

UDK 621.961.01/.02

## Povečanje obstojnosti rezalnih orodij na osnovi optimizacije procesa\*

STEVAN ŽIVANOVIĆ

### 1. UVOD

Močna razširjenost rezalnih orodij za zaprti rez (za izrezovanje in luknjanje) v kovinsko predelovalni industriji in njihov pomemben delež pri skupnih stroških izdelave spodbujata dejavnost, ki skuša doseči povečanje učinkovitosti njihove uporabe. Zato so v to smer obrnjeni tudi napor raziskovalcev, ki si prizadevajo ugotoviti in analizirati dejavnike, od katerih je odvisna uspešnost orodij te vrste.

Dosedanje raziskave kažejo, da je veliko število dejavnikov, ki vplivajo na proces rezanja in njegov rezultat kakor tudi na samo rezalno orodje. Te dejavnike lahko razdelimo v tri osnovne skupine, glede na njihovo odvisnost

- a) od preoblikovalnega stroja,
- b) od orodja in
- c) od obdelovanca in vrste maziva.

K dejavnikom prve skupine je treba prištevati predvsem:

- hitrost pehala, ki omogoča premočrtno gibanje pomicnega dela rezalnega orodja ter
- medsebojno lego orodja in stroja pri rezanju. Med dejavnike, ki so odvisni od orodja, sodijo:
- geometrija rezalnih elementov orodja in njena stabilnost,
- ohlap oziroma bočna rega  $u$  (razdalja med bočno steno rezalnega pестиča in steno odprtine v matrici, merjena pravokotno na os gibanja pomicnega dela orodja, (slika 1),

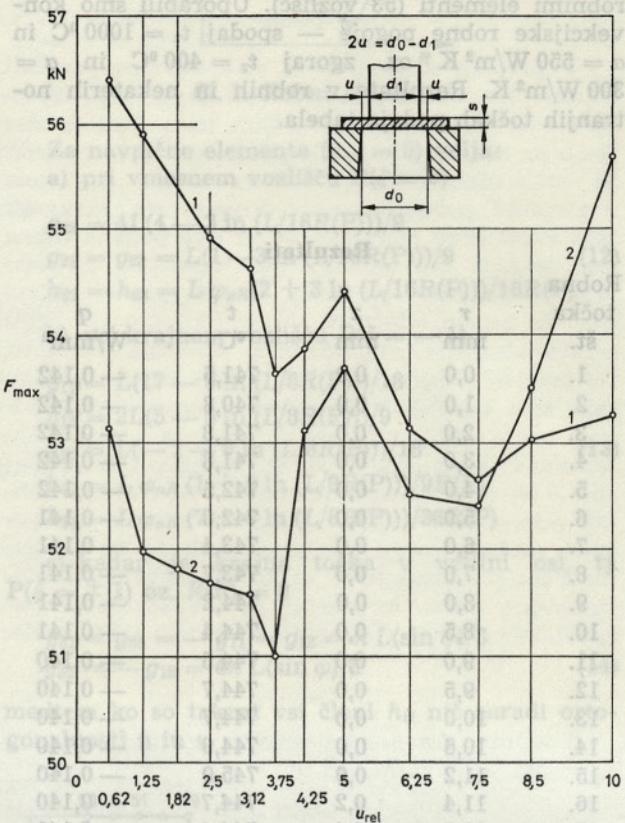
- vrsta in lastnosti materiala, iz katerega je izdelano orodje in

- kakovost površine rezalnih elementov orodja.

Dejavniki, ki so odvisni od obdelovanca in vrste maziva so:

- material, struktura in kakovost površine obdelovanca ter
- vrsta maziva in njegova mazalnost.

V tej analizi, ki temelji na lastnih eksperimentalnih izsledkih, so obravnavani dejavniki iz vseh treh navedenih skupin. V prvi je raziskana hitrost rezanja, tj. hitrost gibanja rezalnega pestiča, ki je določena s kinematičnimi karakteristikami preoblikovalnega stroja. Iz druge skupine je izpostavljena ohlapnost rezalnih elementov orodja, medtem ko sta pri tretji skupini dejavnikov analizirana vrsta materiala obdelovancev in mazivo. Posebna pozornost je posvečena mazivu, saj je izbira njegove mazalnosti odločilna za tehnološki proces.



