

Utvrđivanje korelacionih veza parametara rezanja pri obradi cilindričnih zupčanika odvalnim glodanjem modelskim alatima sa prevlakom TiN*

1. UVOD

Zavisnost ulaznih i izlaznih parametara obradnog procesa nemaju karakter funkcionalnih zakona, već predstavljaju stohastičke procese određenog stepena korelativnosti.

Utvrđivanje korelacionih veza parametara rezanja, uz maksimalnu podršku računara, (statistička obrada podataka, polinomna aproksimacija krivih, crtanje krivih habanja, i dr.) predstavlja solidnu podlogu za optimizaciju i upravljanje obradnim procesom u obradi cilindričnih zupčanika odvalnim glodanjem.

Kako se u praksi pojave retko pokoravaju funkcionalnim zakonima, problem se svodi na definisanje korelacionih zavisnosti između pojedinih obeležja posmatranog skupa.

Korelativnost pojedinih obeležja je u stvari mera njihove stohastičke zavisnosti.

Osnovni problem analitičkog reprezentovanja korelacione zavisnosti je izbor opšteg oblika bazne funkcije korelacione veze. Izbor se najčešće vrši preko atlasa funkcija. Iz game poznatih funkcija bira se ona koja najbolje odgovara eksperimentalnim podacima.

Parametri izabrane bazne funkcije mogu se odrediti na osnovu više kriterijuma. Najčešće u upotrebi je:

Dr. Bogdan Sovilj, docent, FTN, Novi Sad
Vlastimir Pejić, asistent pripravnik, FTN, Novi Sad.
Mr. Bogdan Nedić, asistent, Mašinski fakultet, Kragujevac
Mr. Branko Tadić, asistent, Mašinski fakultet, Kragujevac.

- kriterijum srednje kvadratne aproksimacije i
- kriterijum "min-max" aproksimacije.

Kod ovih aproksimacija kriterijum za određivanje konstanti svodi se na minimizaciju merne greške.

Da bi se uspostavile osnovne korelacione veze potrebno je sagledati sve informacije bitne za analizu procesa.

U procesima rezanja te informacije odnose se na alat, predmet obrade, SHP, i dr., odnosno:

- geometrijske, tribološke i druge karakteristike alata,
- strukturne, mehaničke i druge karakteristike predmeta obrade,
- podmazujuće, rashladne i druge karakteristike SHP, i
- gubitke energije i mase pri određenim uslovima obrade.

2. EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA

Plan i uslovi izvođenja eksperimenta

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

Planirano je izvođenje sedam eksperimenata za obradu alatima sa prevlakom. 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 (tabela 1a).

Tabela 1a

Uslovi obrade: $a_p = 1.0$ [mm] $l_v = b = 32$ [mm] Č. 4321			PLAN MATRICA					
Režimski parametri			visoki nivo srednji nivo niski nivo			v [m/min]	Sa [mm/ob]	
v [m/min]	Sa [mm/ob]	Broj eksper.	Broj alata	Kod/redos.	X ₀	X ₁	X ₂	L _p
109.90	4.0	1	42	1	1	-1	-1	127
139.33	4.0	2	11	6	1	1	-1	46
109.90	7.0	3	37	2	1	-1	1	91
139.33	7.0	4	10	7	1	1	1	54
123.63	5.3	5	32	3	1	0	0	96
123.63	5.3	6	21	4	1	0	0	127
123.63	5.3	7	25	5	1	0	0	66

Tabela 1.

