

Kovač P.

ORIGINALNI NAUČNI RAD

ZAVISNOST IZMEDJU HRAPAVOSTI OBRADJENE
POVRŠINE, REŽIMA REZANJA I HABANJA ALATA

RELATIONSHIP BETWEEN SURFACE ROUGHNES,
CUTTING CONDITIONS AND TOOL WEAR

Summary

Based on previous investigation it can be conclude that most important parameters of cutting process like cutting forces, cutting temperature and surface roughnes depend of tool wear. In the mathematical model width of flank wear is put as parameter easiest for measuring.

Mathematical model for surface roughnes parameters is found in linear and exponential form. Linear form is suitable for process control and exponential is similar as mathematical models of the other cutting process parameters.

Investigations show that surface roughness is a function of cutting conditions and time. Tool wear is function of cutting conditions and time too. If the time from this equation is expressed and put in previous equation it become relationship: surface roughnes as a function of cutting conditions and chosen parameter of tool wear.

The factorial design of experiments for determination of the mathematical model is applicated. In order to determine this model experimental research of face milling process with single tooth cutter is performed. The surface roughnes value is measured with Pertho-meter from the replicas of machined surface. The experiment was carried out for diferent cutting conditions which were chosen according to the planing of experiment. Time flow of surface roughnes parameter and tool vear parameter until tool was worn is obtained.

Processing of experimental datas were on computer and consist regresion and dispersion analysis and confidence interval. Determined model is adekvate and parameters are significant.

Kovač dr Pavel, docent, Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, 21000 Novi Sad, V. Vlahovića 3.

Rezime

Na osnovu prethodnih istraživanja može se zaključiti da najvažniji parametri procesa rezanja kao što su otpori rezanja, temperatura rezanja i hrapavost obradjene površine zavise od habanja alata. U matematičke modele se predlaže širina pojasa habanja kao parametar koji se najlakše meri.

Odredjen je matematički model za hrapavost obradjene površine u linearnom i eksponencijalnom obliku. Linearni oblik je pogodan za upravljanje procesom a eksponencijalni više odgovara dosadašnjim modelima parametara procesa obrade metala rezanjem.

Istraživanja pokazuju da je hrapavost obradjene površine funkcije režima rezanja i vremena. Habanje alata je takodje funkcija režima rezanja i vremena. Ako se iz ove jednačine izrazi vreme i zameni u prethodnu jednačinu dobija se zavisnost: hrapavosti obradjene površine od režima rezanja i izabranog parametra habanja alata.

Za nalaženje ovog matematičkog modela primenjena je metodologija višefaktornog plana eksperimenta.

Eksperimentalna istraživanja su vršena pri čeonom glodanju sa jednozubim alatom. Parametri hrapavosti obradjene površine mereni su pomoću Pertho-metra sa otisaka obradjene površine. Eksperiment je izveden za različite režime rezanja, koji su izabrani na osnovu plana eksperimenta. Odredjen je vremenski tok parametara hrapavosti i parametara habanja alata sve do zatupljenja.

Obrada podataka je vršena pomoću računara i obuhvata regresionu i disperzionu analizu i interval poverenja. Odredjeni matematički model je adekvatan i parametri su signifikantni.

1. UVOD

Kvalitet obradjene površine ima primarni značaj na eksploatacijske karakteristike obrade. Hrapavost obradjene površine karakterišu veliki broj parametara kao što su geometrijski i kinematski parametri, deformacija strugotine, dinamički sistem (MAPO), pohabanost alata itd.

Modelska istraživanja hrapavosti obradjene površine prema pristupu mogu se podeliti u tri grupe:

1. Geometrijski modeli
2. Modeli na bazi habanja alata i drugih pratećih uticaja
3. Modeli koji baziraju na teoriji višefaktornog plana eksperimenta.

Najranije su se pojavili teorijski modeli hrapavosti obradjene površine zasnovni na geometrijskom obliku vrha alata i kinematici njegovog kretanja.

Pri tome je posmatran oštar alat bez ili sa poluprečnikom zaobljenja vrha.

Razvojem eksperimentalnih metoda istraživanja ustanovljena je razlika izmedju teorijskih i izmerenih vrednosti hrapavosti pa su se modeli usložnjavali dodavanjem drugih parametara kao što su uglovi reznog alata, dubina rezanja, ostatak preseka strugotine itd.

Prilikom eksperimentalnih istraživanja uočen je značajan uticaj habanja alata na hrapavost obradjene površine, pa su postavljeni modeli, koji su uzimali u obzir i ovaj uticaj. Najrealniji modeli pomoću kojih se izračunava hrapavost obradjene površine uvode kao parametar širinu žljebova koncentrisanog habanja na pomoćnoj ledjnoj površini. Ovakav model pri obradi na strugu je predložio Prof. Šolaja /7/, kasnije je ovaj model dopunjavan i proširen na druge vrste obrade /4,6/.

Daljim razvojem eksperimentalnih metoda i metoda statističke obrade podataka, naročito višefaktornog plana eksperimenta, razvijeni su modeli koji se zasnivaju na kibernetikom prilazu (princip crne kutije) /8,9/. Oni najjednostavniji sadrže pomak i poluprečnik zaobljenja vrha alata, slično geometrijskom modelu, a najsloženiji dubinu i brzinu rezanja itd. Zajednička karakteristika svih ovih modela je da ne uzimaju u obzir habanja alata. Vremenska promena hrapavosti obradjene površine obuhvaćena je modelom koji sadrži vreme rezanja /3/. Ovakav model važi za relativno uzan dijapazon vremena.

