

<https://doi.org/10.24867/JPE-1989-06-045>

ORIGINALNI NAUČNI RAD

P. Kovač

ZAVISNOST OTPORA REZANJA OD HABANJA ALATA

Rezime

U radu su prikazana eksperimentalna istraživanja otpora rezanja i habanja alata pri čeonom glodanju. Istraživanja su vršena pri različitim režimima rezanja a predložena je zavisnost između komponenata otpora rezanja i širine pojasa habanja.

CUTTING FORCES AS A FUNCTION OF TOOL WEAR

Summary

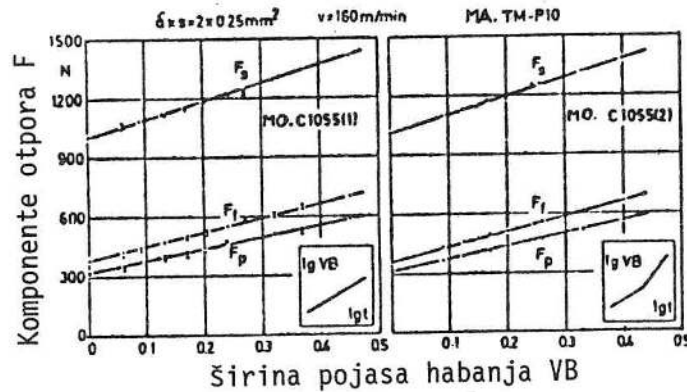
This paper present the experimental results of cutting forces and tool wear during face milling. Investigation have been performed with various values of cutting conditions and functional relationship between cutting forces and tool wear, was presented.

1. UVOD

Istraživanja vezana za promenu komponenata otpora rezanja u funkciji parametara habanja reznog klina su relativno novijeg datuma. Ona su proizašla iz potrebe posrednog praćenja habanja alata pomoću parametara koji se lako mogu kontinualno pratiti, odnosno registrovati. Obzirom da se komponente otpora rezanja u najnovije vreme mere pomoću dinamometara čiji su izlazni signali električni to se oni mogu koristiti kao ulazni za adaptivno upravljanje procesom jer se preko njih posredno vrši merenje "ekvivalentnog habanja". Polazeći od ovih pretpostavki razradjene su metodologije utvrđivanja obrad-

Kovač dr Pavel, docent Fakulteta tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, 21000 NOVI SAD, V. Vlahovića 3.

lživosti materijala obradaka pri različitim materijalima alata i elementima režima obrade /1,2,4/, pri čemu se ukazuje na mogućnosti korelacije između komponenti otpora rezanja i parametara habanja VB, slika 1 /2/.



Sl.1. Zavisnost komponenti otpora rezanja od VB /2/

Za prikazivanje komponenti otpora rezanja najčešće se koriste zavisnosti (Kienzle-Victor), koje baziraju na specifičnom otporu rezanja k_{i11} :

$$F_i = a \cdot h^{1-c_i} \cdot K_{i11} \quad (1)$$

gde je: axh - presek strugotine

i - indeks koji odgovara komponenti otpora rezanja.

Da bi se uzelo u obzir habanje alata jednačina (1) se proširuje članom koji se odnosi na dužinu rezanja l :

$$F_{i(\text{hab})} = a \cdot h(\phi)^{1-c_{ih}} \cdot k_{i111} \cdot l^{c_{il}} \quad (2)$$

Ovde se uvodi specifični otpor rezanja za dužinu $l=1$ m:

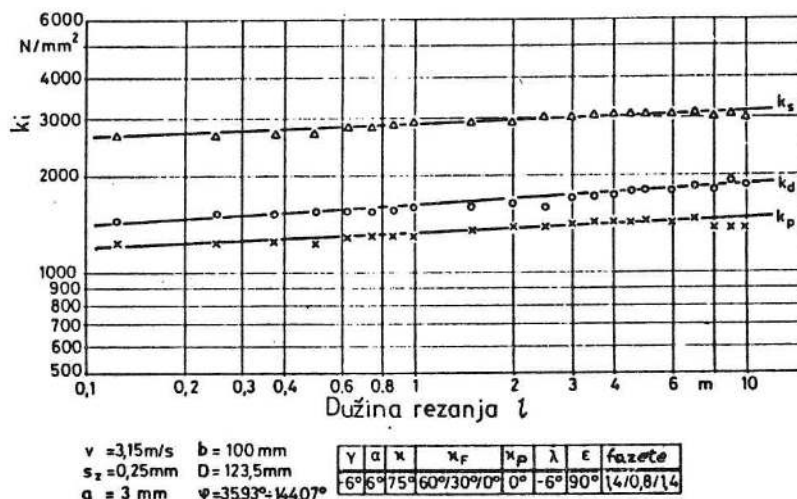
$$a = 1 \text{ mm}$$

$$k_{i111} = k_{i1} \quad h = 1 \text{ mm} \quad i = 1,2,3 \quad (3)$$

$$l = 1 \text{ m}$$

Konstante C_{ih} i C_{il} zavise od materijala obradka i uslova obrade.

Zavisnost specifičnog otpora rezanja k_i od dužine rezanja l za sve tri komponente otpora rezanja prikazana je na slici 2 /1/.



Sl.2. Specifični otpor rezanja u zavisnosti od dužine rezanja /1/

2. MATEMATIČKI MODEL KOMPONENTI OTPORA REZANJA

Na osnovu ranijih istraživanja može se zaključiti da najznačajniji parametri procesa obrade, kao što su otpori rezanja, hrapavost obradjene površine /3/ i temperature pri rezanju, zavise od parametara habanja alata. U matematički model uvodi se širina pojasa habanja na ledjnoj površini kao najznačajniji parametar a koji se i najlakše meri. Iz gore navedenih razloga se predlaže da se u matematički model unose širina pojasa habanja VB , kao univerzalni parametar za sve parametre procesa obrade.

