

PRISTUP NALAŽENJU OPTIMALNIH PARAMETARA ALATA PRI FORMIRANJU PROIZVODA SA ASPEKTA AMPLITUDE VIBRACIJA

APPROACH TO FINDING OPTIMAL TOOL PARAMETERS WHEN CREATING PRODUCTS IN TERMS OF VIBRATIONS AMPLITUDE

Viktor Baričak, dr. doc. TTU Tuzla,
Amir Nuhanović, dr. doc. Elektrotehnički fakultet, Tuzla

Ključne riječi: geometrijski i tehnološki parametri, model, optimizacija

REZIME

Suvremene proizvodnje: industrija, poljoprivreda, proizvodnja lijekova i općenito discipline koje imaju na raspolaganju mogućnost variranja proizvodnih parametara zahtijevaju njihovo kontinuirano nalaženje u svrhu dobijanja optimalnih rezultata. Optimalnost rezultata odnosi se na ekonomske parametre koji su tijesno povezani sa troškovima proizvodnje i kvalitetom dobijenog proizvoda.

U radu je obrazložen način nalaženja geometrijskih i tehnoloških parametara korištenih alata radi dobijanja optimalnih vrijednosti amplituda vibracija i hrapavosti površina pri postupku tokarenja. U radu su, za dobijanje rezultata korištene suvremene optimizacijske tehnike, te specijalizovani softwareski alati, kao što su Matlab i Design-Expert.

SUMMARY

Modern productions such as industry, agriculture, medicament production and generally disciplines which has possibility of production parameters varying, request their continued findings in order to getting the optimal results. Optimality of results is considered on economic parameters that are closely connected with production costs and quality of obtained product.

In this work has been explained the way of finding geometrical and technology parameters of used tools, because of obtain the optimal values of vibration's amplitude as well as surface roughness during turning process. Also, for obtain results it has been used modern optimisation techniques, and specialised software tools, such as Matlab and Design-Expert.

1. UVOD

Od mnogobrojnih zahtjeva najčešće se od proizvoda traži: mogućnost izrade uz minimalne troškove, postizanje povećanog (zadanog) kvaliteta izrade, te maksimalna pouzdanost u eksploataciji. Na ovim problemima radilo je više autora, ali postoji stalna potreba za istraživanjem kako bi se istim rješavali proizvodni problemi.

Jedan od najčešćih parametara za ocjenu kvalitetne izrade je hrapavost površine.

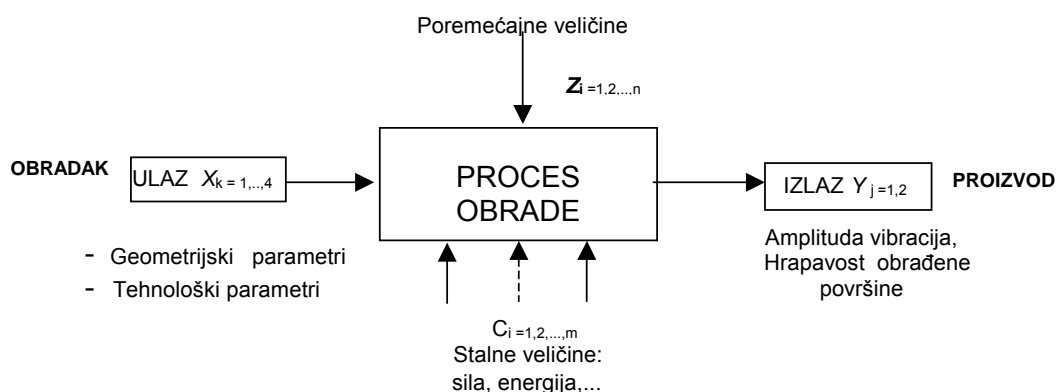
Pokusnim mjerenjima mjerene su vrijednosti R_z (hrapavosti) obrađenih površina za pojedine kombinacije geometrijskih i tehnoloških parametara.