U ovom radu predlaže se model zasnovan na kibernetikom principu i na jednofaktornom eksperimentu. Ovim se želi iskoristiti relativno mali broj eksperimentalnih tačaka koji je potreban za metodologiju višefaktornog eksperimenta i pouzdanost podataka dobijenih jednofaktornim eksperimentom.

2. MATEMATIČKI MODEL HRAPAVOSTI OBRADJENE POVRŠINE

Na osnovu ranijih istraživanja /4/ može se zaključiti da najznačajniji parametri procesa obrade, kao što su otpori rezanja i temperature pri rezanju, zavise od parametara habanja alata. U matematički model uvedena je širina pojasa habanja na ledjnoj površini kao najznačajniji parametar, a koji se i najlakše meri. Iz gore navedenih razloga se predlaže da se u matematičke modele parametara procesa (sile, temperature) takodje unese širina pojasa habanja VB.

Matematički model za parametre hrapavosti obradjene površine u funkciji od habanja alata potražen je u obliku linearne i eksponencijalne zavisnosti:

$$R_i = a_{1i} + b_{1i} VB \quad (1)$$

$$R_i = a_{2i} \cdot VB^{b_{2i}} \quad (2)$$

Linearna zavisnost je pogodnija za upravljanje procesom a eksponencijalni oblik više odgovara dosadašnjim modelima koji se koriste u procesima obrade rezanjem.

Za određivanje konstanti u predloženim matematičkim modelima korišćena je metoda najmanjih kvadratnih odstupanja u /1/ određene su zavisnosti (1) i (2). Na osnovu ispitivanja /2/ može se zaključiti da hrapavost obradjene površine zavisi od elemenata režima i vremena rezanja:

$$R_i = f_1(v, s_z, \delta, t) \quad (3)$$

Uslovna veličina habanja pri obradi je takodje funkcija režima i vremena rezanja:

$$H_i = f_2(v, s_z, \delta, t) \quad (4)$$

Ako se iz jednačine (3) izrazi vreme rezanja i zameni u jednačinu (4) dobiće se zavisnost parametara hrapavosti obradjene površine od režima rezanja i izabranog parametra habanja:

$$R_i = f_s(v, s_z, \delta, H_i) \quad (5)$$

Izabrani parametar habanja je srednja vrednost širine pojasa habanja na lednoj površini VB, koji se najčešće uzima kao kriterijum zatupljenja. Funkcionalna zavisnost izmedju parametara hrapavosti potražiće se u obliku:

$$R_i = C_i v^{x_i} s_z^{y_i} \delta^{z_i} VB^{u_i} \quad (6)$$

Za nalaženje ove zavisnosti koristiće se metodologija višefaktornog plana eksperimenta sa pet nivoa (tzv. centralni kompozicioni plan) /2/ kojim se određuje površina odziva u svakoj ravni sa pet tačaka.

3. USLOVI PRI EKSPERIMENTALNOM ISPITIVANJU

3.1. Materijal obradka

Eksperimentalna ispitivanja su vršena na čeliku za poboljšanje Č.1730. Isporučen je u obliku šipke $\emptyset 130 \times 4000$ mm. Šipka je isečena na manje komade dužine 700 mm, čime je obezbedjeno da materijal bude ujednačenog kvaliteta. Za ispitivanja, komadi materijala obradjivani su na dimenzije $100 \times 130 \times 700$ mm, da bi se obezbedila konstantna širina glodanja.

Na osnovu metalografske analize utvrđeno je da je materijal ispušten u normalizovanom stanju. Sprovedena hemijska analiza pokazala je da je hemijski sastav osnovnih elemenata u granicama, standardom predviđenim, za ovaj čelik. Tvrdoća materijala HB=226, a zatezna čvrstoća $800-10^6$ Pa.

3.2. Mašina i alat

Ispitivanja su izvršena na vertikalnoj glodalici "PRVOMAJSKA" FSS-GVK-3, koja ima: snagu pogonskog elektromotora 14 KW, snagu pomoćnog elektromotora 2,2 KW, raspon brojeva obrtaja od 28 do 1400 o/min (18 stupnjeva), raspon brzine pomoćnog kretanja od 16 do 800 mm/min (18 stupnjeva), maksimalni prečnik glodala 315 mm.

Pri ispitivanju korišćena je glava za glodanje "JUGOALAT" G.715 $\emptyset 125$ mm, sa mehanički pričvršćenim pločicama od tvrdog metala. Broj zuba 8, napadni ugao 75° , grudni ugao 7° , ledjni ugao 18° .

Kao rezni materijal alata korišćene su kvadratne okretne pločice od tvrdog metala "Prvi partizan". Oznaka pločice SPAN 12 03 ER, kvaliteta P25.

Rezanje je vršeno pri srednjem položaju glodala u odnosu na alat i bez upotrebe sredstava za podmazivanje i hladjenje.

3.3. Režim obrade

Režim obrade je obuhvatio sledeće elemente:

- brzinu rezanja v (m/s), odnosno odgovarajući broj obrtaja na mašini n (o/min),
- pomak po zubu s_z (mm/z), odnosno odgovarajuća brzina kretanja stola mašine s (mm/min),
- dubina rezanja δ (mm).

Varirani režimi rezanja su prikazani u tabeli 1.

3.4. Merenje habanja alata

U cilju utvrđivanja karaktera kao i veličine parametara habanja alata u funkciji vremena rezanja, vršeno je praćenje habanja po grudnoj i ledjnoj površini.

Na ledjnoj površini alata praćena je srednja vrednost širine pojasa habanja na fazetama VB_g i VB_s .