Matematički model za komponente otpora rezanja u funkciji od habanja alata potražiće se u obliku linearne i eksponencijalne zavisnosti.

$$F_i = a_{1i} + b_{1i} VB \quad (4)$$

$$F_i = a_{2i} \cdot VB^{b_{2i}} \quad (5)$$

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

Za odredjivanje konstanti u predloženim matematičkim modelima koristiće se metoda najmanjih kvadratnih odstupanja.

3. USLOVI PRI EKSPERIMENTALNOM ISPITIVANJU

3.1. Materijal-obradak

Eksperimentalna ispitivanja su vršena na čeliku za poboljšanje č.1730. Isporučen je u obliku šipke $\varnothing 130 \times 4000$ 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 100x130x700 mm, da bi se obezbedila konstantna širina glodanja.

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

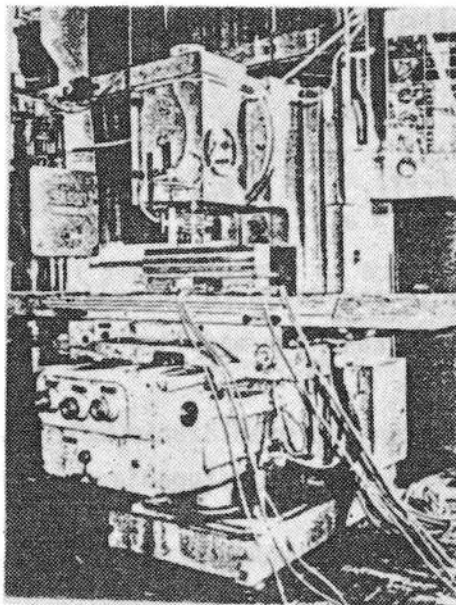
3.2. Mašina i alat

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 $\varnothing 125$ 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 sa jednim zubom.

Na slici 3. je prikazana mašina alatka, alat i obradak postavljen na dinamometre.



S1.3. Mašina, alat i obradak

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

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.

Tabela 1.

br.	v m/s	s_z mm/z	δ mm	br.	v m/s	s_z mm/z	δ mm
1	2,32	0,178	1,00	13	1,83	0,223	1,50
2	3,67	0,178	1,00	14	4,65	0,223	1,50
3	2,32	0,280	1,00	15	2,95	0,142	1,50
4	3,67	0,280	1,00	16	2,95	0,351	1,50
5	2,32	0,178	2,25	17	2,95	0,223	0,67
6	3,67	0,178	2,25	18	2,95	0,223	3,37
7	2,32	0,280	2,25	19	1,83	0,223	1,50
8	3,67	0,280	2,25	20	4,65	0,223	1,50
9	2,95	0,223	1,50	21	2,95	0,142	1,50
10	2,95	0,223	1,50	22	2,95	0,351	1,50
11	2,95	0,223	1,50	23	2,95	0,223	0,67
12	2,95	0,223	1,50	24	2,95	0,223	3,37

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 .

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.

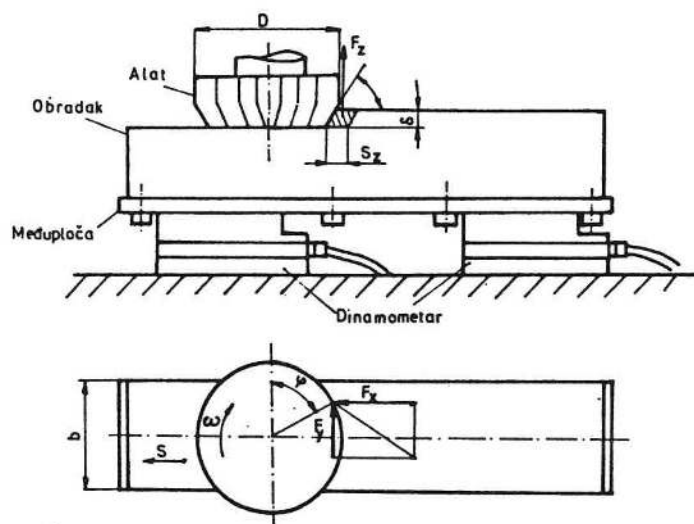
Na grudnoj površini merena je širina kratera KB i odstojanje sredine kratera KM, tako što je pločica pri merenju ležala na stolu alatnog mikroskopa "Zeiss".

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 otpora rezanja

Da bi se ostvarilo kontinualno merenje otpora rezanja do zatupljenja alata, obradak je postavljen na dve trokomponentne merne platforme "Kistler" tip 9257A, koje imaju sledeće karakteristike: max.merno područje $F_{x_1}=5000$ N; $F_y=5000$ N; $F_z=1000$ N moguće preopterećenje 50%, inertnost <1%, histerezis <1%.

Povezivanje platformi i stezanje obradaka izvršeno je pomoću međuploče (slika 4.).



S1.4. Spajanje dinamometara i obradaka

Spajanje mernih platformi pomoću međuploče i njihovo električno povezivanje omogućuje da se u bilo kom položaju glodala po dužini obradka dobijaju iste vrednosti otpora rezanja ukoliko su isti ostali uslovi. Takođe je izbegnuto konzolno opterećenje i preopterećenje dinamometra. Težina

obradka se automatski kompenzira pomeranjem početnog položaja zraka na oscilografu.