Matematička obrada pokusom dobivenih podataka hrapavosti (za dobivanje matematičkih modela i definiranje optimalnih vrijednosti) provedena je primjenom odgovarajuće programske podrške.

2. TEHNOLOŠKI I GEOMETRIJSKI PARAMETRI OBRADE

Za korektnu provedbu pokusa urađen je plan izvođenja pokusa, definirani promjenljivi parametri, mjerne veličine (slika 1.), redosljed izvođenja pokusa, te vrijednosti pojedinih promjenljivih u pokusima. Kao promjenljivi parametri uzeti su: posmak i dubina obrade, frekvencija vrtnje, te geometrijske karakteristike radnog alata.

Svojstva alata, odnosno zadani kutovi na alatu koji izazivaju vibracije - kvalitetu površine (mada postoji znatno veći broj utjecajnih parametara na kvalitetu obrade površine) su: kut prednje površine alata γ i kut namiještanja oštrice alata δ_r . Od odabira kutova ovisila je praktična provedba pokusa. Vibracije uzrokuju prema tome, kutevi γ i δ_r , i uz tehnološke parametre su osnovni utjecajni faktori u provedbi pokusa.



Slika 1. Kibernetički prikaz procesa obrade.

3. REZULTATI MJERENJA HRAPAVOSTI OBRADENIH POVRŠINA

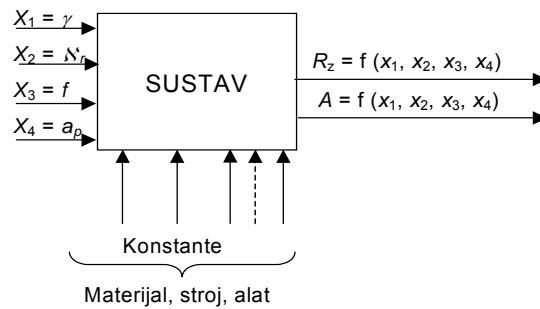
Rezultati hrapavosti obrađenih površina proizašli su kao plod kontinuiranog zapisivanja očitanih vrijednosti hrapavosti s mjernog uređaja - pertometra. Primjera radi, tablica 1. sadrži geometrijske parametre alata, hrapavost površine R_z na radnom obratku, tehnološke parametre i u zadnjem stupcu srednju klasu hrapavosti za dati alat i odgovarajuću površinu.

Tablica 1. Vrijednosti hrapavosti r_z u ovisnosti od tehnoloških parametara i geometrije alata

Alat br.	Površ. br.	Tehnološki parametri			Izmjerene vrijednosti
		Kružna frekv. okr. po min	Posmak f, mm po ok	Dubina obrade a_p , mm	R_z μm
1	1	1000	0,15	0,3	26,7
2	2	1000	0,15	0,3	38,3
3	3	1000	0,15	0,3	37,0
4	4	1000	0,15	0,3	44,7
5	5	1000	0,15	0,3	26,2
6	6	1000	0,15	0,3	34,5
7	7	1000	0,15	0,3	28,1
8	8	1000	0,15	0,3	22,4

Na osnovu rezultata pokusa, urađena je analiza vrijednosti hrapavosti, odnosno njihova aritmetička sredina.

Urađeno je matematičko modeliranje stohastičkog procesa. Modeliranje je izvedeno na temelju pokusnih rezultata za odgovarajuće neovisne varijable x_i , slika 2.



Slika 2. Shema modela hrapavosti površina.

3.1. Izbor razine parametara i kodiranja

U pokusnom dijelu istraživanja varirani su sljedeći utjecajni parametri:

- kut prednje površine alata γ , u stupnjevima,
- kut namještanja oštrice alata N_r , u stupnjevima,
- posmak alata f , u mm po okretu i
- dubina obrade a_p , u mm.

Matrica eksperimenta i postupka modeliranja, kao sastavni dio pokusa, prikazuje takođe parametre radnog alata i kinematičke vrijednosti postupka obrade. Sadrži kodirane geometrijske i kinematičke vrijednosti, eksperimentalne vrijednosti hrapavosti i amplituda te vrijednosti dobijene na osnovu postupka stohastičkog modeliranja.