Broj alata	KORELATIVNE ZAVISNOSTI h - L			Koefficient korelacije r	Standar. odstupanje σ
	$h_i = C_{1i} \cdot L + C_{2i} \cdot L^2 + C_{3i} \cdot L^3$				
	C _{1i}	C _{2i}	C _{3i}		
42	$4.056 \cdot 10^{-3}$	$-3.555 \cdot 10^{-5}$	$4.056 \cdot 10^{-7}$	0.9980	0.00728
37	$4.091 \cdot 10^{-3}$	$-4.057 \cdot 10^{-5}$	$1.844 \cdot 10^{-9}$	0.9906	0.00152
32	$3.395 \cdot 10^{-3}$	$-3.698 \cdot 10^{-5}$	$1.587 \cdot 10^{-7}$	0.9959	0.00853
21	$3.671 \cdot 10^{-3}$	$-4.232 \cdot 10^{-5}$	$2.021 \cdot 10^{-3}$	0.9989	0.00618
25	$6.247 \cdot 10^{-3}$	$-6.993 \cdot 10^{-5}$	$3.348 \cdot 10^{-9}$	0.9994	0.00706
11	$6.959 \cdot 10^{-3}$	$-1.865 \cdot 10^{-4}$	$2.895 \cdot 10^{-6}$	0.9995	0.00867
10	$4.692 \cdot 10^{-3}$	$-9.756 \cdot 10^{-5}$	$1.340 \cdot 10^{-8}$	0.9969	0.01392
$h_u = C_{1u} \cdot L + C_{2u} \cdot L^2 + C_{3u} \cdot L^3$					
42	$3.522 \cdot 10^{-3}$	$-3.286 \cdot 10^{-5}$	$1.187 \cdot 10^{-7}$	0.9968	0.00758
37	$2.443 \cdot 10^{-3}$	$-9.226 \cdot 10^{-7}$	$2.597 \cdot 10^{-8}$	0.9905	0.01468
32	$2.527 \cdot 10^{-3}$	$-1.188 \cdot 10^{-5}$	$7.941 \cdot 10^{-8}$	0.9986	0.00963
21	$2.716 \cdot 10^{-3}$	$-1.882 \cdot 10^{-5}$	$6.194 \cdot 10^{-8}$	0.9922	0.00134
25	$4.878 \cdot 10^{-3}$	$-6.668 \cdot 10^{-5}$	$3.150 \cdot 10^{-7}$	0.9943	0.01164
11	$6.773 \cdot 10^{-3}$	$-1.433 \cdot 10^{-4}$	$1.524 \cdot 10^{-6}$	0.9999	0.00130
10	$4.124 \cdot 10^{-3}$	$-6.990 \cdot 10^{-5}$	$5.808 \cdot 10^{-7}$	0.9953	0.01067
$h_l = C_{1l} \cdot L + C_{2l} \cdot L^2 + C_{3l} \cdot L^3$					
42	$3.055 \cdot 10^{-3}$	$-3.013 \cdot 10^{-5}$	$1.733 \cdot 10^{-7}$	0.9988	0.00403
37	$2.693 \cdot 10^{-3}$	$-1.863 \cdot 10^{-5}$	$6.394 \cdot 10^{-8}$	0.9863	0.01415
32	$2.724 \cdot 10^{-3}$	$-1.998 \cdot 10^{-5}$	$7.840 \cdot 10^{-8}$	0.9988	0.00533
21	$1.512 \cdot 10^{-3}$	$-5.359 \cdot 10^{-7}$	$6.163 \cdot 10^{-9}$	0.9897	0.01451
25	$3.650 \cdot 10^{-3}$	$-3.967 \cdot 10^{-5}$	$1.906 \cdot 10^{-7}$	0.9965	0.01049
11	$8.002 \cdot 10^{-3}$	$-2.615 \cdot 10^{-4}$	$2.971 \cdot 10^{-6}$	0.9997	0.00303
10	$3.754 \cdot 10^{-3}$	$-7.399 \cdot 10^{-5}$	$7.473 \cdot 10^{-7}$	0.9968	0.00829