Električni signali sa obe merne platforme se spajaju i kao jedan za svaku od komponenata ulaze u kapacitivni pojačivač "Kistler" tip CA5001 i galvanometrijski pojačivač "Kistler" tip GA5211 A na tri kanala svetlosnog oscilografa "August Fischer K5", tip AF 8 UV-6.

4. REZULTATI MERENJA

Da bi se odredile konstante u matematičkim modelima (4) i (5) potražene su promene u vremenu komponenti otpora rezanja do zatupljenja alata, kao i promenu parametara habanja alata u vremenu rezanja. Ove promene praćene su za različite režime rezanja (tabela 1).

Na slici 5. su prikazane promene parametara habanja alata u vremenu rezanja, a na slici 6 i 7 promene komponenti otpora u vremenu rezanja, za ispitivane režime rezanja.

5. OBRADA PODATAKA

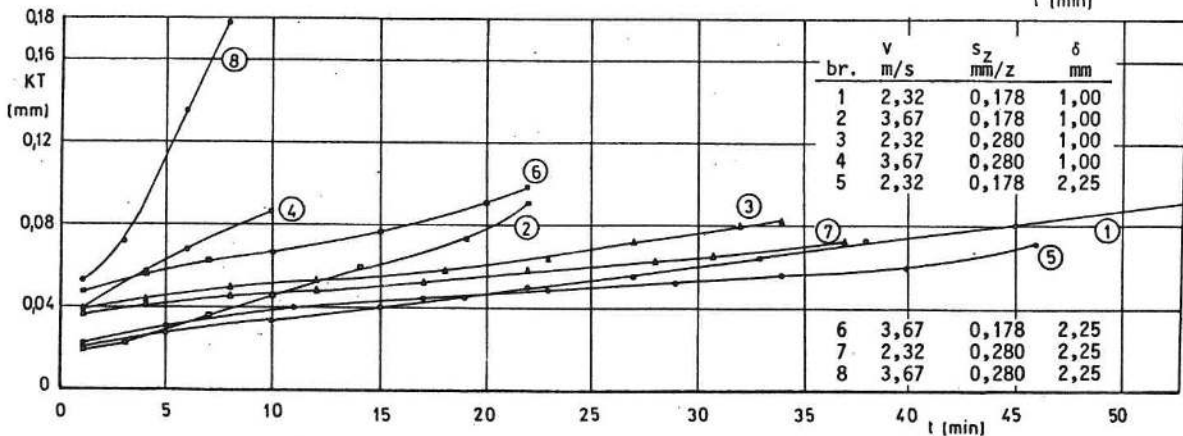
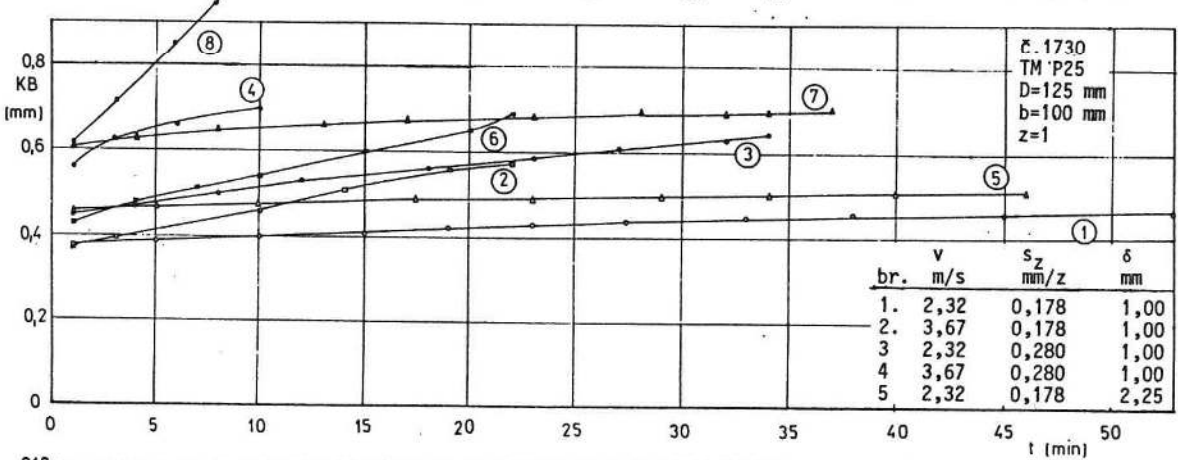
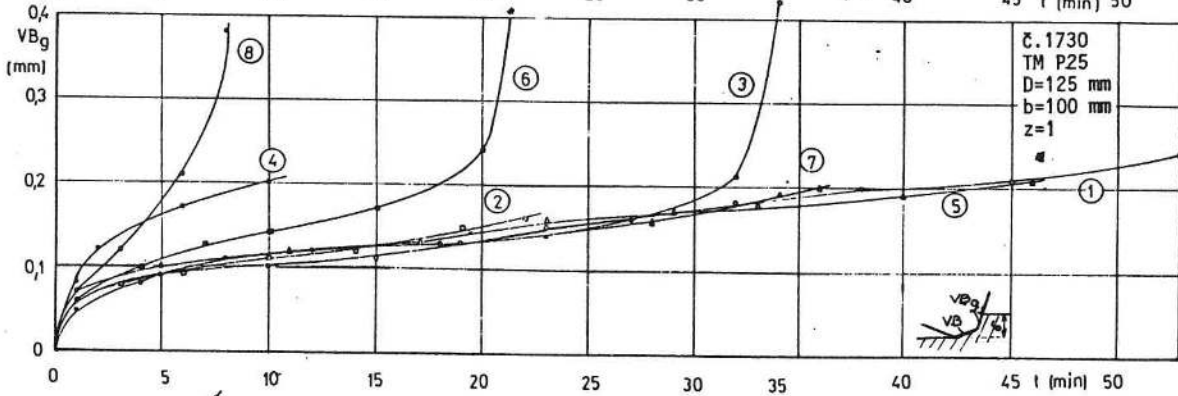
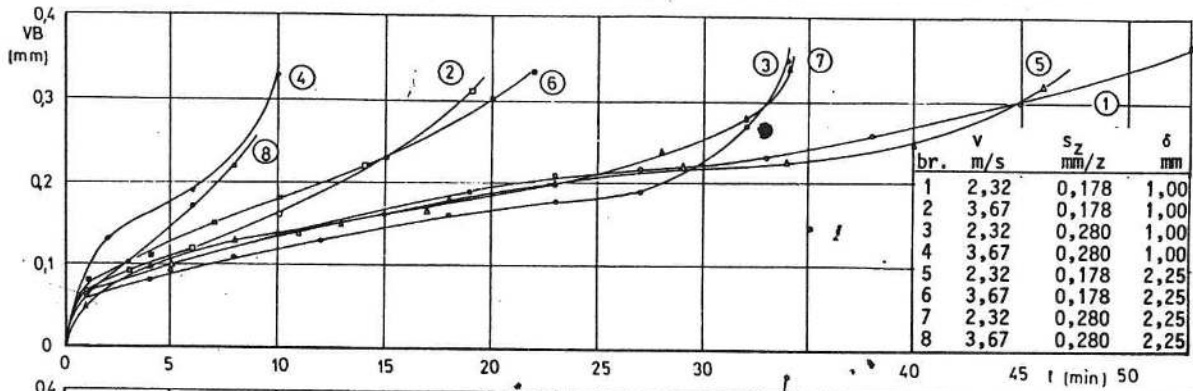
Na osnovu izmerenih vrednosti komponenata otpora rezanja u funkciji vremena rezanja i promene parametara habanja alata u funkciji vremena rezanja mogu se naći zavisnosti komponenti otpora rezanja od bilo kog parametra habanja, pri različitim režimima rezanja. U radu je usvojen parametar VB.

