

**1. POSTAVKE I ZNAČAJ ISTRAŽIVANJA OBRADLJIVOSTI**

Obradljivost predstavlja sposobnost (pogodnost ili mogućnost) datog konstrukcionog materijala da se obrađuje rezanjem ili deformisanjem uobičajenim, ekonomičnim proizvodnim tehnikama i tehnologijama (mašinama, alatima, metodima itd).

To je kompleksno svojstvo materijala koje je prvenstveno određeno:

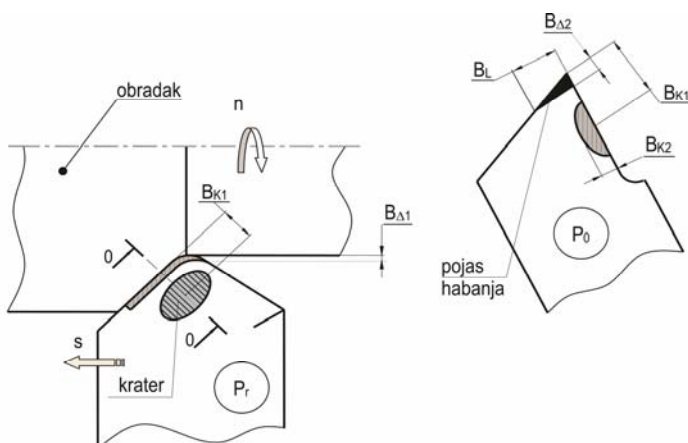
- glavnim faktorima obrade,
- kvalitetom obrađene površine i vrstom dobijene strugotine.

Obradljivost u prvom redu zavisi od fizičko mehaničkih svojstava materijala, hemijskog sastava i strukture materijala. Za ocenu obradljivosti nekog materijala najčešće se koriste izrazi za glavne faktore obrade, koji su određeni eksperimentalnim putem.

Brzina rezanja, kao glavni faktor obrade (detaljnije opisano u literaturi 2), predstavlja tehnološku brzinu rezanja i daje se preko Tejlorovog izraza:

- struganje  $v = C_v / T^m a^x s^y$
- bušenje  $v = C_v D^{x_0} \mu_0 / T^m s^{y_0}$
- glodanje  $v = C_v / T^m a^x s_z^y$

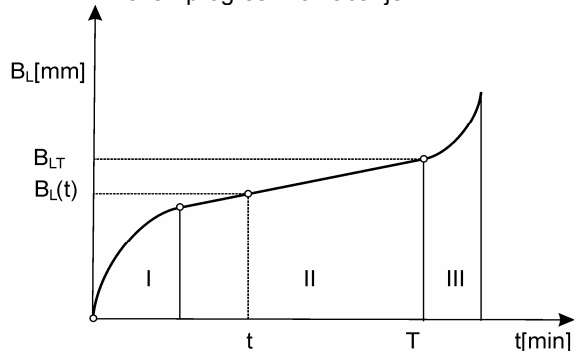
**CILJ LABORATORIJSKE VEŽBE:** određivanje parametara obradljivosti u izrazu za brzinu rezanja pri struganju (slika1) koje se vrši preko eksperimentalne identifikacije vremenske funkcije habanja ili krive habanja  $B_L = f(t)$  ( $B_L$  – širina pojasa habanja leđne površine) za određene uslove i režim obrade prikazane na slici 2.



**Slika 1:** Zone habanja sa parametrima habanja na reznom klinu strugarskog noža.

Karakteristični oblik krive habanja sa tri zone:

- I zona / inicijalno ili intenzivno habanje,
- II zona / stabilizovano ili linearno habanje,
- III zona / progresivno habanje.



**Slika 2:** Oblik funkcije habanja  $B_L = f(t)$

Krive habanja imaju višestruki značaj u tehnologiji mašinske obrade metala. Na osnovu njih se:

- određuju funkcije postojanosti alata (kao jedne od osnovnih grupa funkcija obradljivosti materijala)  
 $T = f(a, s, v, \dots)$ ;
- Optimizira geometrija alata i uslovi obrade u raznovrsnim obradnim procesima;
- Definiše stepen obradljivosti datog materijala u odnosu na neki drugi (referentni) materijal;
- Određuje rezna sposobnost jedne u odnosu na drugu vrstu alata.