Da bi fazete pri merenju bile u horizontalnom položaju, napravljen je pribor koji je uvek obezbedjivao isti položaj pojedine fazete, pri merenju habanja na alatnom mikroskopu.

Na grudnoj površini merena je širina kratera KB, tako što je pločica pri merenju ležala na stolu alatnog mikroskopa "Zeiss".

Merenje dubine kratera KT vršeno je na Šmalc-ovom mikroskopu, koji prvenstveno služi za merenje hrapavosti. Uz odgovarajuće uvećanje moguće je i merenje dubine kratera. Pločica je postavljena u naročiti pribor od pleksiglasa, koji je obezbedjivao uvek isti položaj.

3.5. Merenje hrapavosti obradjene površine

Merenje hrapavosti vršeno je na digitalnom perthometru S5P u RO "IDA" LŽTK Kikinda.

Mereni su sledeći parametri hrapavosti:

R_a - srednja aritmetička hrapavost

R_s - srednja geometrijska hrapavost

R_t - maksimalna hrapavost. Rastojanje između najvišeg brega i najdublje doline na putu merenja

R_z - srednja aritmetička hrapavost u deset tačaka.

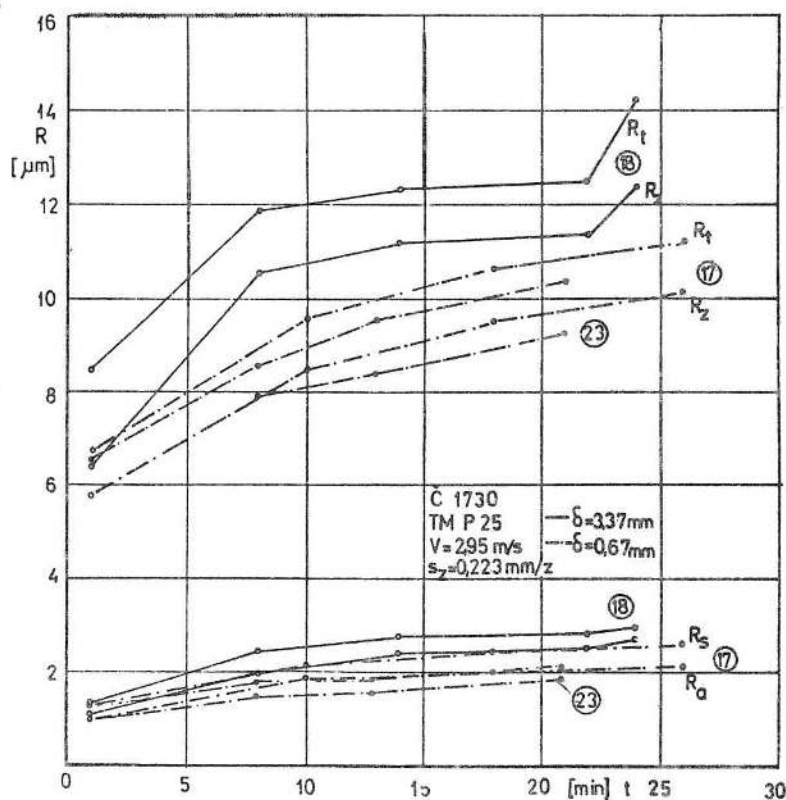
Obradak je bio velikih dimenzija i stegnut na mašini, tako da su u toku rezanja povremeno uzimani otisci obradjene površine pomoću plastične mase za uzimanje otisaka površine. To je bila plastična masa tipa "Technovit" 3040, crne boje. Proizvođač je "Kulzer" - SR Nemačka. To je, u stvari, dvokomponentni polimer - plastična masa koja se pre upotrebe pomeša u odgovarajućem odnosu. Posle mešanja dobija se tečna masa koja se posle nanošenja brzo stvrdne i onda se može skinuti mehanički.

Pri merenju otisak se postavlja na sto Perthometra u plastelin i izravna u horizontalni položaj.

