

se veliko uporabljajo pri strožilnih avtomatih. Šablone in modele še tudi veliko uporabljamo pri poobličnih avtomatih. Pred 30 leti smo poznali praktično le prvi dve vrsti pomnilnikov. Potem so se začele pojavljati razne različice križnega vezja, kar je prišlo že od računalnikov. Obenem sta se pojavila tudi izraza program in programer. Luknjan trak se je pojavil hkrati z numeričnim krmiljenjem, ker je bil od vseh vrst prenosnih pomnilnikov najbolj primeren za razmere v delavnicah. V numeričnem krmilju se je začel takoj tudi uveljavljati računalnik kot predelovalec informacij in kot notranji pomnilnik.

Prikazani razpored pomnilnikov ni le razvojno pogojen, ampak ima še nekatere lastnosti. Elastičnost pomnilnika je dana s hitrostjo zamenjave informacij s pomnilnikom ali v njem. Elastičnost zelo naraste od krivuljnega do računalniškega pomnilnika. Ekonomična velikost serije pa se manjša od krivuljnega do računalniškega pomnilnika. Možnost za uporabo standardnega orodja narašča, nujnost za uporabo specialnega orodja pa se zmanjšuje od krivuljnega do računalniškega pomnilnika.

UDK 621.9.012:621.9.014:621.025

Načrtovanje preizkusov in izračun eksponentov za optimiranje odrezovanja

ADOLF ŠOSTAR — FRANCI ČUŠ

Načrtovanje in izvajanje preizkusov v sodobnih razmerah raziskovalnega dela moramo opremiti z ustrežno metodo, ker je uporaba običajnih matematičnih teorij povezana z velikimi stroški. Še posebej sta pomembna pravilna izbira preizkusov in izračun eksponentov pri oblikovanju bank tehnoloških podatkov na področju odrezovanja, kjer je treba večje število vplivnih veličin pri spremenljivih razmerah ustrezno razvrstiti in vrednotiti.

V uporabi so naslednje metode: metoda latinskega kuba, BOX-Wilsonova gradijentna metoda, metoda simpleks ipd.

V predloženem sestavku želimo na podlagi metode latinskega kuba predstaviti postopek za izračun eksponentov in drugih veličin preizkusov pri optimiranju veličin odrezovanja, npr. rezalne hitrosti, podajanje in globine rezanja.

Za izhodišče bo rabila Taylorjeva formulacija izračuna časa obstojnosti rezalnega roba orodja T v minutah oz. izračuna rezalne hitrosti v_c v m/min (po ISO 3658) pri struženju:

$$T = C_T \cdot v_c^{\frac{l}{m}} \cdot a^{\frac{x}{m}} \cdot f^{\frac{y}{m}} \quad (1)$$

$$v_c = C_y \cdot T^G \cdot a^F \cdot f^E \quad (2)$$

kjer pomenijo:

f — podajanje v mm/vrt,

a — globino rezanja v mm,

C_T in C_y — konstanti.

Univerzalnost odrezovalnega stroja narašča od krivuljnega do računalniškega pomnilnika. Če ta dejstva upoštevamo pri izračunu cene izdelka, ugotovimo, da nobena vrsta pomnilnika še ni zastarela. Tudi ročno krmiljenje bo še dolgo imelo ekonomsko upravičenost. Pomembno pa je, da pri nakupu opreme skrbno izbiramo in računamo, kaj je najbolj primerno.

10. SKLEP

Podan je zgoščen orientacijski pregled medsebojnega vpliva uporabnika in izdelovalca odrezovalnega stroja, možnosti in želje, ki jih morata uskladiti. Podana je primerjava nekaterih novih izrazov, ki so prišli od računalnika, s starejšimi utečenimi izrazi. Nadalje je podan kratek razvoj pomnilnikov in njihov upravičen obstoj in uporabnost. To bi lahko bilo ogrodje, okoli katerega bi bilo mogoče podrobneje obdelati posamezne elemente.

Avtorjev naslov: dr. Pavel Šmarčan, dipl. inž.
redni profesor, VTO Strojništvo
VTS Maribor,
Smetanova ulica 17

Eksponente $\frac{l}{m}, \frac{x}{m}, \frac{y}{m}, G, F, E$, ki določajo vplive rezalnega materiala, materiala obdelovanja, obrabe, specifičnih rezalnih sil itd., ovrednotimo na podlagi rezultatov praktičnih preizkusov.