Cilj istraživanja je prikupljanje podataka o parametrima obradljivosti koji se koriste za projektovanje tehnologija, određivanje vrste režima rezanja (standardni, optimalni ili specijalni).

U svim ovim slučajevima koriste se određeni kriterijumi zatupljenja alata kako bi se odredio položaj tačke T (trenutak zatupljenja alata) na krivoj habanja  $B_L = f(t)$ .

**LITERATURA:**

1. Stanić J.: Teorija procesa obrade, Univerzitet u Beogradu Mašinski fakultet, Beograd, 1994.
2. Kalajdžić M.: Tehnologija mašinogradnje, Univerzitet u Beogradu Mašinski fakultet, Beograd, 2008.
3. Kalajdžić M. i grupa autora: Tehnologija obrade rezanjem, Priručnik, Univerzitet u Beogradu Mašinski fakultet, Beograd, 2006.
4. Stanić, J., Kalajdžić M., Kovačević R.: Merna tehnika u tehnologiji obrade metala rezanjem, Univerzitet u Beogradu Mašinski fakultet, Beograd, 1983.

**2. METODOLOGIJA IZVOĐENJA VEŽBE**

1. Određivanje podataka o materijalu, mašini i alatu;
2. Određivanje uslova izvođenja eksperimenta
3. Plan eksperimenta – treofaktorni
4. Izvođenje eksperimenta
5. Interpretacija rezultata eksperimenta preko dijagrama  $B_L$ [mm] i  $f$ (t[min])
6. Određivanje parametara obradljivosti:
  - i. proračun parametara modela;
  - ii. ocena signifikantnosti modela;
  - iii. provera adekvatnosti modela;
7. Interpretacija rezultata eksperimenta preko dijagrama u dvostrukom logaritamskom sistemu  $T$ [min]= $f$ ( $v$ [m/min]).
8. Komentar dobijenih rezultata

**Formiranje matematičkog modela**

U teoriji obrade rezanjem većina karakteristika obradljivosti se može izraziti stepenom funkcijom koja je za trofaktorni plan sledećeg oblika:

$$R = C \cdot f_1^{p_1} \cdot f_2^{p_2} \cdot f_3^{p_3} \quad \rightarrow \quad p_i = \frac{2 \cdot b_i}{\ln \frac{f_{i \max}}{f_{i \min}}}$$

gde su:

- C,  $p_i$ - parametri obradljivosti
- $f_i$ - faktori
- k- broj faktora (k=3)

*Tabela 1: Plan eksperimenta*

Redni broj	a [mm]	v [m/min]	s [mm/o]	Rezultati merenja		Modelski rezultati		Greška
				T	y=lnT	T	y=lnT	
1	max	max	max	T <sub>1</sub>	y <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	y <sub>1</sub>	
2	max	min	max	T <sub>2</sub>	y <sub>2</sub>	T <sub>2</sub>	y <sub>2</sub>	
3	min	max	max	T <sub>3</sub>	y <sub>3</sub>	T <sub>3</sub>	y <sub>3</sub>	
4	min	min	min	T <sub>4</sub>	y <sub>4</sub>	T <sub>4</sub>	y <sub>4</sub>	
5	sr	sr	sr	T <sub>5</sub>	y <sub>5</sub>	T <sub>5</sub>	y <sub>5</sub>	
6	min	max	min	T <sub>6</sub>	y <sub>6</sub>	T <sub>6</sub>	y <sub>6</sub>	
7	sr	sr	sr	T <sub>7</sub>	y <sub>7</sub>	T <sub>7</sub>	y <sub>7</sub>	
8	max	max	min	T <sub>8</sub>	y <sub>8</sub>	T <sub>8</sub>	y <sub>8</sub>	
9	min	min	max	T <sub>9</sub>	y <sub>9</sub>	T <sub>9</sub>	y <sub>9</sub>	
10	sr	sr	sr	T <sub>10</sub>	y <sub>10</sub>	T <sub>10</sub>	y <sub>10</sub>	
11	sr	sr	sr	T <sub>11</sub>	y <sub>11</sub>	T <sub>11</sub>	y <sub>11</sub>	
12	max	min	min	T <sub>12</sub>	y <sub>12</sub>	T <sub>12</sub>	y <sub>12</sub>	