Sl. 1. Optimumi rezalne rege za jeklo in med

$s = 2 \text{ mm}$ ,  $v = 0,04 \text{ m/s}$ ; suho (brez mazanja)

1 — jeklo C.0148

2 — bakrova zlitina CuZn 37 (poltrda)

### 2. KRITERIJI OPTIMIZACIJE

Opravljena optimizacija procesa rezanja temelji na dveh osnovnih izhodnih parametrih postopka: na kakovosti obdelovanca in intenzivnosti obrabljanja orodja. Ta dva parametra sta hkrati kriteriji za optimiranje.

Pomen kakovosti izdelkov je očiten, saj je tudi to cilj vsake izdelave. Njeno odvisnost od rezalne rege so ugotavljali ameriški znanstveniki [2]. Glede na stroške izdelave orodja je obraba njegovih rezalnih elementov drugi pomembni kriterij, kateremu je bila v dosedanjih raziskavah posvečena precejšnja pozornost [3].

Uporabljajoč klasično teorijo optimizacije so raziskovalci izhajali v glavnem iz enega od navedenih dveh kriterijev. Zato dosedanje raziskave tega procesa niso bile dovolj uspešne. Uvedba obeh kriterijev v proces optimizacije je bila mogoča na osnovi teorije dvojnega optima [4], ki je sestavljen del poliekstremnih funkcij. Po tej poti je uspelo spoznati medsebojno odvisnost kakovosti izdelka in intenzivnosti obrabljanja orodja.

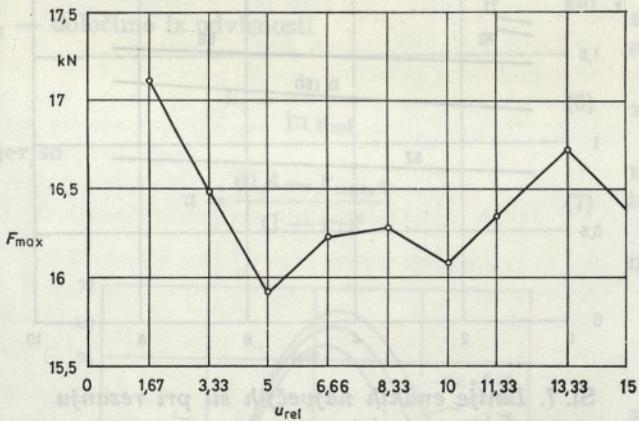
\* Prispevek obravnava del raziskav v okviru republiške teme Primjena novih konstrukcija i tehnologija alata za obradu lima deformacijom, ki jo finansirata Raziskovalna skupnost SR BiH in orodjarna DO »RUDI ČAJAVEC« v Banja Luki.

### 3. OPTIMIZACIJA PARAMETROV REZANJA

Skladno s pričakovanji, ki temeljijo na teoriji dvojnega optimuma, se pojavljata med procesom rezanja dva spodnja ekstrema, in sicer pri vseh treh vrstah materiala, ki so bili preizkušani (jeklena, medna in aluminijasta pločevina), kar je bilo prvič prikazano v razpravi [4]. Poznejše raziskave [5] in [6] to tudi potrjujejo s tem, da velja ta dvojnost, skladno s temi preizkusni, tudi za procese, pri katerih se uporabljajo tehnička maziva.

To pomeni, da je bilo treba pri iskanju optimalnega procesa, ki naj biupošteval tudi intenzivnost obrabljanja orodja, tj. njegovo obstojnost in kakovost izdelkov, analizirati vse štiri osnovne parametre rezalnega procesa: material obdelovancev, ohlap, mazivo in hitrost rezanja. Da bi dobili celotno sliko pojava rezanja, je bilo nujno potreben raziskati posamezne parametre kakor tudi njihovo korelacijo.

Za razliko od prejšnjih raziskovalcev je avtor tega prispevka uporabil pri raziskovanju intenzivnosti obrabljanja orodja posredno metodo, tj. z opazovanjem največje rezalne sile, pri čemer je našel obrazložitev za tako raziskovalno metodo v teoretičnih osnovah procesa rezanja [4]. Pokazalo se je namreč, da je intenzivnost obrabljanja orodja odvisna od največje sile pri rezanju.



