti postojanosti $L(mm)$ i svrstane u odgovarajuće tabele (1, 2, 3, 4, 5 i 6) na osnovu kojih je izvršena obrada podataka.



Slika 1. Razvoj procesa habanja kod neoslojenih vretenastih glodala (6, 1, 5)

Kompletan proračun veličine ekponenta z koeficijenat b, odnosno C_v sproveden je tabelarno za neoslojene alate i oslojene alate u zavisnosti od kriterijuma habanja.

Zamenom odgovarajućih vrednosti iz tabela (1, 2, 3, 4, 5 i 6) u odgovarajuće jednačine dobiće se koeficijenti i eksponenti jednačina koje daju vezu između postojanosti i brzine rezanja pri kriterijumima habanja $h=0.3mm$; $h=0.4$ *mm* i $h=0.5$ *mm*, pa bi te jednačine imale oblik:

- za neoslojene alate

$$v^{-2.205} \cdot L_n = 9.113 \quad (1)$$

$$v^{-1.243} \cdot L_n = 4.375 \quad (2)$$

$$v^{-1.067} \cdot L_o = 100.565 \quad (3)$$

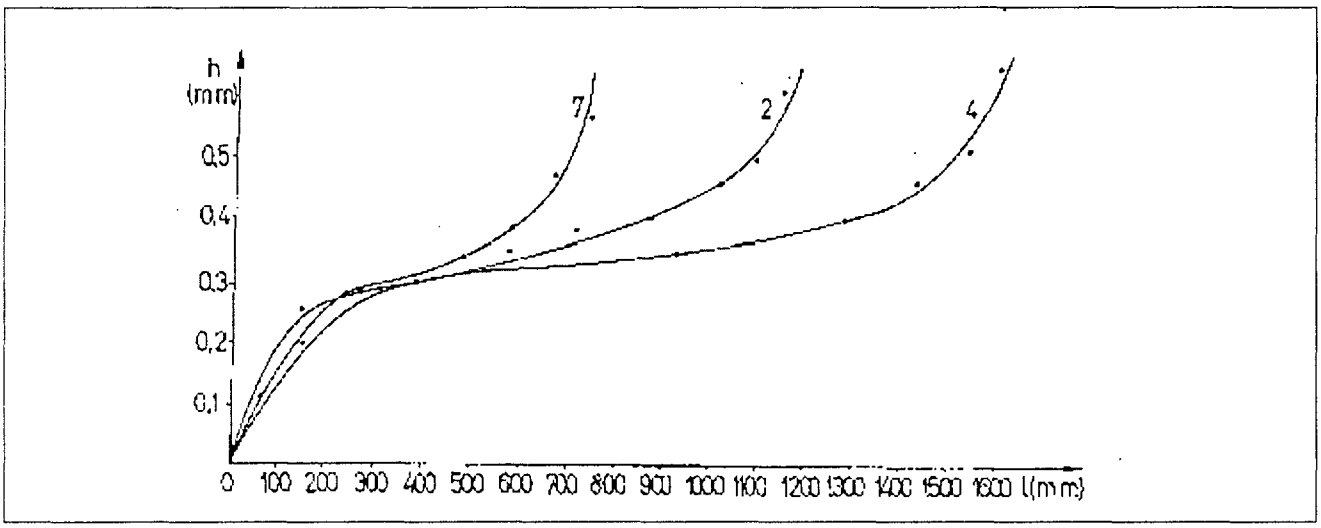
- za oslojene alate

$$v^{-1.072} \cdot L_n = 8.753 \quad (4)$$

$$v^{-1.010} \cdot L_o = 30.832 \quad (5)$$

$$v^{-0.368} \cdot L_o = 32.608 (6)$$

Ako sa slika 1. i 2. očitamo vrednosti dužina obrađenog žljeba pri kriterijumima habanja $h=0.3$ *mm*; $h=0.4$ *mm* i $h=0.5$ *mm*, sa neoslojenim vretenastim glodalom (1) je $L_n=193.05$ *mm*; $L_n=256.7$ *mm* i $L_n=345.80$ *mm*, a sa oslojenim vretenastim glodalom (2) je $L_o=315.90$ *mm*; $L_o=870$ *mm* i $L_o=0.5=1157.1$ *mm*, pa upoređenjem ovih vrednosti zaključujemo da je pri radu sa oslojenim vre-



Slika 2. Razvoj procesa habanja kod neoslojenih vretenastih glodala (7, 2, 4)

tenastim glodalom obrađena: *1.63; 3.39; 3.37* veća dužina žljeba.