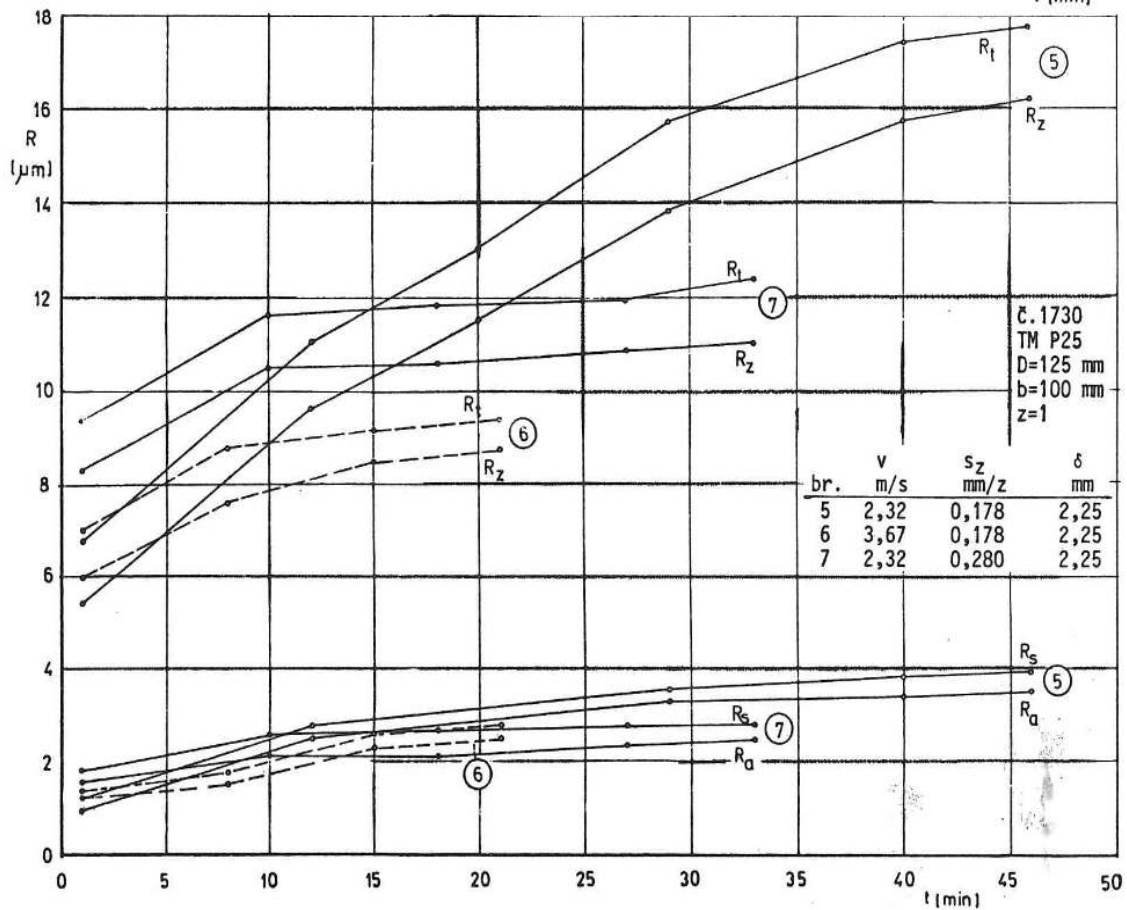
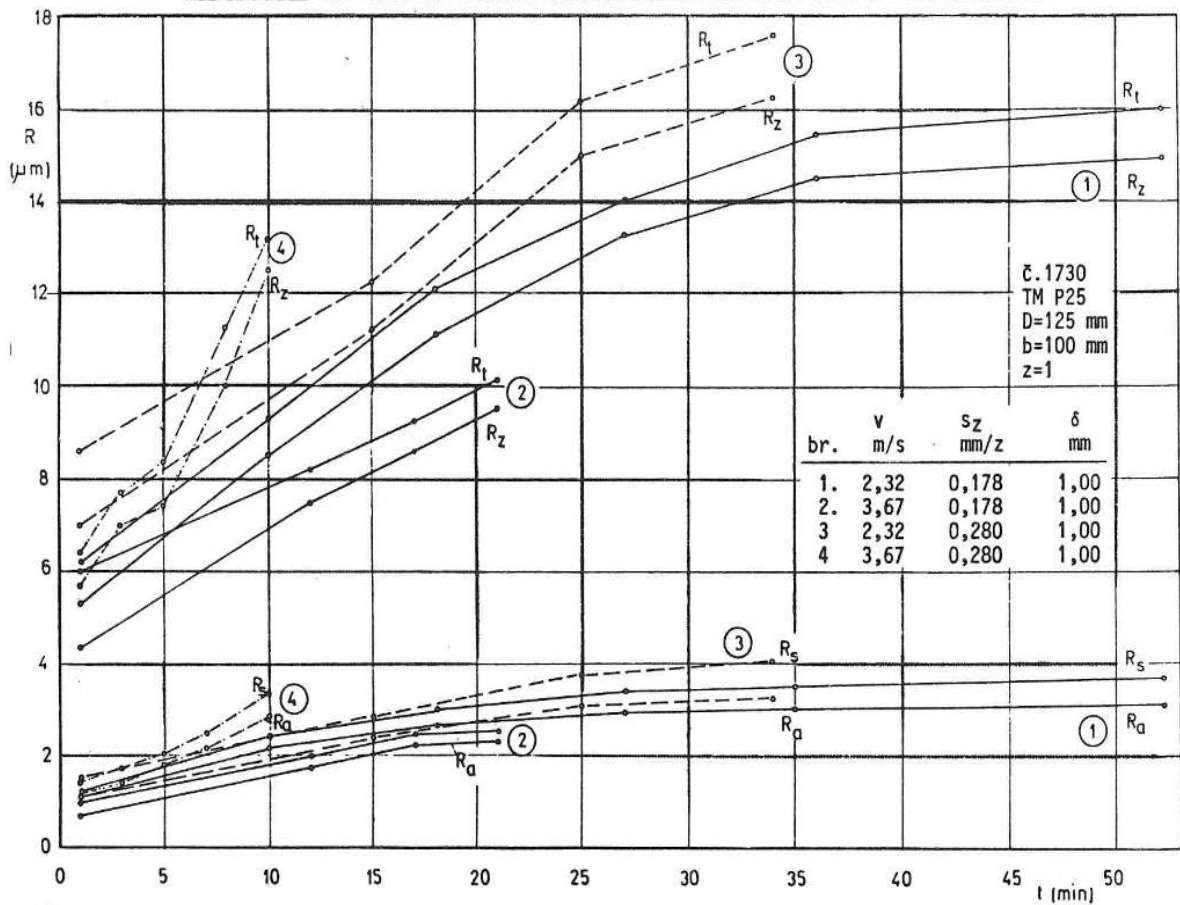
4. REZULTATI MERENJA I NJIHOVA OBRADA

Da bi se odredile konstante u matematičkom modelu potražene su promene u vremenu parametara hrapavosti obradjene površine do zatupljenja alata, kao i promene parametara habanja alata u vremenu rezanja. Ove promene praćene su za različite režime rezanja prema planu eksperimenta (tabela 1). Na osnovu odgovarajuće zavisnosti i vrednosti širine pojasa habanja na ledjnoj površini VB, prema planu eksperimenta, odredjene su merene vrednosti parametara hrapavosti u tabeli 1. Na slici 1, 2 i 3 su prikazane promene parametara hrapavosti obradjene površine a na slici 4. je prikazana promena parametara habanja alata na grudnoj i ledjnoj površini u vremenu rezanja za izabrane režime rezanja.