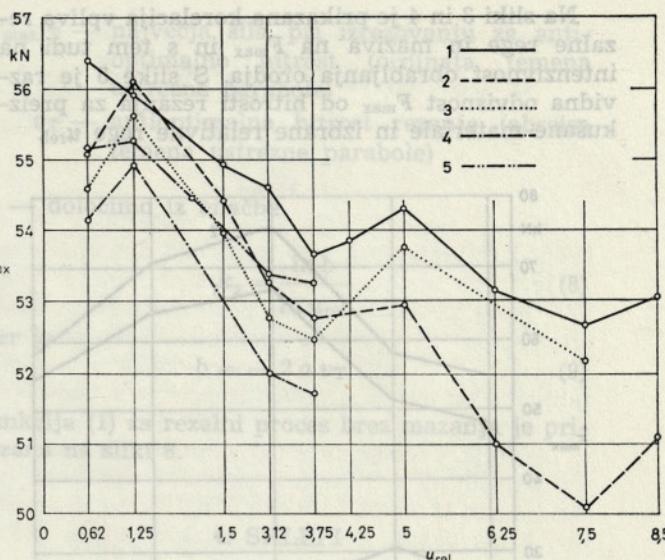
Sl. 2. Optimumni rezalni regi za aluminij

Aluminijeva zlitina AlMg 3 (poltrda)  
 $s = 1,5 \text{ mm}$ ,  $v = 0,004 \text{ m/s}$ ; suho (brez mazanja)

Rezultati avtorjevih novejših raziskav o vplivu rezalne rege na največjo rezalno silo  $F_{max}$  za jeklo in med so prikazani na sliki 1, za aluminij pa na sliki 2. Pri jeklu in medi se pojavlja prvi optimum pri relativni rezalni regi  $u_{1,rel} = 3,75$ , pri aluminiju pri  $u_{1,rel} = 5,0$ . Pri tem je relativna rega podana z izrazom

$$u_{rel} = \frac{u}{s} \cdot 100 \quad (\%)$$

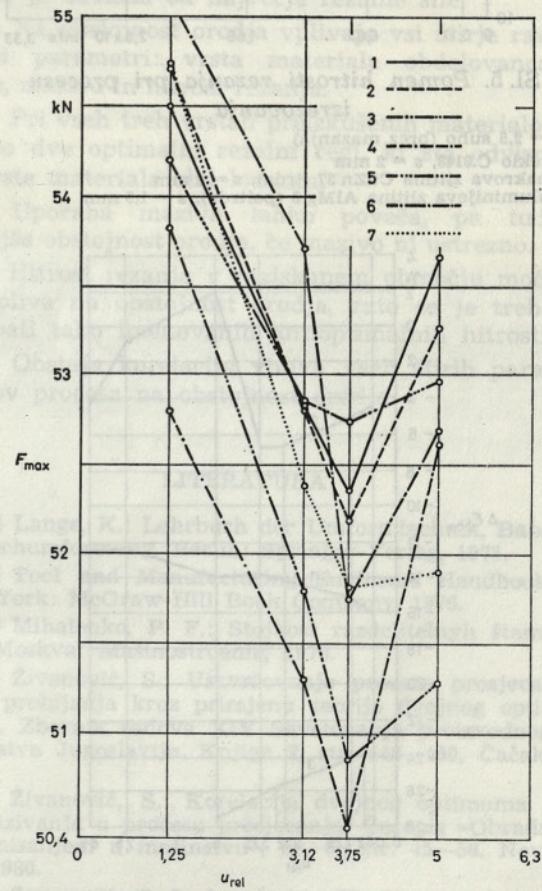
kjer pomenita  $u$  — bočno rego (mm) in  $s$  — debelino pločevine (mm). Prvemu optimumu ustreza izdelek brez igle z najmanjšo intenzivnostjo obrabe rezalnih elementov orodja v primerjavi z drugimi, sosednjimi regami [4].



