

<https://doi.org/10.24867/JPE-1993-10-119>

ORIGINALNI NAUČNI RAD

**Pejić V., Sovilj B.**

**KORELACIJA IZMEĐU MAKSIMALNE VISINE NERAVNINA I  
SREDNJEG ARITMETIČKOG ODSTUPANJA PROFILA OD SREDNJE  
LINIJE OBRADJENE POVRŠINE PRI ODVALNOM GLODANJU**

**CORRELATION BETWEEN MAXIMUM ROUGHNESS HEIGHT AND  
AVERAGE ARITHMETIC DEVIATION OF THE PROFILE FROM THE  
MEAN LINE OF THE MACHINED SURFACE IN HOB MILLING  
PROCESS**

**Summary**

*Tribological processes in hob milling go with destroying of surface parts of contact and rising of new ones (physical and topographic similar or completely different from the preliminary surface parts). Destroying and rising of the surface parts of contact are developing unequally in time and discreetly in space.*

*Quality of the machined surface is of primary significance for exploitation of the work piece. Roughness of machined surface is also important for tribological behaviour of the work piece in working conditions. Maximum height of rough spots, looking especially in place of recess, exerts an important influence on dynamic strength of the work piece. For that reason, the knowledge of the correlation between maximum roughness height and average arithmetic deviation of the profile from the mean line of the machined surface is necessary. In this paper this correlation is found for the hob milling process.*

-----  
Pejić Vlastimir, dipl. ing., asistent pripravnik,  
Sovilj dr Bogdan, dipl. ing., docent,  
Institut za proizvodno mašinstvo, Vladimira Perića-Valtera 2,  
21000 Novi Sad.

**Rezime**

*Kvalitet obradjene površine ima primaran značaj na eksploatacione karakteristike obradka. Hrapavost obradjene površine takdje je značajna za tribološko ponašanje obradka u radnim uslovima. Zbog toga je poznavanje medjusobne zavisnosti izmedju maksimalne i srednje hrapavosti veoma značajno i potrebno. Standardima je ova zavisnost prikazana uopšteno za sve vrste obrade, dok je u ovom radu odredjena zavisnost Ra i Rmax pri odvalnom glodanju cilindričnih zupčanika.*

**1. UVOD**

Tribološki procesi kod odvalnog glodanja se odvijaju pri neprekidnom razaranju delova površina kontakta i nastajanja novih, fizičkih i topografski sličnih ili kompletno različitih od predhodnih. Razaranje i nastajanje delova površine kontakta se odigrava vremenski neujednačeno i prostorno diskretno.

Površine koje nastaju pri ovoj obradi nose na sebi tragove prolaska reznih elemenata odvalnog glodala kroz materijal obradka. Kontaktna površina se definiše topografijom odnosno, mikro i makro geometrijom, a njima pripadaju: hrapavost, valovitost i greške oblika. Pri definisanju topografije sa tribološkog aspekta red veličina nivoa je od posebnog značaja. Obradjene kontaktne površine u opštem slučaju imaju neravnine mikro i makro reda. Prema našim standardima u mikrogeometrijske nepravilnosti se ubraja hrapavost, a u makrogeometrijske valovitost i greška oblika.

Kvalitet obradjene površine ima primaran značaj na eksploatacione karakteristike obradka kao i na tribološke pokazatelje u radnim uslovima. Najveća visina neravnina, posebno posmatrana u delu udubljenja, značajno utiče na dinamičku čvrstoću obradka. Zato je veoma značajno poznavanje medjusobne zavisnosti maksimalne i srednje aritmetičke hrapavosti.

Prilazi pri ispitivanju hrapavosti obradjene površine podeljeni su u tri grupe (2):  
1. Geometrijski modeli, 2. Modeli na bazi habanja alata i drugih pratećih uticaja i  
3. Modeli koji baziraju na teoriji višefaktornog plana eksperimenta.