$$\ln C = b_0 + b_1 + b_2 + b_3 - 2 \left( b_1 \cdot \frac{\ln f_{1 \max}}{\ln \frac{f_{1 \max}}{f_{1 \min}}} + b_2 \cdot \frac{\ln f_{2 \max}}{\ln \frac{f_{2 \max}}{f_{2 \min}}} + b_3 \cdot \frac{\ln f_{3 \max}}{\ln \frac{f_{3 \max}}{f_{3 \min}}} \right)$$

Parametri se određuju iz sistema opštih jednačina:

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N y_u, \quad N = 2^k + n_0$$

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N x_{iu} y_u, \quad i = 1, 2, \dots, k \quad N = 2^k$$

$x_{iu}$  – vrednosti faktora  $x_i$  u  $u$ -tom eksperimentu  
 $y_u$  – vrednost funkcije cilja u  $u$ -tom eksperimentu  
 koje s obzirom na plan matricu prelaze u oblik:

$$b_0 = \frac{1}{12} (y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 + y_7 + y_8 + y_9 + y_{10} + y_{11} + y_{12})$$

$$b_1 = \frac{1}{8} (y_1 + y_2 - y_3 - y_4 - y_6 + y_8 - y_9 + y_{12})$$

Tejlorova jednačina koja aproksimira brzinu rezanja:

$$v = \frac{C_v}{T^m a^x s^y} \quad T = \frac{C_v^{\frac{1}{m}}}{a^m \cdot v^m \cdot s^m}$$

ili izraženo preko postojanosti alata:

Na osnovu izraza:  $p_1 = -x / m$   
 $p_2 = -1 / m$   
 $p_3 = -y / m$

Određuju se parametri obradljivosti  $x$ ,  $y$  i  $m$ .

$$b_2 = \frac{1}{8}(y_1 - y_2 + y_3 - y_4 + y_6 + y_8 - y_9 - y_{12})$$

$$b_3 = \frac{1}{8}(y_1 + y_2 + y_3 - y_4 - y_6 - y_8 + y_9 - y_{12})$$

**Uslovi eksperimenta**

Serije eksperimentalnih ispitivanja funkcije habanja alata izvršene su pri sledećim uslovima i režimima obrade:

Materijal: Č 0300

Alat: strugarski nož sa pločicom u oznaci H10

Mašina: univerzalni strug Niles

Obrada: spoljašnje uzdužno struganje

Režim obrade: brzina rezanja, korak i dubina rezanja dati su tabelarno u matrici u prilogu

**Tabela 2: Rezultati eksperimenta**

Redni broj	Plan matrica				Rezultati merenja		Modelski rezultati		Greška		
	x <sub>0</sub>	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	T(min)	y=lnT	T(min)	y <sup>*</sup> =lnT	(y <sub>u</sub> - ŷ <sub>u</sub> ) <sup>2</sup>	(y <sub>0u</sub> - ȳ <sub>0</sub> ) <sup>2</sup>	
1	+1	+1	+1	+1							
2	+1	+1	-1	+1							
3	+1	-1	+1	+1							
4	+1	-1	-1	-1							
5	+1	0	0	0							
6	+1	-1	+1	-1							
7	+1	0	0	0							
8	+1	+1	+1	-1							
9	+1	-1	-1	+1							
10	+1	0	0	0							
11	+1	0	0	0							
12	+1	+1	-1	-1							
											Σ

**Ocena signifikantnosti parametara modela:**

Ocena signifikantnosti (značajnosti) bilo kog parametra modela izvodi se nezavisno. Nesignifikantni parametri se mogu isključiti iz modela ne korigujući pri tom vrednosti ostalih signifikantnih parametara u modelu.

Za ocenu signifikantnosti može se koristiti bio koji od dva poznata kriterijuma: t-Studentov ili F-kriterijum pošto između njih postoji zavisnost oblika F(1,f)=t<sup>2</sup>(f), upoređujući disperziju parametara sa disperzijom rezultata u nultoj tački.