Sl. 3. Vpliv maziva na največjo silo rezanja (I)

Jeklo C.0148

1 — suho (brez mazanja)  
 2 do 5 — mazanje z oljem Pres 419 pri razmerjih olje:voda:  
 2 — 1:3; 3 — 1:4; 4 — 1:5; 5 — 1:5,5

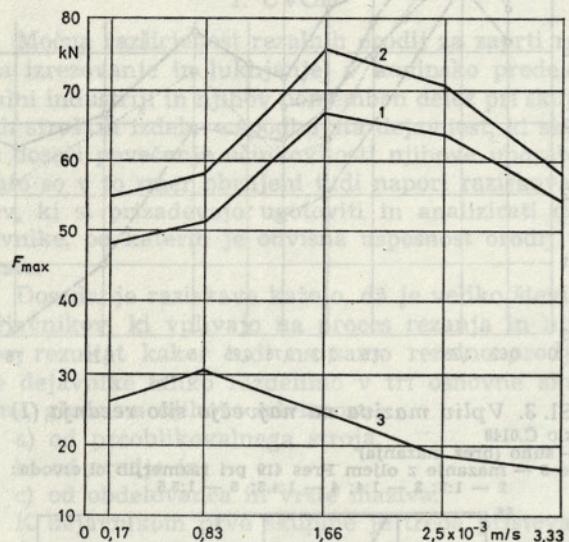


Sl. 4. Vpliv maziva na največjo silo rezanja (II)

Jeklo C.0148

$s = 2 \text{ mm}$ ,  $v = 0,0018 \text{ m/s}$   
 1 — suho (brez mazanja)  
 2 do 5 — mazanje z oljem Pres 419 pri razmerjih olje:voda:  
 2 — 1:3, 3 — 1:4, 4 — 1:5, 5 — 1:5,5  
 6 — mazanje z oljem Klüber Sunit St 90  
 7 — mazanje z atomskim oljem OOGEP

Na sliki 3 in 4 je prikazana korelacija vpliva rezalne rege in maziva na  $F_{\max}$  in s tem tudi na intenzivnost obrabljanja orodja. S slike 5 je razvidna odvisnost  $F_{\max}$  od hitrosti rezanja za preizkušane materiale in izbrane relativne rege  $u_{\text{rel}}$ .



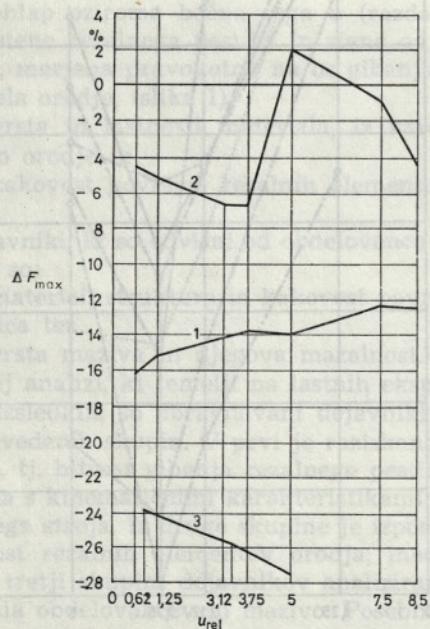
Sl. 5. Pomen hitrosti rezanja pri procesu izrezovanja

$u_{\text{rel}} = 2,5$  suho (brez mazanja)