U tabeli 2. su date konstante a_1 i b_1 i pripadajući koeficijenti korelacije R linearne zavisnosti (4) a u tabeli 3. konstante a_2 i b_2 i pripadajući koeficijenti korelacije u eksponencijalnoj zavisnosti (5) komponenata otpora rezanja od širine pojasa habanja VB.

6. ANALIZA REZULTATA ISPITIVANJA

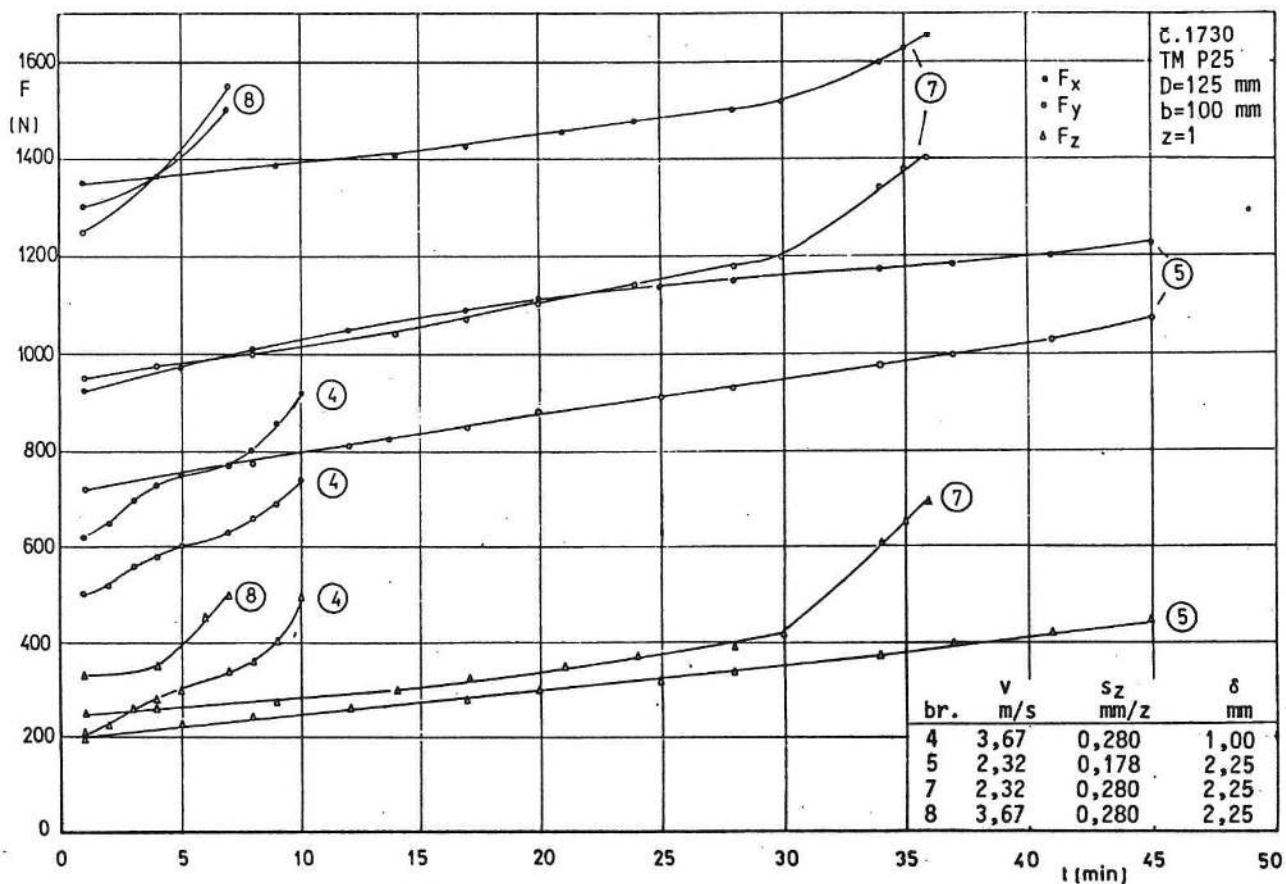
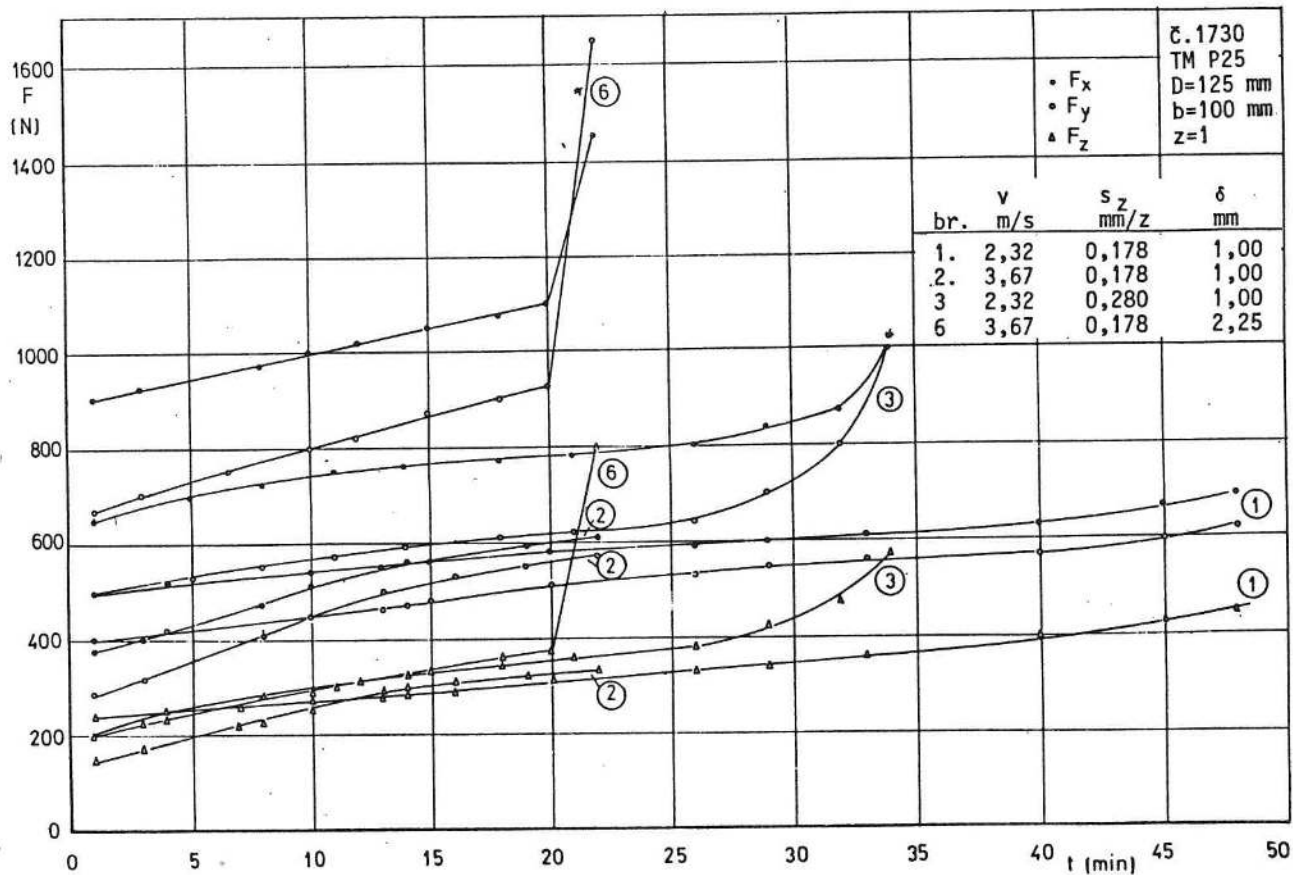
U ispitivanom intervalu režima rezanja najveći uticaj na habanje alata ima brzina rezanja, zatim pomak po zubu a najmanje utiče dubina rezanja (sa povećanjem dubine rezanja izrazito se povećava habanje na grudnoj površini KB i KT).

Dubina rezanja najmanje utiče na širinu pojasa habanja na ledjnoj površini (VB) (koja se najčešće uzima kao kriterijum postojanosti alata). Dubina rezanja najviše utiče na širinu kratera (KB), u početku ona naglo raste, dok je dalja promena blaga.