Merenjem parametara hrapavosti obrađenih žljebova na PERTH- O-METRU dobijeni su podaci koji ukazuju da je kvalitet obrađenih površina bolji pri obradi sa oslojenim vretenastim glodalima nego sa neoslojenim vretenastim glodalima.

Tabela 1.

Redni broj	Neoslojeni alat	v (mm/min)	L (mm)	log $v_i=x_i$	log L = y_i	$x_i \cdot y_i$	x_i^2
1	6	39.27	64.35	1.594061	1.808540	2.882935	2.541031
2	1	27.88	193.05	1.445293	2.285669	3.303461	2.088872
3	5	18.63	339.30	1.270213	2.530583	3.214379	1.613441
				4.309567	6.6248	9.400775	6.243344

Tabela 2.

Redni broj	Oslojeni alat	v (mm/min)	L (mm)	log $v_i=x_i$	log L = y_i	$x_i \cdot y_i$	x_i^2
1	6	39.27	198.9	1.594061	2.298634	3.664162	2.541031
2	1	27.88	315.9	1.445293	2.499549	3.612580	2.088872
3	5	18.63	444.6	1.270213	2.647969	3.263484	1.613441
				4.309567	7.446152	10.640226	6.243344

Tabela 3.

Redni broj	Neoslojeni alat	v (mm/min)	L (mm)	log $v_i=x_i$	log L = y_i	$x_i \cdot y_i$	x_i^2
1	6	39.27	163.3	1.594061	2.212986	3.527635	2.541031
2	1	27.88	256.7	1.445293	2.409426	3.482326	2.088872
3	5	18.63	413.3	1.270213	2.616265	3.323214	1.613441
				4.309567	7.238677	10.33175	6.243344

Tabela 4.

Redni broj	Oslojeni alat	v (mm/min)	L (mm)	log $v_i=x_i$	log L = y_i	$x_i \cdot y_i$	x_i^2
1	6	39.27	600.0	1.594061	2.778151	4.428543	2.541031
2	1	27.88	870.0	1.445293	2.939519	4.248466	2.088872
3	5	18.63	1276.7	1.270213	3.106089	3.945395	1.613441
				4.309567	8.823759	12.622403	6.243344

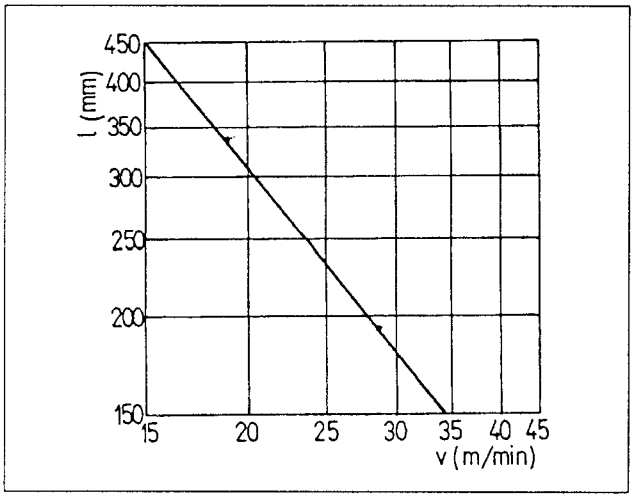
Tabela 5.

Redni broj	Neoslojeni alat	v (mm/min)	L (mm)	log $v_i=x_i$	log L = y_i	$x_i \cdot y_i$	x_i^2
1	6	39.27	292.6	1.594061	2.466274	3.931391	2.541031
2	1	27.88	345.8	1.445293	2.538824	3.669344	2.088872
3	5	18.63	385.7	1.270213	2.586249	3.285087	1.613441
				4.309567	7.591347	10.885822	6.243344

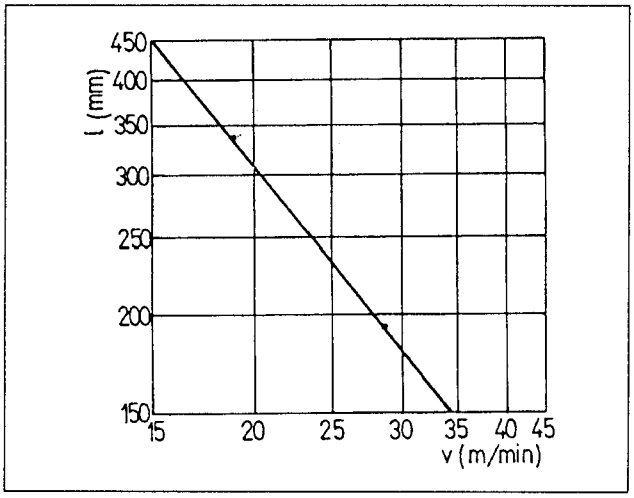
Tabela 6.