1 — jeklo Č.0148,  $s = 2$  mm

2 — bakrova zlitina CuZn 37 (trda),  $s = 2$  mm

3 — aluminijeva zlitina AlMg 3 (poltrda),  $s = 1,5$  mm



Sl. 6. Vpliv maziva M-1 na relativno spremembo  $F_{\max}$

$F_{\max}$

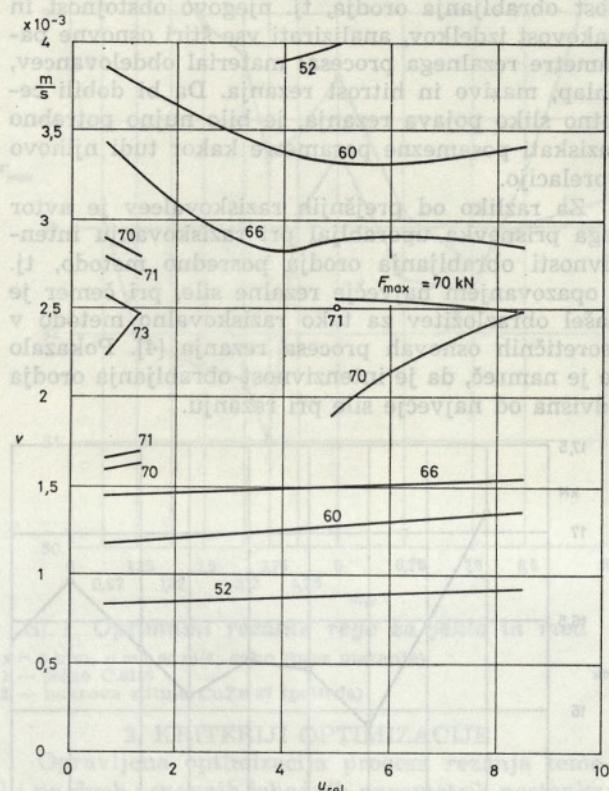
$$F_{\max} = (F_{\max} \text{ M1} - F_{\max} \text{ suho}) / F_{\max} \text{ suho}$$

1 — jeklo Č.0148

2 — bakrova zlitina CuZn 37 (trda)

3 — aluminijeva zlitina AlMg 3 (poltrda)

Slika 6 prikazuje vpliv maziva M-1, kakršnega izdeluje domača industrija olj na osnovi poprejnjih avtorjevih raziskav, na relativno spremembo sile  $F_{\max}$ . Kakor je mogoče videti, je uspeh mazanja odvisen v prvi vrsti od vrste materiala, nato šele od velikosti rezalne rege. Tu velja omeniti, da se pri izrezovanju jeklene pločevine z relativno rezalno rego  $u_{\text{rel}} = 0,62$ , pri zmanjšanju  $\Delta F_{\max}$  za 16 % obraba orodja zmanjša za več ko 6-krat, tj. poveča se njegova obstojnost za šestkrat, kar so potrdili tudi primerjalni testi v proizvodnih razmerah.



Sl. 7. Linije enakih največjih sil pri rezanju v sistemu  $u-v$

Jeklo Č.0148,  $s = 2$  mm, suho (brez mazanja)

Na sliki 7 so prikazane linije enakih največjih sil pri rezanju v sistemu  $u_{\text{rel}}-v$  (relativna rega — rezalna hitrost). Te linije so konstruirane na osnovi eksperimentalnih izsledkov pri rezanju pločevine Č.0148 brez mazanja.

Največjo rezalno silo  $F_{\max}$  pri izrezovanju pločevine iz medi v območju rezalnih hitrosti  $0,001 < v \text{ (m/s)} < 0,0035$ , ob menjavanju velikosti rege  $u$ , hitrosti rezanja  $v$  in maziva, lahko definiramo tudi matematično, podobno kakor pri raziskavah za jeklo [6]:

$$F_{\max} = u_{\text{rel}}^{k_1 m_1} \cdot v^2 + u_{\text{rel}}^{k_2 m_2} \cdot v - u_{\text{rel}}^{k_1 m_1} - u_{\text{rel}}^{k_2 m_2} + 61,4 \quad (1)$$

kjer so

$$u_{\text{rel}} = 100 \cdot u/s (\%)$$

$v$  — hitrost rezanja (mm/s)

$k_1, k_2$  — koeficienta, ki sta odvisna od rezalne rege

$m_1, m_2$  — koeficienta, ki sta odvisna od maziva.

Enačba (1) predstavlja družino parabol splošne oblike

$$F_{\max} = a v^2 + b v + C \quad (2)$$

kjer je

$$C = -a - b + 61,4$$

tako da dobi enačba (2) obliko

$$F_{\max} = (v^2 - 1) a + (v - 1) b + 61,4 \quad (3)$$

Z zamenjavo v enačbi (3)

$$a = u_{\text{rel}} k_1 m_1 \text{ in } b = u_{\text{rel}} k_2 m_2 \quad (4)$$

dobimo enačbo (1).