Enačbo (1) logaritmiramo in dobimo nov izraz:

$$Y = B_0 + B_1 x_1 + B_2 x_2 + B_3 x_3 \quad (3)$$

pri čemer pomenijo

$$\begin{aligned} Y &= \ln T & B_0 &= \frac{l}{m} \ln C_T \\ x_1 &= \ln v_c & B_1 &= -\frac{l}{m} \\ x_2 &= \ln a & B_2 &= -\frac{x}{m} \\ x_3 &= \ln f & B_3 &= -\frac{y}{m} \end{aligned} \quad (4)$$

Iz vrednoteni rezultati preizkusov rabijo za izračun regresijskih koeficientov b_0, b_1, b_2 in b_3 , ki pomenijo teoretično oceno vrednosti koeficientov B_i . Veličine b_i določimo z metodo najmanjših kvadratov po domnevi, da dosežemo najugodnejše približevanje aproksimirajoče funkcije $Y_2 = f(x)$ z rezultati preizkusov takrat, ko znaša vsota kvadratov odstopkov izračunanih vrednosti $f(x_1) \dots f(x_n)$ od preizkušenih po izrazu

$$u = \sum_{i=1}^n (Y_i - b_0 - b_1 x_{1i} - b_2 x_{2i} - b_3 x_{3i})^2 \quad (5)$$

Izraz v oklepaju pomeni pogrešek preizkusa.

Enačbo 5 minimiziramo.

$$\frac{\partial u}{\partial b_i} = 0 \quad (i = 0, 1, 2, 3) \quad (6)$$

Urejen sistem enačb rabi za izračun koeficientov b_i .

Razrešitev enačb dosežemo z matično algebro iz naslednjega izraza:

$$X' \cdot X \cdot B = X' Y \quad (7)$$

Zmanjševanje časa in stroškov preizkusov dosežemo po sodobnih matematičnih formulacijah preizkusov na podlagi

— oblikovanja ortogonalnega načrta preizkusov,

— kodiranja vnaprej definiranih nivojev faktorjev.

Če vstopni podatki variirajo na treh nivojih (zgornji, srednji, spodnji), definiramo enačbe za transformacijo kodiranih faktorjev po naslednji obliki:

$$\begin{aligned} x_1 &= 2 \frac{\ln v - \ln v_{\max}}{\ln v_{\max} - \ln v_{\min}} + 1 \\ x_2 &= 2 \frac{\ln a - \ln a_{\max}}{\ln a_{\max} - \ln a_{\min}} + 1 \\ x_3 &= 2 \frac{\ln f - \ln f_{\max}}{\ln f_{\max} - \ln f_{\min}} + 1 \end{aligned} \quad (8)$$

V enačbah (8) pomenijo:

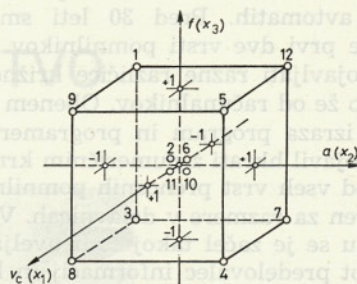
$$v_c = v_{\max} \dots x_1 = +0$$

$$v_c = v_{sr} \dots x_1 = 0$$

$$v_c = v_{\min} \dots x_1 = -1 \quad (9)$$

Vrednosti za veličini f in a so identične. $v_{c \max}$ in $v_{c \min}$ izbiramo na podlagi izkušenj, za vse pa velja enačba $v_{c sr} = v_{c \max} \cdot v_{c \min}$. Ker je srednji nivo faktorjev kodiran z 0, je treba izvesti $2^2 + n_0 = 2^3$ preizkusov s štirimi dodatnimi preizkusi za preverjanje natančnosti ($N = 2^2 + n_0 = 2^3 + 4 = 12$ preizkusov).

Shema preizkusov $N = 2^2 + n_0$ prikazuje slika 1.



Sl. 1. Shema preizkusov $N = 2^2 + n_0$

Po urejeni enačbi (7) dobimo sistem enačb (10), iz katerega izračunamo regresijske koeficiente b_i :

$$\begin{aligned} b_0 &= \frac{1}{12} (y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 + y_7 + y_8 + y_9 + y_{10} + y_{11} + y_{12}) \\ b_1 &= \frac{1}{8} (-y_1 - y_3 + y_4 + y_5 - y_7 - y_8 + y_9 - y_{12}) \\ b_2 &= \frac{1}{8} (-y_1 - y_3 + y_4 + y_5 - y_7 - y_8 - y_9 + y_{12}) \\ b_3 &= \frac{1}{8} (y_1 - y_3 - y_4 + y_5 - y_7 - y_8 + y_9 + y_{12}) \end{aligned} \quad (11)$$