Redni broj	Oslojeni alat	v (mm/min)	L (mm)	log $v_i=x_i$	log L = y_i	$x_i \cdot y_i$	x_i^2
1	6	39.27	731.5	1.594061	2.864214	4.565731	2.541031
2	1	27.88	1157.1	1.445293	3.063370	4.427467	2.088872
3	5	18.63	1629.25	1.270213	3.211987	4.079907	1.613441
				4.309567	9.139571	13.073105	6.243344

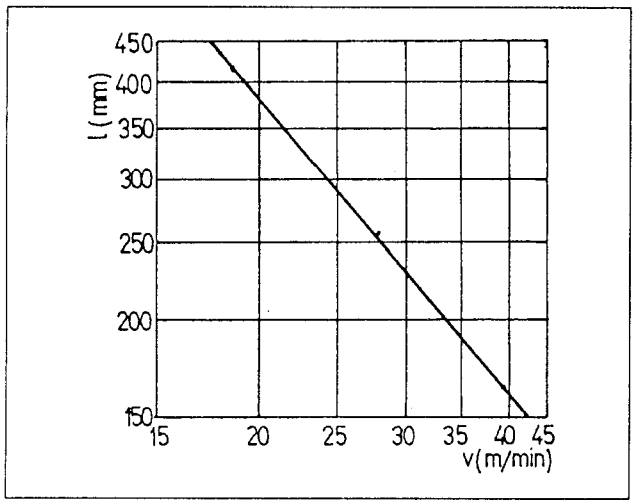
Na osnovu analize i primenom jednofaktornog plana eksperimenata određena je veza između postojanosti i brzine rezanja za različite kriterijume habanja pri obradi žljebova u čeličnom materijalu sa neoslojenim i oslojenim vretenastim glodalima.



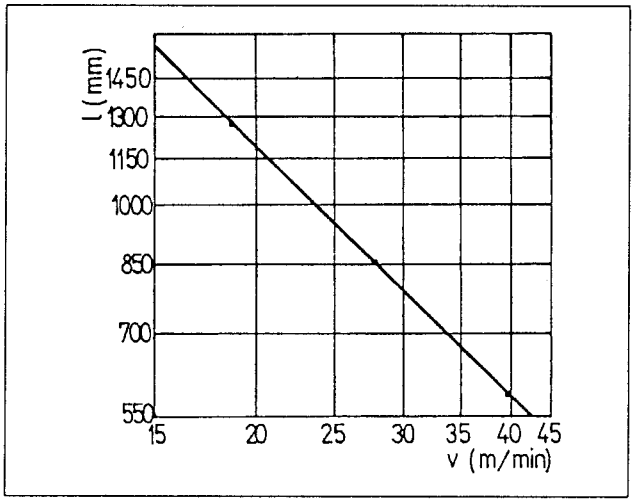
Slika 3. Zavisnost postojanosti i brzine rezanja za neoslojene alate pri h=0.3 mm



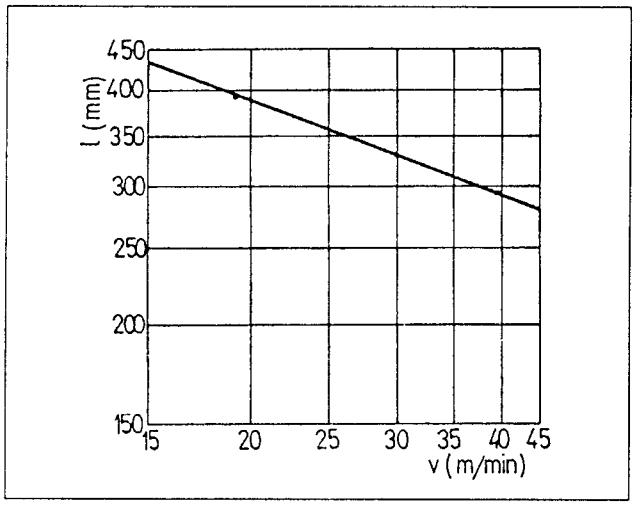
Slika 4. Zavisnost postojanosti i brzine rezanja za oslojene alate pri h=0.3 mm