Tabela 2

Broj alata	KORELATIVNE ZAVISNOSTI h - L		
	$l_i = C_{1i} \cdot L + 2 \cdot C_{2i} \cdot L^2 + 3 \cdot C_{3i} \cdot L^3$		
	C _{1i}	C _{2i}	C _{3i}
42	$4.056 \cdot 10^{-3}$	$-7.110 \cdot 10^{-5}$	$3.729 \cdot 10^{-7}$
37	$4.091 \cdot 10^{-3}$	$-8.114 \cdot 10^{-5}$	$5.532 \cdot 10^{-7}$
32	$-3.395 \cdot 10^{-3}$	$-7.396 \cdot 10^{-5}$	$4.761 \cdot 10^{-7}$
21	$6.671 \cdot 10^{-3}$	$-8.464 \cdot 10^{-5}$	$6.063 \cdot 10^{-7}$
25	$6.247 \cdot 10^{-3}$	$-13.986 \cdot 10^{-5}$	$10.044 \cdot 10^{-7}$
11	$6.959 \cdot 10^{-3}$	$-3.730 \cdot 10^{-4}$	$8.685 \cdot 10^{-6}$
10	$4.692 \cdot 10^{-3}$	$-19.519 \cdot 10^{-5}$	$4.020 \cdot 10^{-6}$
$l_u = C_{1u} \cdot L + 2 \cdot C_{2u} \cdot L^2 + 3 \cdot C_{3u} \cdot L^3$			
42	$3.522 \cdot 10^{-3}$	$-6.570 \cdot 10^{-5}$	$3.561 \cdot 10^{-7}$
37	$2.443 \cdot 10^{-3}$	$-18.452 \cdot 10^{-7}$	$7.791 \cdot 10^{-8}$
32	$2.527 \cdot 10^{-3}$	$-2.376 \cdot 10^{-5}$	$23.823 \cdot 10^{-8}$
21	$2.716 \cdot 10^{-3}$	$-3.764 \cdot 10^{-5}$	$20.742 \cdot 10^{-8}$
25	$4.878 \cdot 10^{-3}$	$-13.336 \cdot 10^{-5}$	$9.450 \cdot 10^{-7}$
11	$1.544 \cdot 10^{-3}$	$-12.298 \cdot 10^{-4}$	$20.679 \cdot 10^{-6}$
10	$4.124 \cdot 10^{-3}$	$-13.960 \cdot 10^{-5}$	$17.424 \cdot 10^{-7}$
$l_l = C_{1l} \cdot L + 2 \cdot C_{2l} \cdot L^2 + 3 \cdot C_{3l} \cdot L^3$			
42	$3.055 \cdot 10^{-3}$	$-6.026 \cdot 10^{-5}$	$5.199 \cdot 10^{-7}$
37	$2.693 \cdot 10^{-3}$	$-3.726 \cdot 10^{-5}$	$19.182 \cdot 10^{-8}$
32	$2.724 \cdot 10^{-3}$	$-3.996 \cdot 10^{-5}$	$23.530 \cdot 10^{-8}$
21	$1.512 \cdot 10^{-3}$	$-10.718 \cdot 10^{-7}$	$18.489 \cdot 10^{-9}$
25	$3.650 \cdot 10^{-3}$	$-7.934 \cdot 10^{-5}$	$5.718 \cdot 10^{-7}$
11	$8.002 \cdot 10^{-3}$	$-5.230 \cdot 10^{-4}$	$8.913 \cdot 10^{-6}$
10	$3.754 \cdot 10^{-3}$	$-14.798 \cdot 10^{-5}$	$22.419 \cdot 10^{-7}$

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

Obradak: cilindrični zupčanik sa pravim zubima

modul $m = 5$ mm
 broj zuba $z_2 = 32$
 dužina venca zupčanika $l_v = 32$ mm
 ugao dodirnice $\alpha = 20^\circ$
 materijal zupčanika Č. 4321

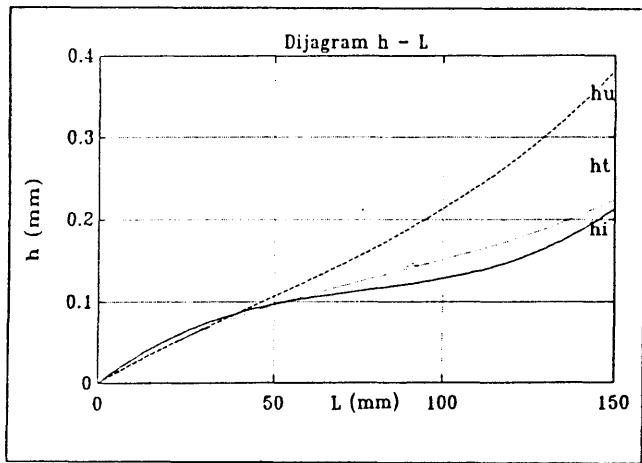
Alat: jednozubo odvalno glodalo izrađeno u PDS Fabrika menjača Hrasnica, kao model integralnog odvalnog glodala. Prevlačenje slojem TiN vršeno u fabrici JUGOALAT Novi Sad.