**2. EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA****2.1 Matematički model korelacione veze**

U ovom radu potražena je veza izmedju maksimalne i srednje hrapavosti u eksponencijalnom:

$$R_{max} = A * R_a^B \dots\dots\dots(1)$$

i linearnom obliku:

$$R_{max} = A + B * R_a \dots\dots\dots(2)$$

## 2.2 Plan i uslovi izvođenja eksperimenta

Utvrđivanje pouzdane funkcije stanja u laboratorijskim uslovima izvršeno je primenom metode modelskog ispitivanja i savremenim metodama matematičke statistike zasnovane na višefaktornom eksperimentu.

Planirano je izvođenje sedam eksperimenata za obradu alatima od brzoreznog čelika.

Četiri eksperimenta predstavljaju sami za sebe mnogofaktorni kompleks  $2^2$  i mogu biti izraženi u obliku vrhova kvadrata, dok se tri eksperimenta odnose na ponavljanje u centralnoj tački kvadrata, zbog procene tačnosti eksperimenta.

Ispitivanja su izvedena u laboratoriji Instituta za proizvodno mašinstvo, Fakulteta tehničkih nauka, pri sledećim uslovima:

\* Obradak: cilindrični zupčanik sa pravim zubima

- modul	$m_n = 5 \text{ mm}$
- broj zuba:	$z_2 = 32$
- dužina venca zupčanika	$l_v = 32 \text{ mm}$
- ugao dodirnice	$\alpha = 20^\circ$
- materijal zupčanika	Č. 4321

\*\* Alat: jednozubo odvalno glodalo izradjeno u PDS Fabrika menjača Hrasnica, kao model integralnog odvalnog glodala.

- prečnik odvalnog glodala	$D_g = 125 \text{ mm}$
- broj hodova	$z_1 = 1$
- broj žljebova po obimu od. glodala	$n_i = 15$
- materijal	Č. 6980

\*\*\* Mašina: Odvalna glodalica MODUL-ZFWZ-250X5A proizvođača WE STARKSTROM - Anlagenbau, Karl-Marx-Stadt, DDR.

Pri ovim ispitivanjima, kao sredstvo za hladjenje i podmazivanje je korišćeno ulje TEXACO CLERTEX-D JUS B.H3.526.

Prema postavljenom modelu određivanja korelacionih veza brzina i korak su bili promenljivi, a aksijalno pomeranje konstantno za sve eksperimente i iznosilo je  $a_p = 1,0 \text{ mm}$ .

Merenje hrapavosti obradjene površine je vršeno na kompjuterizovanom mernom uređaju TALYSURF 6 u mernoj laboratoriji Mašinskog fakulteta u Kragujevcu.

U cilju dobijanja dovoljno pouzdane veze između promenljivih veličina posmatran je statistički reprezentativan uzorak  $N = 85 > 50$ .

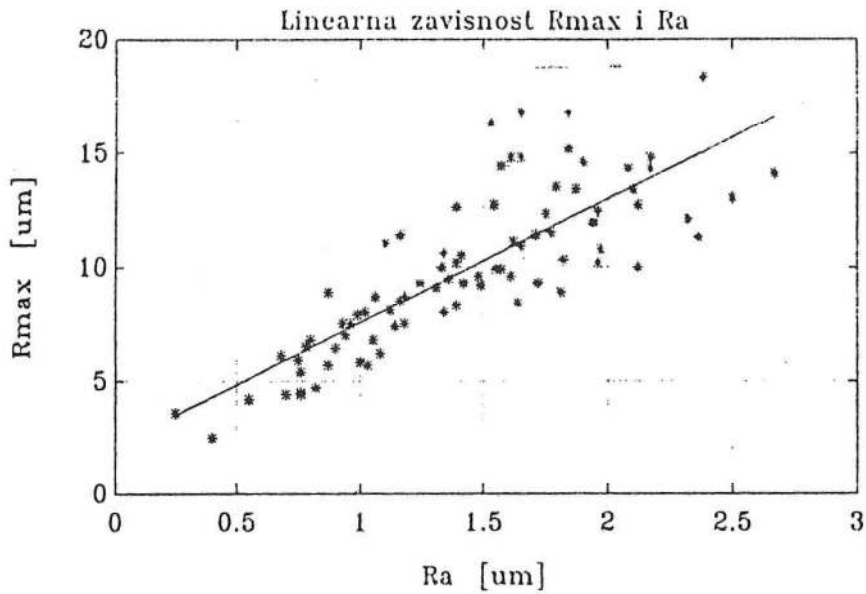
Izmerene vrednosti maksimalne i srednje aritmetičke hrapavosti, merene u šest tačaka na jednom zupcu i još šest tačaka na drugom zupcu, svrstane su u tabelu 1, a grafički prikazi dati su na slikama 1 i 2.