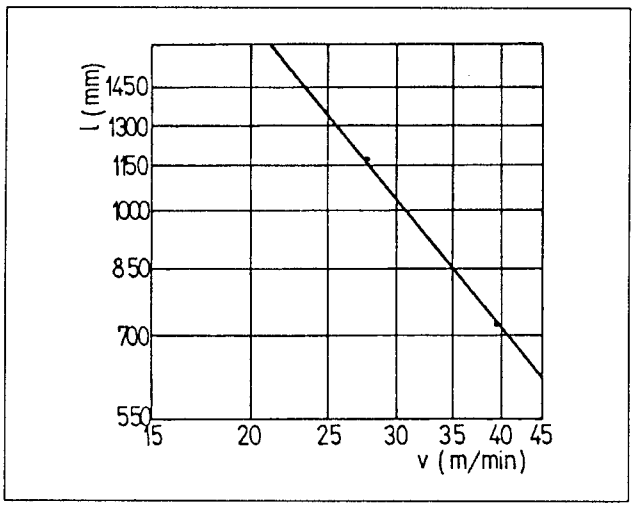
Slika 5. Zavisnost postojanosti i brzine rezanja za neoslojene alate pri h=0.4 mm



Slika 6. Zavisnost postojanosti i brzine rezanja za oslojene alate pri h=0.4 mm



Slika 7. Zavisnost postojanosti i brzine rezanja za neoslojene alate pri h=0.5 mm



Slika 8. Zavisnost postojanosti i brzine rezanja za oslojene alate pri h=0.5 mm

3. ZAKLJUČAK

Na osnovu izloženog može se sa sigurnošću zaključiti da je opravdano uvođenje u proizvodni proces oslojenih vretenastih glodala, jer se postiže značajno veća postojanost pri obradi žljebova sa oslojenim alatima, a takođe je dobijen i bolji kvalitet obrađene površine.

Kriterijum habanja utiče na vezu postojanosti i brzine rezanja i veoma je značajno da se odredi optimalna vrednost kriterijuma habanja alata za obradu rezanjem.

LITERATURA

[1.] *Ivković, B.*, **Definisanje uslova habanja cilindričnih glodala pri suorotnosmernom i istosmernom glodanju pomoću radioaktivnih izotopa**, disertacija, Mašinski fakultet, Beograd, 1969.

[2.] *Barrov, G.*, **Wear of cutting tools**, Tribology, 5, No 1., 1972.

[3.] *Sekulić, St. S.*, **Identifikacija primarnih parametara obrade na strugu na osnovu plastične deformacije i termonapona rezanja**, disertacija, Novi Sad, 1977.

[4.] *Nikić, Z.*, **Identifikacija triboloških procesa pri urezivanju navoja**, disertacija, Kragujevac, 1979.

[5.] *Konig, W.*, **Fertigungverfahren**, Band 1, Drehen, Frasen, Bohren, VDI - Verlag, Dusseldorf, 1984.

[6.] *Stanić, J.*, **Teorija obrade metala I**, Mašinski fakultet Beograd, 1986.

[7.] *Sovilj, B.*, **Identifikacija triboloških procesa pri odvalnom glodanju**, disertacija, Novi Sad 1988.

Relationship Between Tool Life and Cutting Speed With Uncoated and Coated End Milling Cutters Depending on Wear Criterion

For a long time the experts in cutting, the technologist and the metallurgists in the field of industry and research institutes worldwide have been trying to reduce wearing of the tools made of high speed cutting steel aimed at increasing of efficiency and overcoming of a difference between high speed steel tools and hard metal tools.

Coating of the tools made of high speed steels with hard TiN by PVD process has been applied during a recent period of time. Such process has been the most important improvement in the field of cutting tools starting from using of the hard metal. It has been introduced only when the temperature of the gas mixture for coating could be reduced owing to plasma phenomenon.

The relationship has been found out between tool life and cutting speed with coated and uncoated end milling cutters depending on wear criterion.

Взаимозависимость износостойкости и скорости резания упрочняемых и неупрочняемых концевых фрез в зависимости от критерия изнашивания.

Уже долгое время специалисты по обработке резанием, технологи, металловеды, работающие в промышленности и в научных учреждениях пытаются замедлить изнашивание инструмента из быстрорежущих сталей с целью повышения их экономичности и устранения разницы, существующей между инструментом из быстрорежущей стали и из твёрдого метлла. Повышение износостойкости инструмента из быстррежущей стали нанесением упрочняющего слоя нитрида титана стало возможным лишь недавно применением ПВД - способа. Этот способ представляет собой крупнейший шаг вперёд в изготовлении режущего инструмента со времени внедрения твёрдого металла в результате применения феномена плазмы для понижения температуры смеси газа, используемой для нанесения упрочняющих слоёв. В работе установлена взаимозависимость между износостойкостью и скоростью резания упрочнённых и неупрочннённых концевых фрез на основании критерия изнашивания.