prečnik odvalnog glodala $D_g = 125$ mm

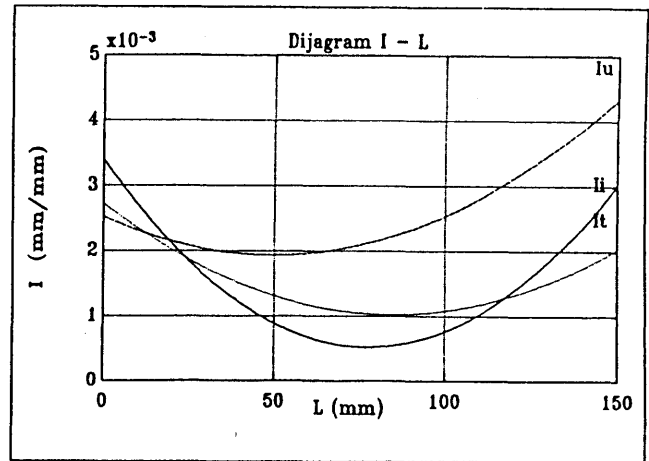
broj hodova $z_1 = 1$

broj žljebova po obimu od. glodala $n_i = 15$

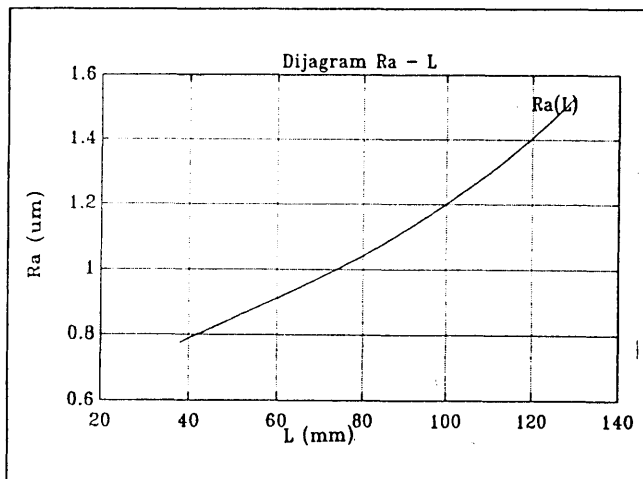
materijal Č. 6980



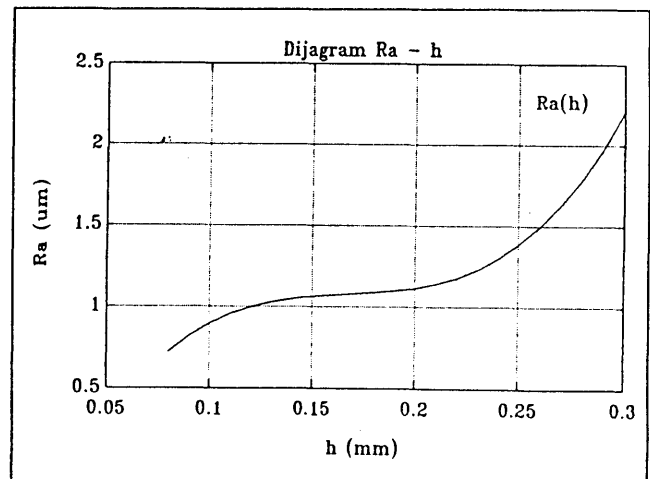
Sl. 1. Krive habanja jednozubog odvalnog glodala sa prevlakom za jednu eksperimentalnu tačku (alat br. 32)
Wear curves of the one-teeth hob milling tool with coating for one experimental point (tool No. 32)
Кривые износа однозубной червячной фрезы с покрытием для одной экспериментальной точки (инструмент н.м. 32)



Sl. 2. Krive intenziteta habanja jednozubog odvalnog glodala sa prevlakom za jednu eksperimentalnu tačku
Wear intensity curves of the one-tooth hob milling tool with coating for one experimental point (tool No. 32)
Кривые интенсивности износа однозубной червячной фрезы с покрытием для одной экспериментальной точки (инструмент н.м. 32)



Sl. 3. Promena srednjeg aritmetičkog odstupanja profila u zavisnosti od dužine venca zupčanika za jednu eksperimentalnu tačku (alat br. 32)
Variation of the profile mean arithmetic deviation as a function of the length of the machined rim of the gear for one experimental point (tool No. 32)
Изменение среднего арифметического отклонения профиля в зависимости от длины обработанного венца зубчатого колеса для одной опытной точки (инструмент н.м. 32)



Sl. 4. Promena srednjeg aritmetičkog odstupanja profila u zavisnosti od habanja jednozubog odvalnog glodala sa prevlakom za jednu eksperimentalnu tačku (alat br. 32)
Variation of the profile mean arithmetic deviation as a function of wear of the one-tooth hob milling tool with coating for one experimental point (tool No. 32)
Изменение среднего арифметического отклонения профиля в зависимости от износа однозубной червячной фрезы с покрытием для одной опытной точки (инструмент н.м. 32)

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

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

Prema postavljenoj modelu određivanja regresionih funkcija brzina i korak su bili promenljivi, a aksijalno pomeranje konstantno za sve eksperimente i iznosilo je $a_p = 1.0$ mm.