Na dijagramima su pored dobijenih korelacionih veza ( u obliku prave i krive) ucrtane i odgovarajuće eksperimentalne tačke.

Red. broj	l (mm)	v (m/min)	s (mm)	Ra (μm)	Ry (μm)
1	39.5	123.63	5.3	2.12	12.7
2	53.5			1.90	14.6
3	72.0			1.84	16.8
4	42.5			1.54	12.7
5	53.5			1.08	6.2
6	71.5			1.39	12.6
7	40.5			2.32	12.1
8	53.5			1.77	11.5
9	70.5			1.57	9.9
10	42.0			1.24	9.3
11	53.5			1.64	8.4
12	71.5			0.82	4.7
13	38.0	139.33	7.0	1.87	13.4
14	42.0			1.39	8.3
15	46.5			1.65	14.8
16	38.0			1.71	11.4
17	42.0			1.79	13.5
18	46.5			1.65	16.8
19	38.0			1.65	10.9
20	40.5			1.31	9.1
21	46.5			1.82	10.3
22	38.0			1.81	8.9
23	41.5			1.61	9.6
24	46.5			1.33	10.0
25	38.5	109.9	7.0	1.61	14.8
26	43.5			1.06	8.7
27	56.5			1.18	8.7
28	39.5			0.76	4.5
29	43.5			0.87	5.7
30	50.5			1.41	10.5
31	38.0			2.12	10.0
32	44.5			1.55	9.9
33	51.5			1.84	15.2
34	39.5			1.10	11.0
35	44.5			0.68	6.1
36	50.5			1.62	11.1
37	37.5	123.63	5.3	2.08	14.3
38	49.0			1.14	7.4
39	57.5			0.78	6.5
40	38.5			0.75	5.9
41	48.0			0.96	7.5
42	56.5			0.80	6.8

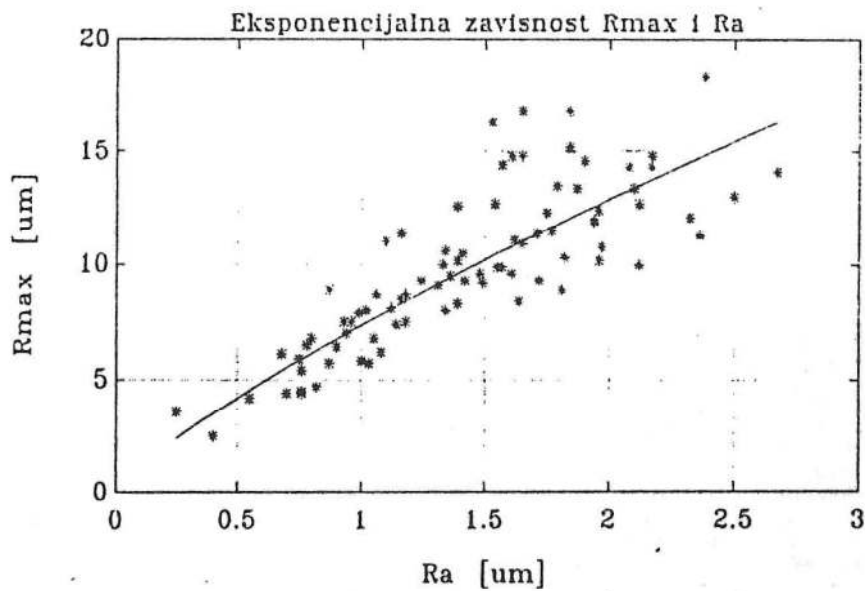
nastavak:

43	39.5	123.63	5.3	1.36	9.5
44	51.0			0.99	7.9
45	58.5			1.03	5.7
46	39.5			1.18	7.5
47	48.5			0.90	6.4
48	59.0			1.48	9.5
49	38.0	109.9	4.0	2.10	13.4
50	47.0			1.12	8.1
51	53.5			0.94	7.0
52	39.0			1.05	6.8
53	45.5			0.55	4.2
54	49.5			1.00	5.8
55	38.5			1.39	10.2
56	50.5			1.42	9.3
57	56.5			1.34	10.6
58	39.5			0.76	4.4
59	43.5			0.70	4.4
60	54.5			1.02	8.0
61	37.5	139.33	4.0	2.17	14.3
62	43.0			1.49	9.2
63	48.5			1.94	12.0
64	38.0			0.25	3.6
65	43.5			0.87	8.9
66	46.5			0.93	7.5
67	38.0			1.94	11.9
68	42.5			1.16	8.5
69	47.5			1.34	8.0
70	37.5			0.76	5.4
71	42.0			1.16	11.4
72	47.5			0.40	2.5
73	38.0	123.63	5.3	1.72	9.3
74	40.5			2.67	14.1
75	42.5			1.97	10.8
76	38.0			2.50	13.0
77	40.0			2.36	11.3
78	42.0			1.96	10.2
79	38.0			1.53	16.3
80	40.5			1.57	14.4
81	42.5			1.75	12.3
82	38.5			2.38	18.3
83	40.5			2.17	14.8
84	42.5			1.96	12.4



sl.1 Zavisnost Rmax i Ra u linearnom obliku

III.1 Dependence of Rmax and Ra in a linear form



sl.2 Zavisnost Rmax i Ra u eksponencijalnom obliku

III.2 Dependence of Rmax and Ra in an exponential form

### 3. ANALIZA DOBIJENIH REZULTATA

Matematičkom obradom eksperimentalnih podataka dobijeni su matematički modeli čija je prikladnost vrednovana preko koeficijenta korelacije, ali i na osnovu veličina eksponenata u eksponencijalnoj zavisnosti. (tabela 2)

Tražena veza između najveće visine neravnina i srednjeg odstupanja profila od srednje linije pri modelskom odvalnom glodanju je u eksponencijalnom obliku:

$$R_{max} = 7.36 * Ra^{0.81} \dots\dots\dots(3)$$

a u linearnom obliku:

$$R_{max} = 2.13 + 5.43 * Ra \dots\dots\dots(4)$$

Kao što je poznato, ako je koeficijent korelacije bliži jedinici korelaciona veza je jača. Međutim ukoliko je eksponent u eksponencijalnoj vezi blizak jedinici, to ukazuje da postoji linearna zavisnost između posmatranih parametara.

Kako je koeficijent korelacije veći kod eksponencijalnog modela to je bolja prikladnost tog modela i on se može uspešno koristiti pri određivanju veze između  $R_{max}$  i  $Ra$  u obradi odvalnim glodanjem.