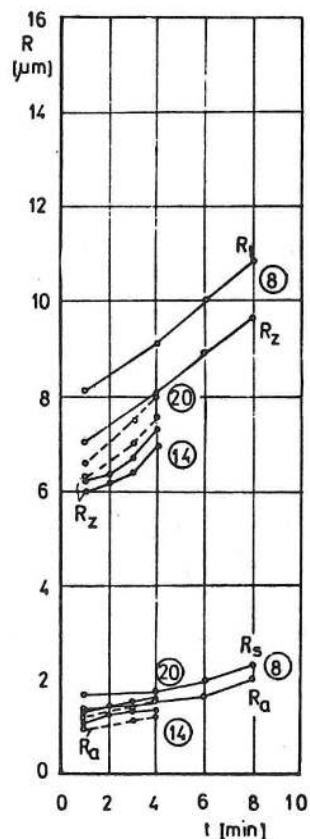
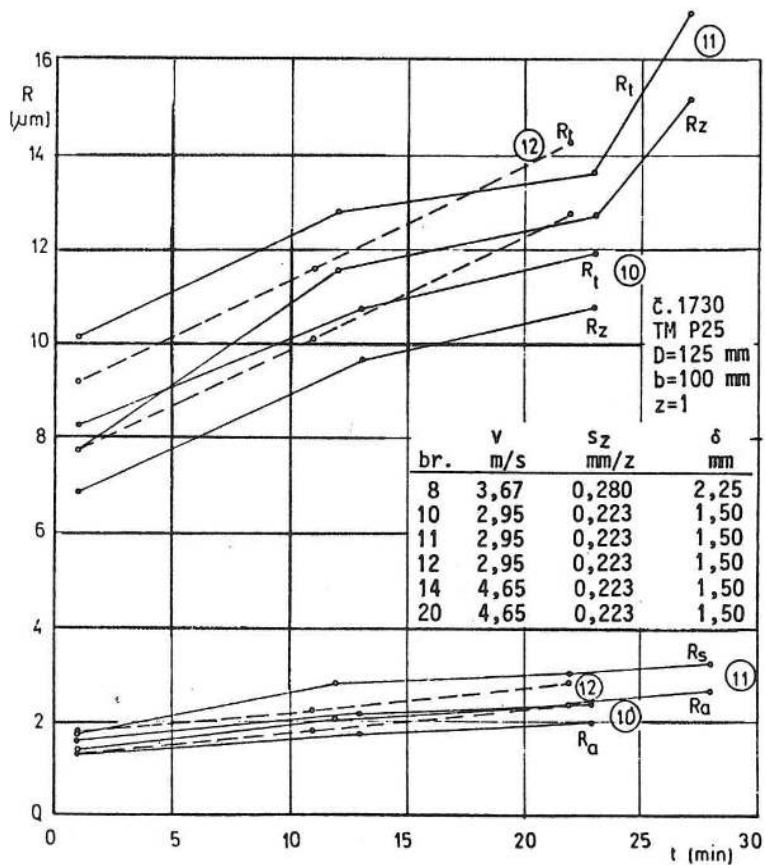
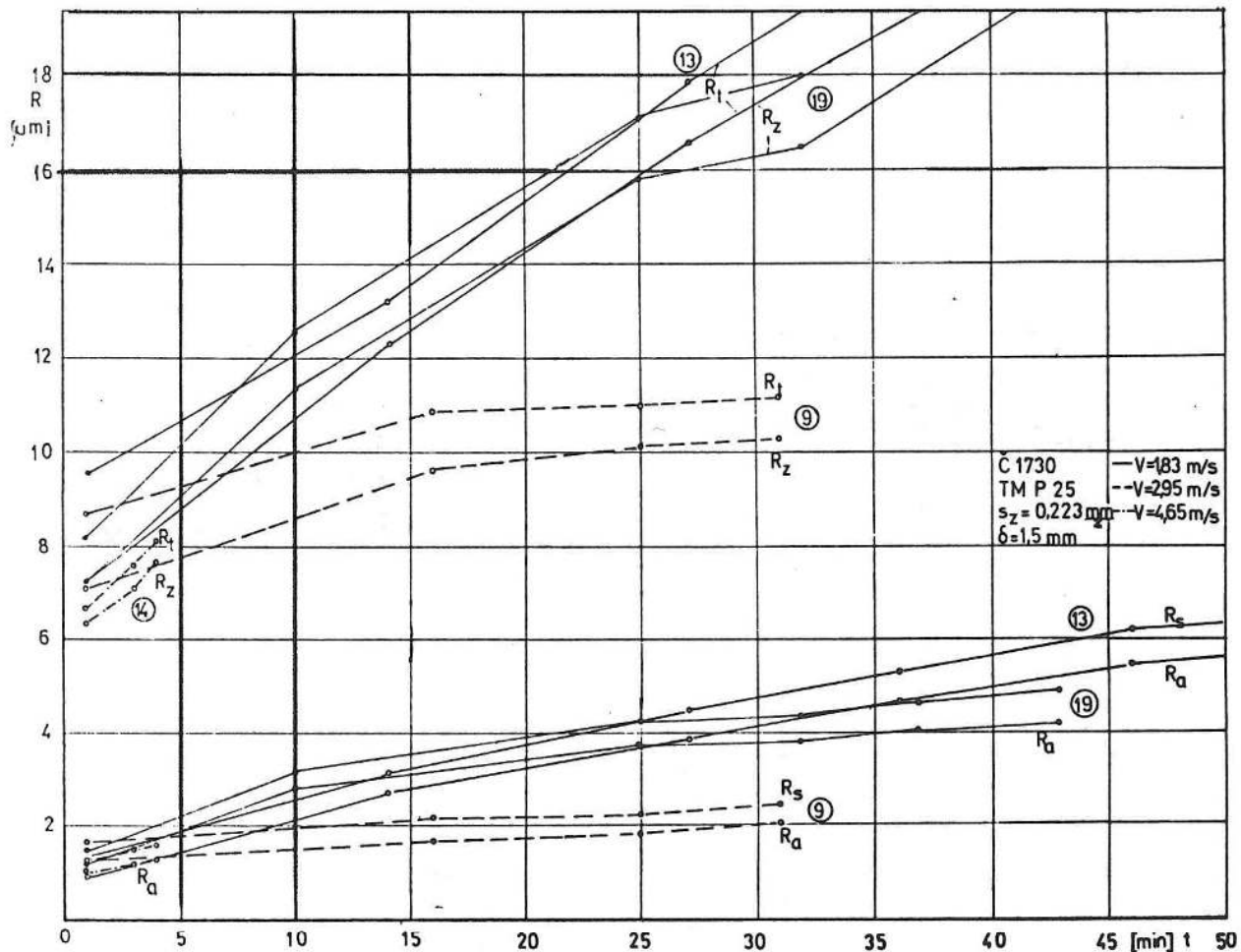
Obrada podataka prikazanih u tabeli 1. izvršena je pomoću elektronskog računara na interaktivnom principu /3/ i obuhvata regresionu i disperzionu analizu kao i ocenu tačnosti matematičkog modela. Konstante i eksponenti prema jednačini (9) prikazani su u tabeli 2.