S temi regresijskimi koeficienti dobimo koeficiente B_i enačbe (3), ki imajo naslednje oblike:

$$\begin{aligned} B_0 &= b_0 + b_1 + b_2 + b_3 - 2 b_1 \frac{\ln v_{\max}}{\ln v_{\max} - \ln v_{\min}} - \\ &\quad - 2 b_2 \frac{\ln t_{\max}}{\ln t_{\max} - \ln t_{\min}} - 2 b_3 \frac{\ln S_{\max}}{\ln S_{\max} - \ln S_{\min}} \\ B_1 &= 2 b_1 \frac{1}{\ln v_{\max} - \ln v_{\min}} \\ B_2 &= 2 b_2 \frac{1}{\ln t_{\max} - \ln t_{\min}} \\ B_3 &= 2 b_3 \frac{1}{\ln S_{\max} - \ln S_{\min}} \end{aligned} \quad (12)$$

Z antilogaritmiranjem enačbe (3) definiramo iskani izraz. Za oceno signifikantnosti koeficientov (11) in ustreznosti matematičnega modela uporabimo F — test (13)

$$\begin{aligned} F_{rs} &> F_t & F_t & \text{— tabelarične vrednosti} \\ F_{ra} &< F_t & F_{rs}, F_{ra} & \text{— rezultati preizkusov} \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \\ Y_4 \\ Y_5 \\ Y_6 \\ Y_7 \\ Y_8 \\ Y_9 \\ Y_{10} \\ Y_{11} \\ Y_{12} \end{pmatrix} \quad (10)$$

Razpredelnica 1 — Skupine jekel po obdelovalnosti

A = skupina obdelovalnosti

B = označba jekel po standardu JUS

C = dodatna označba Železarne Ravne

D = trdota jekel po Brinellu (HB)

N = normalizirano

A	B	C	D
1	Č. 1220	N, 3	120
	Č. 1221	N, 3	120
2	Č. 1330	N, 3	150
	Č. 1331	N, 3	150
3	Č. 1430	N, 3	160
	Č. 1431	N, 3	160
	Č. 4382	9	170
4	Č. 4320	9	160
	Č. 4730	5, 4	180
	Č. 5420	9	180
5	Č. 4130	5, 4	200
	Č. 4731	5, 4	200
6	Č. 1530	4	250
	Č. 1630	4, 3	220
	Č. 4730	4	280
	Č. 7420	9	150
	Č. 1730	N, 3	220
7	Č. 4520	9	200
	Č. 5430	5, 4	220
	Č. 1630	4	280
8	Č. 1730	N, 3	260
	Č. 4732	N, 4	280
	Č. 1730	4	300
9	Č. 5430	4	300
	Č. 5431	4	350

Nesignifikantne koeficiente lahko izločimo in v primeru neustreznosti matematičnega modela ga moramo spremeniti.

Rezultati preizkusov odrezovanja za določanje eksponentov so bili uporabljeni za izdelavo banke tehnoloških podatkov, ki ustreza sistemu INFOS. Uporabili smo Kistlerjeve merilnike komponent odrezovalnih sil, optični merilnik obrabe in sproti sistem beleženja, računanja in vrednotenja rezultatov preizkusov na računalniškem sistemu Delta 4850.

EkspONENTE smo izračunali po enačbi (2). Pri obdelavi smo uporabljali rezalne ploščice podjetja Krupp-Widia. Material obdelovancev je oskrbela Železarna Ravne. Glede na obdelovalnost smo materiale razdelili v 10 skupin (razpredelnica 1). Režimi rezanja so zbrani v razpredelnici 2. V sestavku so navedeni le posamični predstavniki skupin, popolni pregled je predstavljen v literaturi [2].

**Optimiranje stroškov in časov izdelave
pri odrezovanju v odvisnosti od rezalne hitrosti,
podajanja in globine rezanja**

Obdelovanje določenega obdelovanca z odrezovanjem je povezano z vrsto problemov, npr. izbiro ustreznega stroja, rezalnega orodja, vpenjalnih naprav ipd. Odločitev je vezana na tehnološki in ekonomski cilj: izdelati najhitreje in najceneje. Vedno ne moremo vplivati na značilnice stroja in orodja, zaradi tega preostane še ustrezna izbira režimov rezanja. Določiti moramo ustrezna merila optimiranja in po njih definirati ciljno funkcijo. Ciljna funkcija določa analitično povezavo med merili

Razpredelnica 2 — *EkspONENTI razširjene Taylorjeve enačbe za odrezovanje jekel*

A = skupina jekel po obdelovalnosti

R = označba karbidne trdine — rezalni material

* = oslojevane karbidne trdine s titanovim karbidom (TiC)