Tabela 2

EQ#	COEF A	COEF B	COEF C	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> C	EQUATION
1	0.2128D+01	0.5427D+01	0.0000D+00	0.6665	0.6624	Y=A+B*X
2	0.0000D+00	0.6742D+01	0.0000D+00	0.0000	0.0000	Y=B*X
3	0.2369D+00	-.8338D-01	0.0000D+00	0.6027	0.5978	Y=1/(A+B*X)
4	0.3817D+01	0.4763D+01	-.8818D+00	0.6727	0.6646	Y=A+B*X+C/X
5	0.1391D+02	-.4792D+01	0.0000D+00	0.4766	0.4702	Y=A+B/X
6	0.3839D-01	0.9447D-01	0.0000D+00	0.7096	0.7061	Y=X/(A*X+B)
7	0.1873D+02	-.1327D+02	0.2418D+01	0.6954	0.6879	Y=A+B/X+C/X*X
8	-.1515D+01	0.1114D+02	-.1960D+01	0.6989	0.6914	Y=A+B*X+C*X*X
9	0.9051D+01	-.1308D+01	0.0000D+00	0.0000	0.0000	Y=A*X+B*X*X
10	0.7362D+01	0.8086D+00	0.0000D+00	0.7683	0.7655	Y=A*X^C
11	0.3758D+01	0.1875D+01	0.0000D+00	0.6953	0.6916	Y=A*B^C
12	0.1556D+02	0.5371D+00	0.0000D+00	0.6232	0.6186	Y=B^C(1/X)
13	0.7104D+01	0.4318D+00	0.0000D+00	0.5881	0.5831	Y=A*X^C(B*X)
14	0.9110D+01	0.3436D+00	0.0000D+00	0.4072	0.4000	Y=A*X^C(B/X)
15	0.3758D+01	0.6287D+00	0.0000D+00	0.6953	0.6916	Y=A*e^C(B*X)
16	0.1556D+02	-.6215D+00	0.0000D+00	0.6232	0.6186	Y=A*e^C(B/X)
17	0.8024D+01	0.6652D+01	0.0000D+00	0.6689	0.6649	Y=A+B*lnX
18	0.1496D+00	-.1139D+00	0.0000D+00	0.7516	0.7486	Y=1/(A+B*lnX)
19	0.7949D+01	0.9326D+00	0.8906D+00	0.7690	0.7633	Y=A*B^C*X^C
20	0.6550D+01	0.1108D+01	0.9191D+00	0.7708	0.7652	Y=A*B^C(1/X)*X^C
21	0.1345D+02	0.2276D+01	-.2605D+01	0.7948	0.7866	Y=A*e^C(((X-B)^C)/C)
22	0.1720D-03	-.2642D+02	0.6550D+02	0.7685	0.7628	Y=A*e^C((lnX-B)^C/C)
25	0.7626D-01	-.2004D+01	0.7247D-01	0.7903	0.7851	Y=1/(A*(X+B)^C+C)

BASED ON THE VALUE OF RC( )--BEST FITTING CURVE WAS NUMBER 21

## 5. LITERATURA

- [1] Cebalo R.: Korelacija izmedju hrapavosti brušene površine kod različitih postupaka brušenja, Tribologija u industriji, godina IX, br.2, Kragujevac, 1985.
- [2] Sekulić S., Kovač P.: Korekacija izmedju maksimalne i srednje hrapavosti pri okruglom brušenju, Tribologija u industriji, godina XII, br.4, Kragujevac, 1990.
- [3] Pejić V.: Utvrđivanje korelacionih veza parametara rezanja u obradi cilindričnih zupčanika odvalnim glodanjem, Diplomski rad, Novi Sad, 1992.
- [4] Sovilj B.: Identifikacija triboloških procesa pri odvalnom glodanju, Disertacija, Novi Sad, 1988.
- [5] Sislov A.G.: Vlijanje šerhovatosti na proces trenja, Vestnik mašinstroenija, No.10, 1980.
- [6] Woo K.L., Thomas T.R.: Contact of rang surfaces, a review of experimental work, Wear, 58., 1980.