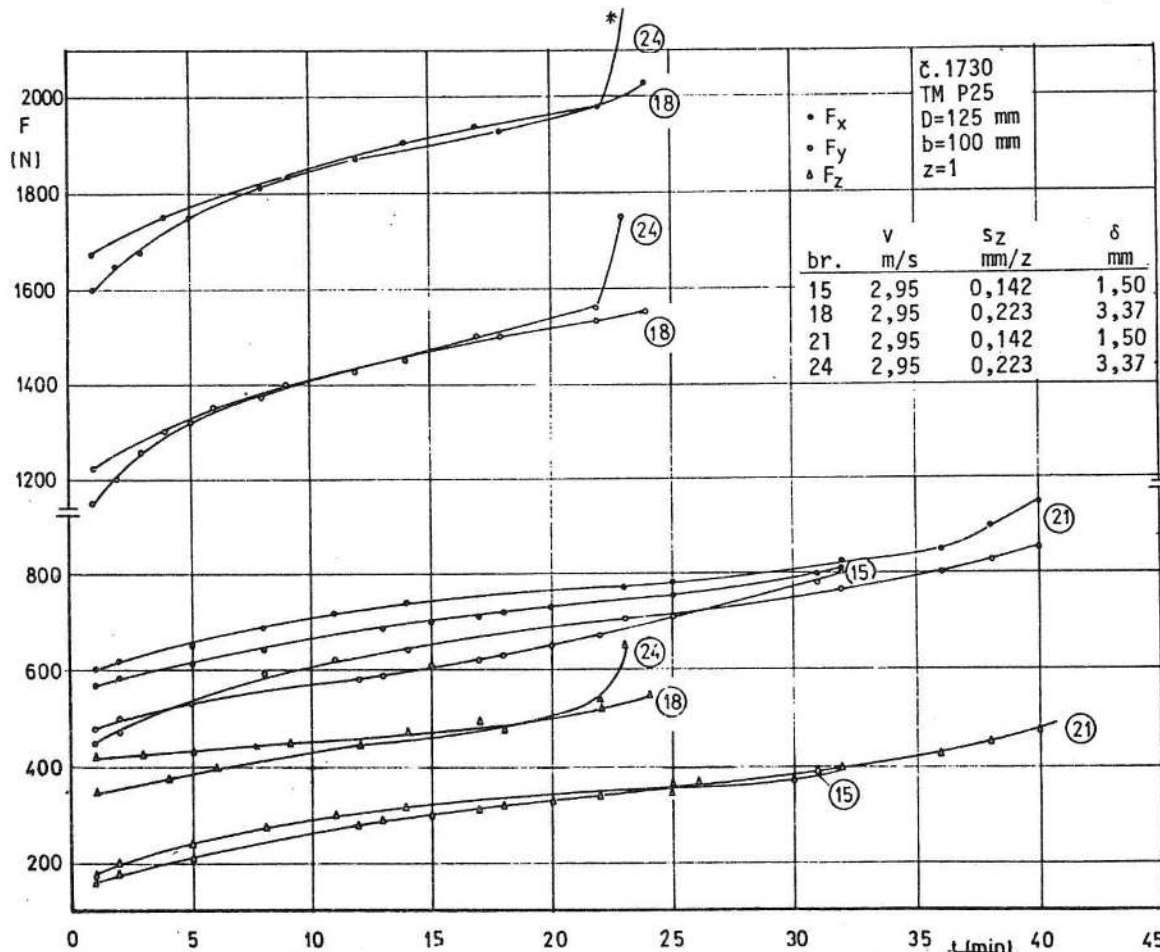
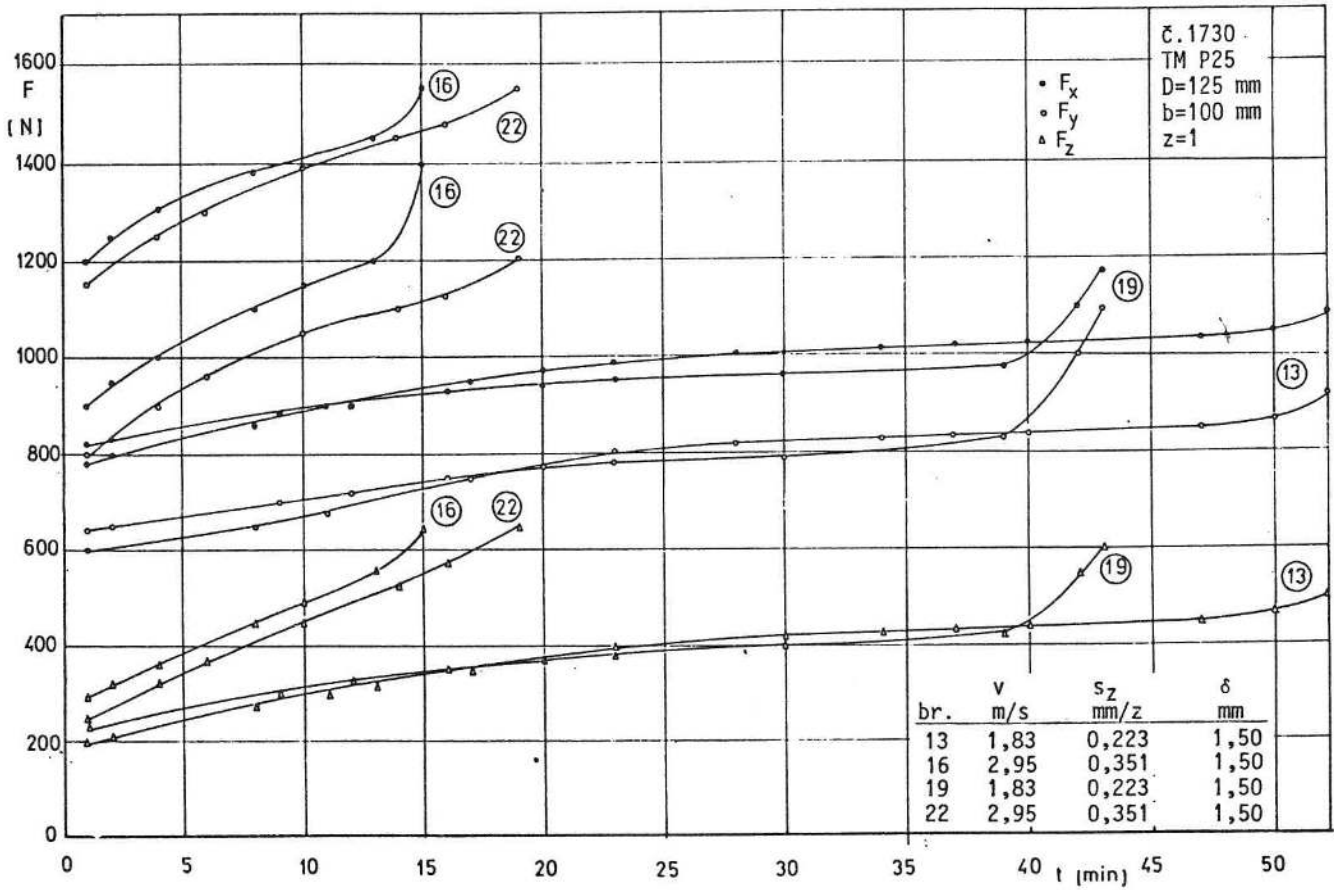