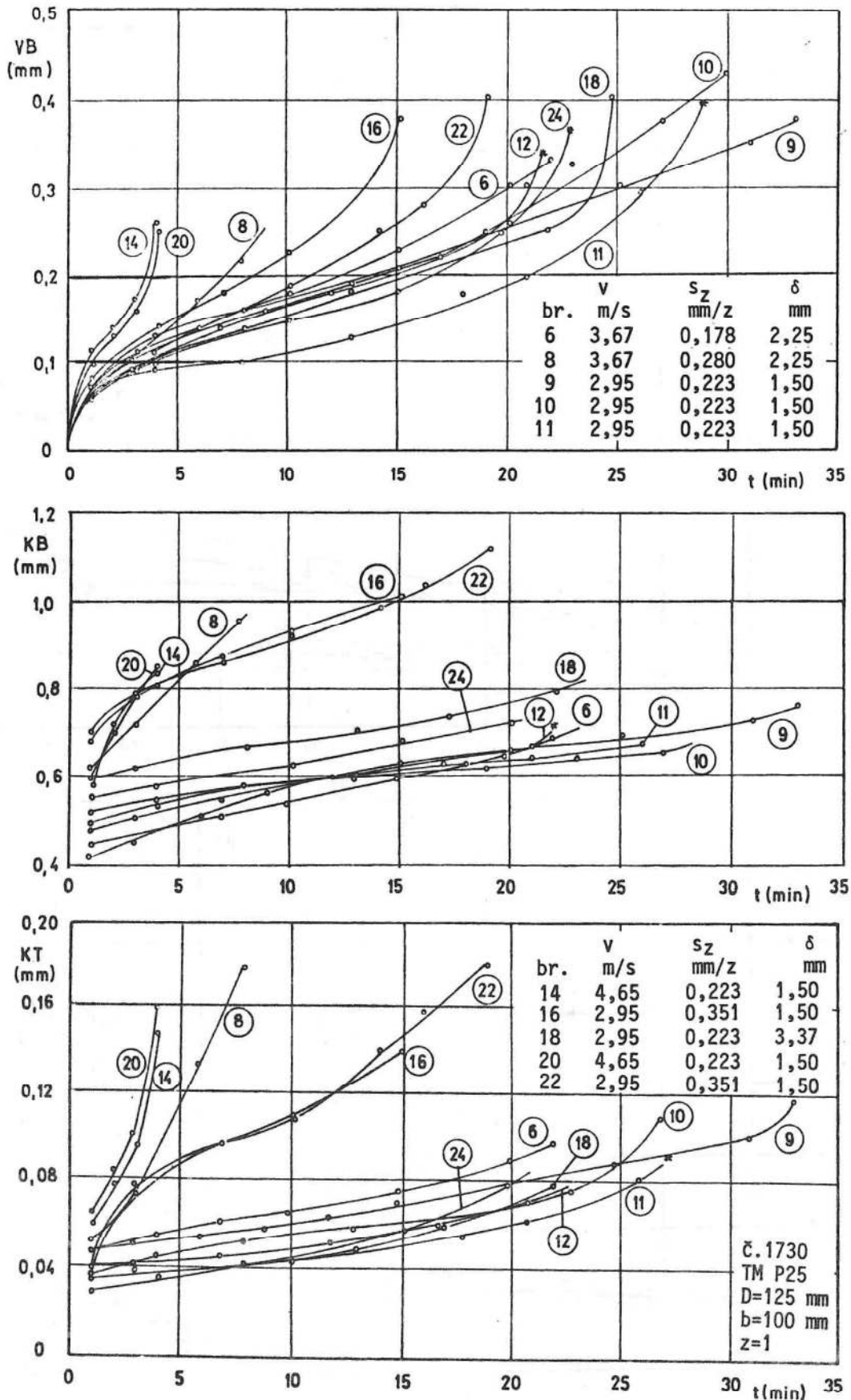
Slika 1. Parametri hrapavosti obradjen površine u vremenu rezanja
Fig 1. Surface roughnes parameters in the time of cutting