Merenje širine pojasa habanja na leđnim površinama je vršeno na univerzalnom alatnom mikroskopu, a zatim fotografisano sa fotografskim aparatom postavljenim na alatni mikroskop pomoću dodatih elemenata, uz primenu specijalnog osvetljenja.

Merenje hrapavosti obrađene površine je vršeno na kompjuterizovanom mernom uređaju TALYSURF 6 u Laboratoriji za obradu metala i tribologiji Mašinskog fakulteta u Kragujevcu.

Tabela 3.

Broj alata	KORELATIVNE ZAVISNOSTI h - L				Koeficijent korelacije r	Standar. odstupanje σ
	$h_i = C_{1i} \cdot L + C_{2i} \cdot L^2 + C_{3i} \cdot L^3$					
	C_{1i}		C_{2i}	C_{3i}		
42	1.12	$-1.39 \cdot 10^{-3}$	$4.09 \cdot 10^{-5}$	$-1.24 \cdot 10^{-7}$	0.304	0.419
37	8.71	-0.42	$6.27 \cdot 10^{-3}$	$-2.75 \cdot 10^{-5}$	0.869	0.213
32	0.49	$9.29 \cdot 10^{-3}$	$-6.16 \cdot 10^{-5}$	$3.98 \cdot 10^{-7}$	0.802	0.251
21	-1.17	$7.27 \cdot 10^{-2}$	$-8.46 \cdot 10^{-4}$	$3.34 \cdot 10^{-6}$	0.846	0.252
25	-2.12	0.12	$-1.34 \cdot 10^{-3}$	$4.24 \cdot 10^{-6}$	0.574	0.999
11	-0.56	$6.01 \cdot 10^{-2}$	$-5.19 \cdot 10^{-4}$	0	0.379	0.260
10	-1.77	0.11	$-1.08 \cdot 10^{-3}$	0	0.235	0.395

Tabela 4.

Broj alata	KORELATIVNE ZAVISNOSTI h - L				Koeficijent korelacije r	Standar. odstupanje σ
	$h_i = C_{0i} \cdot L + C_{1i} \cdot L^2 + C_{2i} \cdot L^3$					
	C_{0i}	C_{1i}	C_{2i}	C_{3i}		
42	-17.30	370.95	-2398.32	-5022.04	0.801	0.263
37	1.78	-33.20	235.24	-448.086	0.890	0.197
32	-1.11	37.87	-222.57	444.06	0.880	0.200
21	-11.65	273.79	-1951.66	4542.05	0.852	0.248
25	-11.81	215.84	-1132.49	1905.21	0.693	0.352
11	2.34	-2227.00	109.92	-153.77	0.593	0.373
10	4.44	-8630.00	602.09	-1222.56	0.828	0.257

3. UTVRĐIVANJE KORELACIONIH VEZA: HABANJE-VREME REZANJA-KVALITET OBRADENE POVRŠINE

Za obradu cilindričnih zupčanika alatima od BČ sa prevlakom TiN, definisane su sledeće korelacione zavisnosti u obliku polinoma trećeg stepena:

- ▶ parametara habanja h_i , h_u , h_t i dužine obradenog venca zupčanika L (tab. 1 i sl.1),
- ▶ intenziteta habanja alata I_i, I_u i I_t i dužine obradenog venca zupčanika L (tab. 2 i sl. 2),
- ▶ srednjeg aritmetičkog odstupanja profila R_a i dužine o_b venca zupčanika L (tab.3 i sl. 3) i
- ▶ srednjeg aritmetičkog odstupanja profila R_a i parametara habanja h (tab. 4 i sl. 4).

4. ANALIZA REZULTATA

Analitičke zavisnosti vezane za habanje alata odlikuju se veoma visokim stepenom korelacije ($r > 0.99$) i malom standardnom devijacijom, što govori o veoma pouzdanom reprezentovanju habanja alata.