S1.5. Parametri habanja u vremenu rezanja

Zavisnost otpora rezanja od habanja alata



Sl.6. Komponente otpora u vremenu rezanja



Sl.7. Komponente otpora u vremenu rezanja

Tabela 2.

Režim	F _x			F _y			F _z			R
	a ₁	b ₁	R	a ₁	b ₁	R	a ₁	b ₁	R	
1	441,78	727,02	0,977	336,07	874,32	0,974	161,89	852,74	0,971	
2	336,78	884,07	0,967	249,48	1041,59	0,967	122,60	684,28	0,961	
3	598,21	1109,45	0,991	360,49	1681,59	0,981	144,62	1252,91	0,996	
4	546,77	1138,94	0,990	430,12	948,35	0,999	108,56	1139,98	0,993	
5	859,97	1283,04	0,977	596,57	1559,66	0,986	112,91	1080,89	0,976	
6	711,18	1804,18	0,846	352,176	2846,54	0,804	14,31	1748,05	0,818	
7	1270,34	963,72	0,987	829,34	1460,43	0,986	105,48	1397,16	0,955	
8	1168,30	1597,94	0,995	1064,95	2396,91	0,990	241,03	1061,86	0,943	
9	745,88	1028,73	0,998	559,69	1141,59	0,995	160,81	1057,15	0,989	
10	744,83	909,36	0,991	583,79	881,82	0,989	156,06	1086,44	0,989	
11	667,99	1314,44	0,992	486,43	1236,06	0,993	156,54	1375,15	0,989	
12	728,52	1201,07	0,998	486,17	1532,91	0,985	202,74	977,05	0,992	
13	718,61	1251,31	0,968	501,56	1385,55	0,975	121,90	1298,18	0,979	
14	655,12	1690,48	0,994	587,27	1119,05	0,979	102,74	880,95	0,995	
15	503,93	982,43	0,998	462,62	1152,23	0,967	102,81	978,87	0,996	
16	1148,25	1101,71	0,979	770,93	1662,12	0,999	210,08	1185,89	0,994	
17	401,23	500,56	0,996	199,57	876,20	0,997	110,05	65737	0,999	
18	1519,44	1831,16	0,972	1105,98	1666,50	0,956	369,54	602,58	0,997	
19	712,12	1180,17	0,981	492,18	1486,71	0,961	109,13	1367,39	0,988	
20	690,20	1158,70	0,996	627,99	689,48	0,997	106,09	596,42	0,998	
21	536,32	1043,53	0,995	376,64	1360,76	0,997	127,02	958,41	0,993	
22	1117,51	1201,68	0,962	772,68	1190,53	0,956	191,56	1247,64	0,980	
23	392,55	454,90	0,997	205,04	718,39	0,997	77,59	1047,80	0,970	
24	1614,36	1354,50	0,981	1161,95	1431,25	0,972	308,16	748,52	0,979	

Tabela 3.