Slika 2. Parametri hrapavosti obradjene površine u vremenu rezanja
 Fig 2. Surface roughnes parameters in the time of cutting



Slika 3. Parametri hrapavosti obradjene površine u vremenu rezanja
Fig 3. Surface roughnes parameters in the time of cutting



Slika 4. Parametri habanja alata u vremenu rezanja
 Fig 4. Tool wear parameters in the time of cutting

TABELA 1

Redni broj	Kod faktora					Faktor					Merene vrednosti				Računske vrednosti			
	x ₀	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	V m/s	S mm/z	δ mm	VB mm	R _a μm	R _S μm	R _Z μm	R _t μm	R _a μm	R _S μm	R _Z μm	R _t μm	
1.	1.	-1.	-1.	-1.	-1.	2,32	0,178	1	0,12	2,0	2,1	7,8	8,55	2,12	2,41	8,92	10,21	
2.	1.	1.	-1.	-1.	-1.	3,67	0,178	1	0,12	1,45	1,7	5,8	6,9	1,41	1,66	6,24	7,36	
3.	1.	-1.	1.	-1.	-1.	2,32	0,280	1	0,12	2,0	2,5	9,8	11,1	2,08	2,47	10,02	11,14	
4.	1.	1.	1.	-1.	-1.	3,67	0,280	1	0,12	1,3	1,6	6,5	7,2	1,38	1,71	7,01	8,03	
5.	1.	-1.	-1.	1.	-1.	2,32	0,178	2,25	0,12	2,1	2,3	8,3	9,7	2,09	2,38	8,74	10,40	
6.	1.	1.	-1.	1.	-1.	3,67	0,178	2,25	0,12	1,4	1,65	5,0	8,1	1,39	1,64	6,12	7,50	
7.	1.	-1.	1.	1.	-1.	2,32	0,280	2,25	0,12	2,0	2,3	9,7	10,8	2,05	2,45	9,82	11,35	
8.	1.	1.	1.	1.	-1.	3,67	0,280	2,25	0,12	1,45	1,75	8,0	9,1	1,36	1,68	6,87	8,18	
9.	1.	-1.	-1.	-1.	1.	2,32	0,178	1	0,28	3,05	3,6	14,7	15,8	3,12	3,53	13,45	14,40	
10.	1.	1.	-1.	-1.	1.	3,67	0,178	1	0,28	2,2	2,4	8,5	9,15	2,07	2,43	9,41	10,37	
11.	1.	-1.	1.	1.	1.	2,32	0,280	1	0,28	3,1	4,0	15,5	16,8	3,05	3,63	15,11	15,71	
12.	1.	1.	1.	-1.	1.	3,67	0,178	1	0,28	2,7	3,2	12,5	13,5	2,03	2,49	10,58	11,32	
13.	1.	-1.	-1.	1.	1.	2,32	0,280	2,25	0,28	3,5	3,85	16,1	17,6	3,08	3,49	13,18	14,67	
14.	1.	1.	-1.	1.	1.	3,67	0,178	1	0,28	2,45	2,8	8,7	9,3	2,04	2,40	9,23	10,57	
15.	1.	-1.	1.	1.	1.	2,32	0,280	2,25	0,28	2,4	2,8	9,0	10,3	3,02	3,58	14,81	16,01	
16.	1.	1.	1.	1.	1.	3,67	0,280	2,25	0,28	1,75	2,1	9,05	10,2	2,00	2,46	10,37	11,54	
17.	1.	0.	0.	0.	0.	2,95	0,223	1,5	0,18	1,6	2,0	8,9	10,2	2,02	2,40	9,45	10,69	
18.	1.	0.	0.	0.	0.	2,95	0,223	1,5	0,18	1,6	2,0	9,1	10,3	2,02	2,40	9,45	10,69	
19.	1.	0.	0.	0.	0.	2,95	0,223	1,5	0,18	2,2	2,8	12,0	13,0	2,02	2,40	9,45	10,69	
20.	1.	0.	0.	0.	0.	2,95	0,223	1,5	0,18	1,85	2,3	10,3	11,8	2,02	2,40	9,45	10,69	
21.	1.	0.	0.	0.	0.	2,95	0,223	1,5	0,18	2,3	2,6	10,5	11,6	2,02	2,40	9,45	10,69	
22.	1.	0.	0.	0.	0.	2,95	0,223	1,5	0,18	2,7	3,1	10,4	11,4	2,02	2,40	9,45	10,69	
23.	1.	-2.	0.	0.	0.	1,83	0,223	1,5	0,18	3,3	3,7	14,2	15,4	3,10	3,54	13,70	15,03	
24.	1.	2.	0.	0.	0.	4,65	0,223	1,5	0,18	1,05	1,35	6,7	7,2	1,35	1,65	6,63	7,72	
25.	1.	0.	-2.	0.	0.	2,95	0,142	1,5	0,18	2,1	2,4	9,2	10,2	2,07	2,33	8,41	9,79	
26.	1.	0.	2.	0.	0.	2,95	0,351	1,5	0,18	2,5	2,9	12,0	13,2	1,98	2,46	10,61	11,66	
27.	1.	0.	0.	-2.	0.	2,95	0,223	0,67	0,18	2,0	2,25	9,0	10,1	2,05	2,42	9,64	10,49	
28.	1.	0.	0.	2.	0.	2,95	0,223	3,37	0,18	2,2	2,7	11,0	12,2	2,00	2,37	9,26	10,89	
29.	1.	0.	0.	0.	-2.	2,95	0,223	1,5	0,08	1,45	1,85	7,0	8,5	1,40	1,66	6,38	7,69	
30.	1.	0.	0.	0.	2.	2,95	0,223	1,5	0,40	2,6	3,20	15,1	17,0	2,91	3,43	13,91	14,78	