3.2. Matematički model hrapavosti - analiza pokusnih podataka

Kao model odabran je model drugog reda u obliku kvadratne forme:

$$\hat{Y} = b_0 X_0 + \sum_{i=1}^4 b_i X_i + \sum_{i,j=1}^4 b_{i,j} X_i X_j \quad (i,j = 1, \dots, 4) \quad \dots(1)$$

Izabrani polazni matematički model - model drugog reda, u obliku kvadratne forme, zahtjeva odabir i softwareskog alata za modeliranje hrapavosti. Kao podesan alat u paleti postojećih, odabran je dokazani Design-Expert alat.

Predloženi model drugog reda, prilagođen za model hrapavosti ima oblik:

$$Y = b_0 x_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{33} x_3^2 + b_{44} x_4^2. \quad \dots(2)$$

Vrijednosti koeficijenata modela hrapavosti po odabranom alatu, dane su u tablici 2.

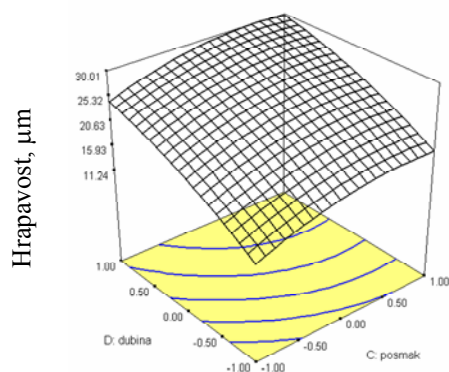
Tablica 2. Podaci o koeficijentima modela hrapavosti.

Faktor	Estimirani koeficijent	SS	Standardna Greška	95% CL Donji	95% CL Gornji	VIF
Konstanta-	36,84	1	0,96	34,79	38,88	
A-gama- b_1	14,56	1	0,52	13,45	15,66	1,00
C-posmak-	1,73	1	0,52	0,63	2,83	1,00
D-dubina-	4,24	1	0,52	3,13	5,34	1,00
A^2 - b_1^2	3,09	1	0,48	2,07	4,10	1,03
C^2 - b_3^2	-2,08	1	0,48	-3,09	-1,07	1,03
D^2 - b_4^2	-1,54	1	0,48	-2,55	-0,53	1,03

Nakon ispitivanja signifikantnosti koeficijenata modela drugog reda, dobiven je konačno model hrapavosti:

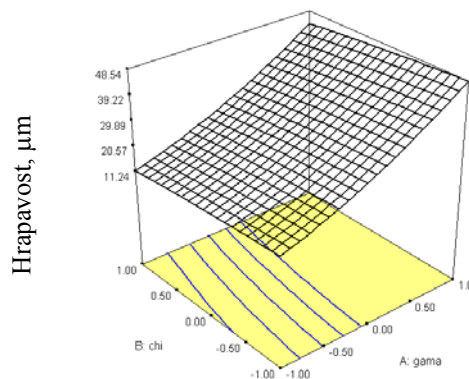
$$Y=R_z=36,84+14,56x_1+1,73x_3+4,24x_4+3,09x_1^2-2,08x_3^2-1,54x_4^2 \quad \dots(3)$$

koji je grafički prikazan slikama 3 i 4.



Dubina obrade a_p Posmak alata, f

Slika 3. Hrapavost ovisna o posmaku f i dubini obrade a_p



Kut namještanja oštrice alata, δ_r Kut prednje površine alata, γ

Slika 4. Hrapavost u ovisnosti o kutovima γ i δ_r

4. OPTIMIZIRANJE PARAMETARA GEOMETRIJE ALATA

Optimizacija primjenom Design-Expert alata, zahtijeva primjenu ograničenja geometrijskih i tehnoloških parametara. Ograničenja se kreću u granicama 1, -1, tablica 3.