Režim	F _x			F _y			F _z		
	a ₂	b ₂	R	a ₂	b ₂	R	a ₂	b ₂	R
1	812,471	0,1900	0,952	825,807	0,2814	0,975	647,056	0,3984	0,948
2	899,026	0,3240	0,986	992,832	0,4531	0,985	644,508	0,5348	0,979
3	1189,761	0,2236	0,973	1239,617	0,3617	0,929	1017,498	0,5846	0,995
4	1217,371	0,2695	0,985	1000,573	0,2825	0,994	915,593	0,6110	0,988
5	1566,047	0,2036	0,992	1484,680	0,2938	0,970	871,172	0,5903	0,968
6	1306,885	0,1506	0,995	1238,099	0,2492	0,992	660,672	0,4701	0,996
7	1773,892	0,1097	0,912	1576,362	0,1998	0,913	950,912	0,5459	0,891
8	1640,351	0,0895	0,973	1791,319	0,1349	0,972	613,356	0,2426	0,936
9	1333,587	0,1963	0,993	1228,679	0,2583	0,992	924,024	0,5404	0,992
10	1273,421	0,1850	0,989	1105,267	0,2186	0,986	874,011	0,5094	0,972
11	1363,805	0,2312	0,993	1152,811	0,2751	0,988	1021,457	0,5381	0,985
12	1340,959	0,1943	0,989	1299,119	0,2989	0,972	827,982	0,4349	0,998
13	1378,432	0,2105	0,984	1775,118	2,0963	0,949	4703,434	0,8158	0,972
14	1354,523	0,2418	0,991	1052,449	0,2133	0,998	502,074	0,4671	0,993
15	1038,315	0,2342	0,989	1097,077	0,3307	0,957	816,261	0,6123	0,999
16	1789,832	0,1572	0,996	1524,141	0,2400	0,993	1149,049	0,5751	0,996
17	662,457	0,1645	0,972	741,381	0,4083	0,995	523,841	0,4661	0,989
18	2559,751	0,1574	0,998	2005,160	0,1958	0,989	679,494	0,1955	0,983
19	1300,037	0,1924	0,947	1255,531	0,2851	0,923	1034,404	0,6161	0,981
20	1453,988	0,2754	0,9999	1055,700	0,1929	0,983	559,746	0,5555	0,998
21	1115,807	0,2337	0,979	1213,216	0,3676	0,994	781,476	0,5348	0,992
22	1843,396	0,1776	0,996	1524,141	0,2400	0,994	1149,049	0,5751	0,996
23	627,787	0,1550	0,974	632,406	0,3557	0,992	898,726	0,6951	0,982
24	2314,034	0,1218	0,9998	1930,049	0,1698	0,998	737,458	0,284	0,994

Na osnovu dijagrama (slika 6. i 7) može se zaključiti da je najveća komponenta F_x , zatim F_y a najmanja F_z . Promena komponenti otpora rezanja za sve režime u funkciji vremena pokazuje približno isti tok.

Komponente otpora u funkciji vremena rezanja menjaju se u skladu sa promenama parametara habanja. Moguće je razlikovati sve tri faze promene karakteristične za krive habanja. Koeficijent korelacije linearne ili eksponencijalne zavisnosti otpora rezanja od parametara habanja V_B pokazuje visoku vrednost (tabela 2. i 3.), što svedoči o dobroj korelaciji sa habanjem pri rezanju različitim režimima. U većini slučajeva eksponencijalan oblik zavisnosti ima veće vrednosti koeficijenta korelacije u odnosu na linearni. U nekim slučajevima eksponent b_2 je blizak jedinici pa se ova zavisnost može predstaviti linearnim oblikom, koji je pogodniji za upravljanje procesom.

Pri pojavi krzanja sečiva (krive 3. i 6) najveći porast ima komponenta F_y (što je u skladu sa ranijim istraživanjima /4/).

Režimi rezanja utiču na komponente otpora rezanja. Najveći uticaj pokazuje dubina rezanja i porastom dubine rezanja rastu sve tri komponente otpora. Promena komponenti otpora u vremenu rezanja pri variranju dubine je približno ista a vrednosti su paralelno pomerene u zavisnosti od dubine. Kod najveće vrednosti dubine (3,37 mm) veća je razlika u vrednosti pojedinih komponenti. Pri najmanjoj dubini rezanja (0,67 mm) vrednosti su sasvim bliske tako da je porast komponente F_y zbog habanja veći od vrednosti F_x pri rezanju oštrim alatom.

Veliki uticaj na komponente otpora ima i pomak po zubu. Pri vrednosti pomaka 0,142 mm/z vrednosti komponenti otpora su bliske naročito F_x i F_y . Sa povećanjem pomaka na 0,223 mm/z vrednosti i razlike komponenti razlike se povećavaju, tako da su najveće pri najvećem pomaku 0,351 mm/z. Promena krivih u funkciji vremena, pri variranju pomaka je uočljiva, što je u vezi sa različitim habanjem.

Najmanji uticaj na komponente otpora ima brzina rezanja. Uočava se da su komponente rezanja u početku i pri zatupljenju alata približno iste. Razlikuju se samo promene komponenti otpora pri rezanju različitim brzinama u funkciji vremena rezanja jer je habanje alata vrlo različito pri različitim brzinama.

Promena pojedinih komponenti otpora u vremenu rezanja je slična kada je u pitanju isti režim. Odstupanja koja se javljaju u vremenu rezanja su posledica različitog habanja što je uočljivo naročito na kraju perioda rezanja.

Kod režima rezanja sa dva ponavljanja odstupanja su relativno mala i javljaju se pri kraju perioda rezanja (krive 13. i 19, 15 i 21, 16 i 22, 18 i 24).

7. ZAKLJUČCI

Na osnovu napred izloženog mogu se doneti sledeći zaključci:

- Komponente otpora rezanja u vremenu menjaju se po karakteru slično kao parametri habanja.
- Korelacija između komponenti otpora rezanja i širine pojasa habanja na ledjnoj površini može se prikazati u linearnom i eksponencijalnom obliku.

8. LITERATURA

- /1/ Kamm, H.: Beitrag Zur Optimierung des MesserkopfräSENS, Dissertation, Universität Karlsruhe, 1977.
- /2/ König W., Langhammer K., Schemmel N.U.: Correlations between Cutting Force Components and Tool Wear, Annals of the CIRP, Vol.21/1/1972.
- /3/ Kovač P.: Istraživanje podloga za upravljanje procesom čeonog glodanja. Doktorska disertacija, FTN, IPM, Novi Sad, 1987.
- /4/ Müller M.: Zerspankraft, Werkzeugbeanspruchung und Verschleiss beim FräSEN mit Hartmetall, Dissertation Universität Karlsruhe, 1982.