Na osnovu analize krivih habanja alata može se zaključiti da je intenzitet habanja najveći na izlaznoj bočnoj lednoj površini alata, što ukazuje da parametar habanja h; pred-

stavlja merodavan parametar habanja odvalnog glodala pri obradi cilindričnih zupčanika sa pravim zubima.

Analizom hrapavosti obradene površine može se primetiti, da habanje alata izaziva porast srednjeg aritmetičkog odstupanja profila, na celom periodu posmatranja, za razliku od obrade alatima bez prevlake gde habanje alata izaziva, u jednom periodu, pad srednjeg aritmetičkog odstupanja profila sve dok habanje alata ne pređe u fazu katastrofalnog kada srednje aritmetičko odstupanje profila počinje da raste.

5. ZAKLJUČCI

U skladu sa izloženim može se zaključiti da je pri obradi cilindričnih zupčanika odvalnim glodanjem opravdano uvođenje korelacionih zavisnosti parametara rezanja polinomnog oblika, jer postoje jake korelacione veze između posmatranih parametara. Opravdanost uvođenja ovakvih korelacionih veza se ogleda preko vrednosti koeficijenta korelacije, ali i na osnovu veličina standardne devijacije.

Polinomna aproksimacija krivih habanja je veoma pouzdana obzirom da su dobijeni visoki koeficijenti korelacije ($r > 0.99$).

Korelacione veze srednje aritmetičke hrapavosti i vremena, odnosno habanja alata nisu sasvim pouzdane, na što ukazuju relativno mali koeficijenti korelacije. Ovo prvenstveno iz razloga specifičnosti obrade cilindričnih zupčanika odvalnim glodanjem i specifičnosti modelskih ispitivanja. Za potpunije objašnjenje ovakvih korelacionih veza potrebno je vršiti ispitivanja sa blažim parametrima režima rezanja, čime bi omogućili ravnomerniju raspodelu dužina ocenjivanja parametara hrapavosti duž zuba cilindričnog zupčanika.

LITERATURA

- [1] IVKOVIĆ B.: Osnovi tribologije, Građevinska knjiga, Beograd, 1983.
[2] STANIĆ J.: Teorija obrade metala I, Mašinski fakultet, Beograd, 1987.

- [3] SOVILJ B.: Identifikacija triboloških procesa pri odvalnom glodanju, Disertacija, Novi Sad, 1988.
[4] SOVILJ B., VUKELIĆ M., PEJIĆ V., i dr.: Uticaj režima rezanja na postojanost oslojenih odvalnih glodala u modelskim uslovima, YUTRIB'91, Kragujevac, 1991.
[5] TADIĆ B.: Utvrđivanje korelativnih veza parametara rezanja kao podloge za razvoj ekspertnih sistema u obradi struganjem, Magistarski rad, Kragujevac, 1991.
[6] PEJIĆ V.: Utvrđivanje korelacionih veza parametara rezanja u obradi cilindričnih zupčanika odvalnim glodanjem, Diplomski rad, Novi Sad, 1992.

* Rad je izložen na Trećoj jugoslovenskoj konferenciji o tribologiji YUTRIB'93, Kragujevac, 24.-25. juna 1993.god.

Determination of Correlative Relations Between The Cutting Parameters in Machining of Cylindrical Gears by Hob Milling with Model Tools with TiN Coatings

Definition and analysis of basic correlative relationships between the cutting process parameters in modern production conditions present elements for process optimization and control.

Justification of introducing the correlative relationships in the polynomial form is reflected through the correlation coefficient value and based on values of standard deviation.

Polynomial approximation of wear curves is very reliable, because of very high values of the correlation coefficients, while the polynomial approximation of the average arithmetic roughness must be established from more experimental points.

Определение коррелятивной взаимозависимости параметров резания при обработке цилиндрических зубчатых колес червячным фрезерованием фрезам с TiN-покрытием

Определение и анализ основных коррелятивных зависимостей между параметрами резания в современных производственных условиях представляет основу для оптимизации и управления процессами обработки.

Целесообразность применения коррелятивных связей в виде многочленов проявляется в значении коэффициента корреляции и в величине стандартного отклонения.

Аппроксимирование многочленов кривых изнашивания весьма надежно поскольку получились высокие коэффициенты соотносительности, тогда как полиномиальную аппроксимацию средней арифметической шероховатости нужно определять в большем числе точек.