Tablica 3. Izbor ograničenja.

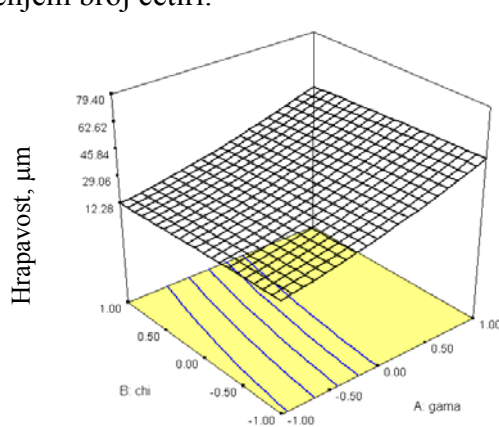
Naziv	Donja granica	Gornja granica
Kut prednje površine alata, γ	-1,0	1,0
Kut namještanja oštrice alata, δ_r	-1,0	1,0
Posmak alata, f	-1,0	1,0
Dubina obrade, a_p	-1,0	1,0

Nakon provedenih deset iteracija, traženja minimalne vrijednosti hrapavosti, po navedenom programu, dobivene su optimalne vrijednosti geometrijskih i tehnoloških parametara, što je prikazano tablicom 4.

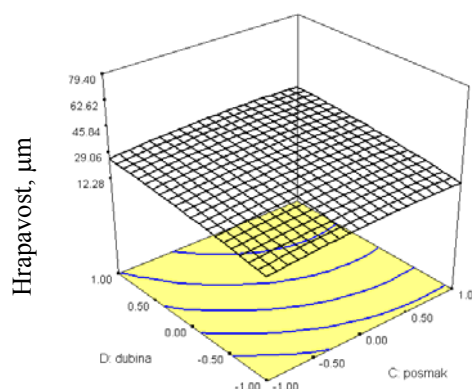
Tablica 4. Optimalne vrijednosti geometrijskih i tehnoloških parametara.

Broj	γ	δ_r	posmak	dubina	hrapavost	Desirability
1	-0,87	0,82	-0,92	-0,93	14,38	1,00
2	-1,0	0,99	-0,98	-0,69	14,25	1,00
3	-0,83	0,99	-0,81	-1,0	14,35	1,00
4	-0,91	0,84	-0,95	-0,97	13,24	1,00
5	-1,0	-0,77	-1,0	-1,0	14,97	0,991
6	-1,0	-0,22	-0,38	-1,0	17,51	0,952
7	-1,0	1,0	0,72	-1,0	17,55	0,951
8	-1,0	-0,34	0,92	-1,0	19,48	0,922
9	-0,74	-1,0	-1,0	1,0	26,69	0,811
10	-1,0	-1,0	1,0	0,53	27,33	0,801

Analizirajući dobivene tablične vrijednosti, vidi se da je minimalna hrapavost dobivena mjerenjem broj četiri.



Kut namještanja oštrice alata, δ_r^* Kut prednje površine alata, γ
 Slika 7. Dijagram hrapavosti ovisano kutovima γ i δ_r^*



Dubina obrade a_p Posmak alata, f

Slika 8. Dijagram hrapavosti ovisan o posmaku i dubini

5. MATEMATIČKI MODELI I OPTIMIZIRANJE HRAPAVOSTI I VIBRACIJA PRIMJENOM MATLAB ALATA

5.1. Model hrapavosti

Na osnovu podataka pokusa i navedenom metodom, dobijen i su modeli za amplitude i hrapavost obradka.

Koristeći navedeni program dobijene su vrijednosti koeficijenata b_{ijkl} za formiranje matematičkog modela hrapavosti koje prikazuje tablica 5.