Tabela 2

R_a	Koeficijenti				R_s	Koeficijenti			
	Regresije		Signifikantn.			Regresije		Signifikantn.	
	Oznaka	Vredn.	Oznaka	Vredn.	Oznaka	Vredn.	Oznaka	Vredn.	
Model 1. reda	C	10,9163	F_{ro}	348,92	C	13,7938	F_{ro}	731,25	
	x_1	-0,8945	F_{r1}	22,51	x_2	-0,8165	F_{r1}	25,84	
	y_1	-0,0462	F_{r2}	0,06*	y_2	0,0584	F_{r2}	0,13*	
	z_1	-0,0151	F_{r3}	0,02*	z_2	-0,0149	F_{r3}	0,03*	
	u_1	0,4556	F_{r4}	19,93	u_2	0,4511	F_{r4}	26,92*	
	Adekvatnost		F_{RLF}	0,42	Adekvatnost		F_{RLF}	0,518	
Model prvog reda	Koeficijenti				Koeficijenti				
	Regresije		Signifikantn.		Regresije		Signifikantn.		
	Oznaka	Vredn.	Oznaka	Vredn.	Oznaka	Vredn.	Oznaka	Vredn.	
	C	74,7578	F_{ro}	12982,6	C	61,4491	F_{ro}	20666,9	
	x_3	-0,7779	F_{r1}	64,52	x_4	-0,7144	F_{r1}	78,06	
	y_3	0,2568	F_{r2}	6,86	y_4	0,1931	F_{r2}	5,57*	
z_3	-0,0247	F_{r3}	0,20*	z_4	0,0232	F_{r3}	0,26*		
u_3	0,4849	F_{r4}	85,58	u_4	0,4058	F_{r4}	85,96		
Adekvatnost		F_{RLF}	2,237	Adekvatnost		F_{RLF}	0,276		

Uslov signifikantnosti F_{ri} $F_t = 6,61$

Uslov adekvatnosti F_{ad} $F_t = 4,47$

5. ZAKLJUČCI

Na osnovu ranije iznesenog može se zaključiti:

- U radu je predložen matematički model, koji opisuje vremenski karakter procesa rezanja
- Uočava se da parametri hrapavosti drastično rastu u vremenu rezanja zbog habanja alata. Vremenska promena je složena funkcija, slična po karakteru promeni habanja alata. Ova promena zavisi od elemenata režima rezanja
- Da bi se opisao vremenski karakter promena hrapavosti obradjene površine predloženi su matematički modeli (9) u funkciji elemenata režima rezanja (v , s_z , δ) i srednje vrednosti širine pojasa habanja (VB). Svi modeli su adekvatni a brzina i dubina rezanja nisu

LITERATURA

- /1/ Kovač P.: Zavisnost hrapavosti obradjene površine od habanja alata, Zbornik radova Instituta za proizvodno mašinstvo, br.4., Novi Sad, 1987.
- /2/ Kovač P.: Istraživanje podloga za upravljanje procesom čeonog glodanja. Doktorska disertacija, FTN, Novi Sad, 1987.
- /3/ Kovač P., Sekulić S.: Sistemski prilazi primeni višefaktornog plana eksperimenta na kvalitet obradjene površine pri završnoj obradi na strugu, Zbornik radova ICPR-81, Novi Sad
- /4/ Kovač P., Milikić D.: Opotrebenie rezného klina a drsnost' obrobeného povrchu pri čelnom frézovaní. Zbornik prác 3.Sympozium INTERTRIBO'87, Visoké Tatry, 1987.
- /5/ Pavlovski V.: Prilog identifikaciji medjuzavisnosti habanja glodala i kvaliteta obradjene površine. Zbornik radova X Savetovanja proizvodnog mašinstva Jugoslavije, knj.III, Beograd, 1975.
- /6/ Šolaja V., Radonjić S., Lukić Lj.: Dva priloga stavu o koncentrisanom habanju reznog alata kao univerzalnom fenomenu. Zbornik radova XX Savetovanja proizvodnog mašinstva, Proizvodne tehnologije, Beograd, 1986.
- /7/ Šolaja V.: Wear of Carbide Tools and Surface Finish Generated in Finish Turning of Steel, Wear, Vol.1, 1958.
- /8/ Taraman, K., Lambert B.: A Surface Roughness Model for Turning Operation, Int.J.Prod.Res., Vol.12, No 6, 1974.
- /9/ Wong W.C.K., Middleton D.: On the Estimation of Parameters for a Nonlinear Model of a Milling proces, Int.J.Prod.Res., Vol.22, No.2, 1984.