Za izrezovanje brez mazanja je  $m_1 = m_2 = 1$ , s čimer dobi enačba (1) obliko

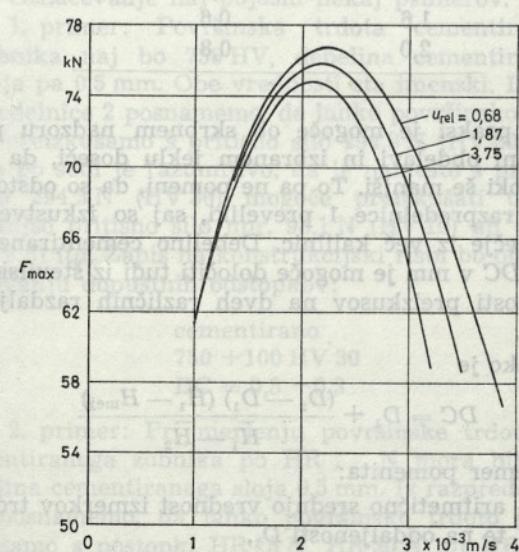
$$F_{\max} = u_{\text{rel}}^{k_1} \cdot v^2 + u_{\text{rel}}^{k_2} \cdot v - u_{\text{rel}}^{k_1} - u_{\text{rel}}^{k_2} + 61,4 \quad (5)$$

$k_1$  — določimo iz odvisnosti

$$k_1 = \frac{\ln a}{\ln u_{\text{rel}}} \quad (6)$$

kjer so

$$a = \frac{61,4 - F_{\max,T}}{(1 - v_T)^2} \quad (7)$$



Sl. 8. Parabolična odvisnost  $F_{\max}$  od hitrosti rezanja  
Bakrova zlitina CuZn 37 (trda),  $s = 2$  mm, suho (brez mazanja)

$F_{\max,T}$  — največja sila pri izrezovanju za anti-optimalno hitrost (ordinata temena ustrezne parabole)

$v_T$  — antioptimalna hitrost rezanja (abscisa temena ustrezne parabole)

$k_2$  — določimo iz enačbe

$$k_2 = \frac{\ln b}{\ln u_{\text{rel}}} \quad (8)$$

kjer je

$$b = -2 a v_T \quad (9)$$

Funkcija (1) za rezalni proces brez mazanja je prikazana na sliki 8.

#### 4. SKLEPI

Po analizi rezultatov raziskave lahko določimo naslednje sklepe:

a) Intenzivnost obrabljanja rezalnih elementov orodja je odvisna od največje rezalne sile.

b) Na obstojnost orodja vplivajo vsi širje raziskani parametri: vrsta materiala obdelovanca, ohlap, mazivo in hitrost rezanja.

c) Pri vseh treh vrstah preizkušenih materialov sta po dve optimalni rezalni regi, ki sta odvisni od vrste materiala obdelovanca.

d) Uporaba maziva lahko poveča, pa tudi zmanjša obstojnost orodja, če mazivo ni ustrezno.

e) Hitrost rezanja v raziskanem območju močno vpliva na obstojnost orodja, zato se je treba izogibati tako imenovanih antioptimalnih hitrosti.

f) Obstaja korelacija vpliva vseh štirih parametrov procesa na obstojnost orodja.

#### LITERATURA

[1] Lange, K.: Lehrbuch der Umformtechnik, Band 3, Blechumformung. Berlin: Springer-Verlag, 1975.

[2] Tool and Manufacturing Engineers Handbook. New York: McGraw-Hill Book Company, 1976.

[3] Mihalenko, P. F.: Stojkost razdelitelnyh štam-pov. Moskva: Mašinostroenie, 1976.

[4] Živanović, S.: Usavršavanje procesa prosjecanja i probijanja kroz primjenu teorije dvojnog optimuma. Zbornik radova XIV Savetovanja proizvodnog mašinstva Jugoslavije. Knjiga 2, str. 448—459, Čačak, 1980.

[5] Živanović, S.: Korelacija dvojnog optimuma i podmazivanja u procesu prosjecanja. Časopis »Obrada deformisanjem u mašinstvu«, br. 6., str. 45—56. Novi Sad, 1980.

[6] Živanović, S.-Jurković, M.: Einflüsse auf den Verschleiss von Stanzwerkzeugen. Bänder Bleche Rohre, 22 (1981), s. 267—270.