Tablica 5. Koeficijenti b_{ijkl} jednadžbe hrapavosti

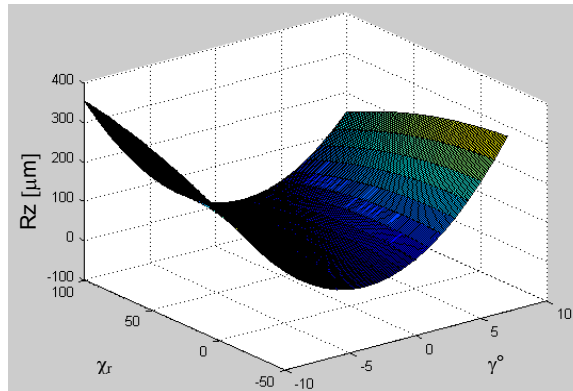
b0	b1	b2	b3	b4	b12	b13	b14	b23	b24
1,026	1,359	0,632	0,967	0,889	-0,114	0,925	0,694	-0,056	0,222
b34	b123	b124	b134	b234	b11	b22	b33	b44	b1234
1,007	0,124	0,118	0,876	4,122	2,439	-0,006	0,705	0,777	-1,109

Matematički model hrapavosti obrađenih površina Y_{Rz} uz pomoć programa Excel i koeficijenata b_{ijkl} iz tablice 5. ima oblik:

$$\begin{aligned}
 Y_{Rz} = & 1,026X_0 + 1,359X_1 + 0,632X_2 + 0,967X_3 + 0,889X_4 - 0,114X_1X_2 + \\
 & + 0,925X_1X_3 + 0,694X_1X_4 - 0,056X_2X_3 + 0,222X_2X_4 + 1,007X_3X_4 + 0,124X_1X_2X_3 + \\
 & + 0,118X_1X_2X_4 + 0,876X_1X_3X_4 + 4,122X_2X_3X_4 + 2,439X_1^2 - 0,006X_2^2 + \\
 & + 0,705X_3^2 + 0,777X_4^2 - 1,109X_1X_2X_3X_4 \quad \dots(4)
 \end{aligned}$$

5.1.1. Optimiziranje hrapavosti

Optimiziranje hrapavosti date jednadžbom 4 u danim granicama, vršeno je softwareskim alatom Matlab. Promjenljive vrijednosti su vrijednosti za kut prednje površine alata γ (X_1) i vrijednosti kuta namještanja alata δ_r^* (X_2), a konstante su tehnološki parametri, posmak $f = 0,15\text{mm/o}$ i dubina rezanja $a_p = 0,15\text{mm}$. Optimalne vrijednosti geometrijskih i tehnoloških parametara matematičkog modela hrapavosti, jednadžba 4 iznose: $\gamma = 2^\circ$, $\delta_r^* = 85^\circ$, $f = 0,15\text{mm/o}$ i $a_p = 0,15\text{mm}$. Grafički prikaz modela hrapavosti, jednadžba 4 prikazuje slika 9.



Slika 9. Geometrijske vrijednosti minimalne hrapavosti.

5.2. Model vibracija

Dobijene vrijednosti, (podaci iz tablice 5) parametara b_{ijkl} za formiranje matematičkog modela vibracija prikazuje tablica 6.

Tablica 6. Koeficijenti b_{ijkl} jednadžbe vibracija.

b0	b1	b2	b3	b4	b12	b13	b14	b23	b24
-8506,09	5239,82	129,35	18207,3	3491,99	-62,40	-18724,1	-13485,2	-217,731	-44,47
b34	b123	b124	b134	b234	b11	b22	b33	b44	b1234
15575,7	222,40	160,84	42910,8	-131,20	15,27	-0,33	-768,89	-657,61	-516,54

Matematički model vibracija Y_{amp} uz pomoć programa Excel i koeficijenata b_{ijkl} iz tablice 6. ima oblik:

$$\begin{aligned}
 Y_{amp} = & -8506X_0 + 5239,82X_1 + 129,35X_2 + 18207,39X_3 + 3491,997X_4 - 62,40X_1X_2 - \\
 & 18724,1X_1X_3 - 13485,2X_1X_4 - 217,73X_2X_3 - 44,47X_2X_4 + 15575,7X_3X_4 + 222,40X_1X_2X_3 + \\
 & 160,84X_1X_2X_4 + 42910,81X_1X_3X_4 - 131,20X_2X_3X_4 + 15,27X_1^2 - 0,33X_2^2 - \\
 & 768,89X_3^2 - 657,61X_4^2 - 516,54X_1X_2X_3X_4 \quad \dots(5)
 \end{aligned}$$