Disperzija parametara modela iznosi:

$$s_i^2 = \frac{S_{b_i}}{f_i}, \text{ gde je suma kvadrata:}$$

S<sub>b<sub>i</sub></sub> = N<sub>i</sub> b<sub>i</sub><sup>2</sup>, i = 0, 1, 2, 3 pri čemu je

za i = 0; N<sub>0</sub>=12, a za i = 1, 2, 3; N<sub>i</sub>=8

broj stepeni slobode je f<sub>LF</sub>=k<sub>1</sub>=1

Disperzija rezultata u nultoj tački iznosi:

$$s_E^2 = \frac{S_E}{f_E}$$

gde je suma kvadrata

$$S_E = \sum_{u=1}^{n_0} (y_{0u} - \bar{y}_0)^2$$

broj stepeni slobode f<sub>E</sub> = n<sub>0</sub> - 1 = 3

n<sub>0</sub>-broj ponavljanja eksperimenata u nultoj tački (n<sub>0</sub>=4)

Ocena signifikantnosti parametara modela b<sub>i</sub> (i = 0, 1, 2, 3) izvodi se prema F kriterijumu, tj. mora biti zadovoljen sledeći uslov:

$$F_{ri} = \frac{s_i^2}{s_E^2} > F_t$$

Gde su: F<sub>ri</sub> - računska vrednost F-kriterijuma za i-ti parametar

s<sub>i</sub><sup>2</sup> - disperzija i-tog parametra modela

s<sub>E</sub><sup>2</sup> - disperzija rezultata u nultoj tački

F<sub>t</sub> - tablična vrednost F-kriterijuma

Na osnovu vrednosti za s<sub>i</sub><sup>2</sup> i s<sub>E</sub><sup>2</sup> formiramo disperzioni odnos:

$$F_{r0} = s_0^2 / s_E^2$$

$$F_{r1} = s_1^2 / s_E^2$$

$$F_{r2} = s_2^2 / s_E^2$$

$$F_{r3} = s_3^2 / s_E^2$$

Za sve parametre proveriti da li je zadovoljen uslov

$$F_r > F_t$$

**Provera adekvatnosti modela**

Provera adekvatnosti modela sastoji se u opštem slučaju u upoređivanju disperzije eksperimentalnih rezultata u odnosu na liniju regresije ( $s_R^2$ ) i disperzije eksperimentalnih rezultata u tačkama višefaktornog plana ( $s_E^2$ ). Međutim pošto je centralna tačka pridružena planu (rezultati iz nje se koriste pri određivanju  $b_0$ ) i pošto se u ovoj tački eksperimenti ponavljaju  $n_0$  puta treba u Fišerovom kriterijumu umesto  $s_R^2$  zameniti  $s_{LF}^2$  koja predstavlja disperziju srednjih vrednosti eksperimentalnih rezultata u odnosu na liniju regresije.

Otuda Fišerov kriterijum za ocenu adekvatnosti modela glasi:

$$F_{rLF} = \frac{s_{LF}^2}{s_E^2} < F_t$$

Disperzija  $s_{LF}^2$  je disperzija razlika eksperimentalnih vrednosti i računskih vrednosti se određuje iz izraza:

$$s_{LF}^2 = \frac{1}{f_{LF}} \left[ \sum_{u=1}^N (y_u - \hat{y}_u)^2 - \sum_{u=1}^{n_0} (y_{0u} - \bar{y}_0)^2 \right]$$

Broj stepeni slobode je

$$f_{LF} = k_1 = N - k - 1 - (n_0 - 1) = 12 - 3 - 1 - (4 - 1) = 5$$

Disperzija rezultata u za eksperiment srednjeg nivoa iznosi:

$$s_E^2 = \frac{S_E}{f_E}$$

gde je suma kvadrata

$$S_E = \sum_{u=1}^{n_0} (y_{0u} - \bar{y}_0)^2$$

broj stepeni slobode  $f_E = n_0 - 1 = 3$

Provera adekvatnosti modela vrši se prema F-kriterijumu, tj. za adekvatan model mora da bude ispunjena nejednakost:

$$F_r < F_t$$

Usvojiti nivo značajnosti  $\alpha = 0,05$