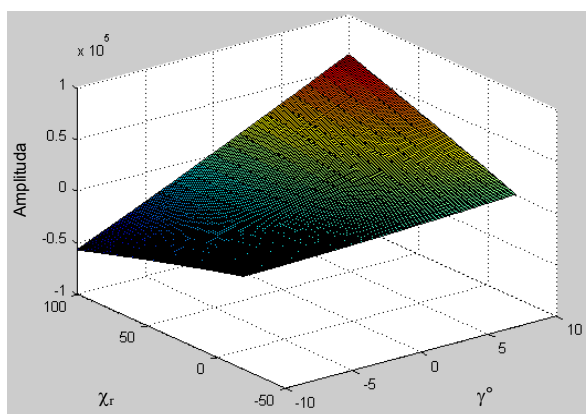
5.3. Optimiziranje vibracija

Optimiziranje samouzbudnih vibracija 5 u granicama danim u tablici 6.1. vršeno je primjenom softwareskog alata Matlab. Promjenljive vrijednosti su geometrijski parametri, a konstantne tehnološki parametri. Promjenljive vrijednosti su vrijednost kuta prednje površine alata γ (X_1) i vrijednost kuta namještanja alata δ_r (X_2), a konstante su tehnološki parametri: posmak $f=0,15\text{mm/o}$ i dubina rezanja $a_p=0,15\text{mm}$.

Optimalne vrijednosti geometrijskih i tehnoloških parametara modela vibracija (5) iznose:

$$\gamma=2^0, \delta_r=85^0, f=0,15\text{mm/o} \text{ i } a_p=0,15\text{mm}.$$

Grafički prikaz matematičkog modela vibracija, jednadžba 5 sa promjenljivim vrijednostima geometrijskih X_1 i X_2 , a konstantnim vrijednostima za tehnološke parametre X_3 i X_4 daje slika 10.



Slika 10. Geometrijski parametri optimalnih vibracija.

6. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Na temelju iznijetog, zaključuje se:

- provjeravaju se dobijeni optimalni rezultati sa dvije nezavisne metode,
- primijenjena mjerenja su dosta jednostavna, a mjerenje traje relativno kratko,
- dobiveni podaci daju podloge za prognozu otkaza tijekom eksploatacije,
- optimizirana su samo dva parametara obrade (f i a_p) i dvije geometrije oštrice (χ_r i γ) alata,
- povećana je konkurentnost proizvođača na tržištu,
- način mjerenja i metodologija može se koristiti u sustavu adaptivnog vođenja robota i fleksibilnih proizvodnih linija,
- rezultati dobiveni ovim istraživanjem mogu se koristiti u proizvodnim uvjetima pri izboru alata i projektiranju tehnoloških procesa.

7. REFERENCE:

- | | |
|-----------------------------------|---|
| [1] S. A. Tobias | |
| [2] R.H. Myers,
D.C.Montgomery | "Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments", New York. |
| [3] A. Mišković | "Contribution to study of Tribologic Processes on Cutting Tools", 3. Savjetovanje proizvodnoga strojarstva, Zagreb,1995. |
| [4] V. Baričak | "Optimiziranje vibracijskog stanja u postupku obrade tokarenjem ", doktorska disertacija, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb 2004. |
| [5] J. R. Pratt | "Vibration Control for Chatter Suppression with Application to Boring Bars", PhD Thesis, Virginia Polytechnic Institute, 1997. |
| [6] Bently Nevada | "Machinery Diagnostics reference manuel", Bently Nevada CO. USA, Minden, USA, 1994. |