		$V = C \cdot a^F \cdot f^E \cdot T^G$				režimi rezanja		
A	R	C	F	E	G	a mm	f mm/vrt	T min
1	P 10	950	— 0,10	— 0,12	— 0,38	1 ... 10	0,0 ... 1	6 ... 100
	P 20	780	— 0,11	— 0,17	— 0,38	1 ... 12	0,15 ... 1,2	6 ... 100
	P 20*	937	— 0,10	— 0,13	— 0,34	1 ... 10	0,15 ... 1	6 ... 100
2	P 10	754	— 0,10	— 0,15	— 0,35	1 ... 10	0,1 ... 1	6 ... 100
	P 20	613	— 0,11	— 0,20	— 0,35	1 ... 12	0,15 ... 1,2	6 ... 100
	P 20*	774	— 0,10	— 0,16	— 0,31	1 ... 10	0,15 ... 1,2	6 ... 30
	P 30*	569	— 0,11	— 0,30	— 0,31	2 ... 16	0,2 ... 1,2	6 ... 30
3	itd. Popolne vrednosti za vseh 10 skupin so na voljo v pregledu literature.							

optimiranja in optimiranimi vrednostmi. Merilo optimiranja predstavljajo ali stroške izdelave ali pa čas izdelave enega obdelovanca. Merila optimiranja izrazimo v obliki enačbe izdelavnih stroškov oz. enačbe časa izdelave. Obe enačbi lahko matematično izrazimo v skupni obliki:

$$K_t = K_m \Sigma (t_{GM} + t_{HZ}) + (K_M' \cdot t_{HW} + C_0 K_W) \frac{\Sigma t_{GM}}{T_{eff}} \quad (14)$$

Za enačbo stroškov je konstanta $C_0 = 1$, za enačbo časa izdelave po enoti obdelovanca $C_0 = 0$. Znak Σ pomeni, da na obdelovancu poteka več rezov in da se rezultatna vrednost ciljne funkcije dobi s seštevanjem posameznih vrednosti, ki so optimirane za vsak posamični rez.

V enačbi pomenijo:

- t_{GM} = glavni čas rezanja za m -ti rez (min)
- t_{HZ} = čas povratka orodja na začetno mesto rezanja (min)
- t_{HW} = čas zamenjave orodja ali ploščice (min)
- K_W = absolutni stroški, odvisni od orodja (DIN)
- K_M = stroški stroja v enoti časa (DIN/min)
- K_L = stroški za osebni dohodek delavca (DIN/min)
- K_R = preostali skupni stroški (DIN/min)
- K_{WV} = stroški na čas obstojnosti rezalnega roba (DIN)
- K_{WS} = stroški brušenja orodja (DIN)
- $K_W = K_{WV} + K_{WS}$ (DIN)
- $K_W' = K_{WV} + K_{WS} + K_{WS}$ (DIN)
- $K_M' = K_M + K_L + K_R$ (DIN/min)
- $K_{WW} = K_M' \cdot t_{HW}$ (DIN)

Dejanski čas obstojnosti rezalnega roba orodja za rezanje m rezov pri $n = \text{const}$:

$$T_{eff} = \frac{\sum_{i=1}^m t_{Gmi}}{\sum_{i=1}^m (t_{Gmi}/T_i)} \quad (15)$$

Splošna ciljna funkcija za kriterij časa rezanja ob upoštevanju rezalne hitrosti, podajanja in globine rezanja je podana v obliki:

$$t = \pi \cdot l_c \cdot d \frac{1}{f \cdot v_c} + \frac{t_{HW}}{A_5 \cdot v_c^{A_2+1} \cdot f^{A_4+1} \cdot d^{A_6}} \quad (16)$$

- l_c — dolžina rezanja (mm)
- d — premer obdelovanca (mm)
- f — podajanje (mm/vrt.)
- v_c — rezalna hitrost (m/min)
- a — globina rezanja (mm)

A_2, A_4, A_5, A_6 — eksponenti Taylorjeve enačbe, napisani v drugi obliki (po ISO: C, F, E, G)

Minimalni čas rezanja dobimo s parcialnim odvajanjem:

$$\begin{aligned} \frac{\partial t}{\partial v_c} &= 0 \\ \frac{\partial t}{\partial f} &= 0 \\ \frac{\partial t}{\partial a} &= 0 \end{aligned} \quad (17)$$

Rezultat rešitev predstavlja optimalne režime rezanja:

$$\begin{aligned} v_{c \text{ opt}} &= \left[- \frac{(A_2 + 1) \cdot t_{HW}}{A_5 \cdot f^{A_4} \cdot a^{A_6}} \right]^{1/A_2} \\ f_{\text{opt}} &= \left[- \frac{(A_4 + 1) \cdot t_{HW}}{A_5 \cdot v_c^{A_2} \cdot a^{A_6}} \right]^{1/A_4} \quad \text{za } A_4 > 1 \\ a_{\text{opt}} &= 0 \end{aligned} \quad (18)$$

Za stroškovni kriterij velja podobna izpeljava splošne ciljne funkcije:

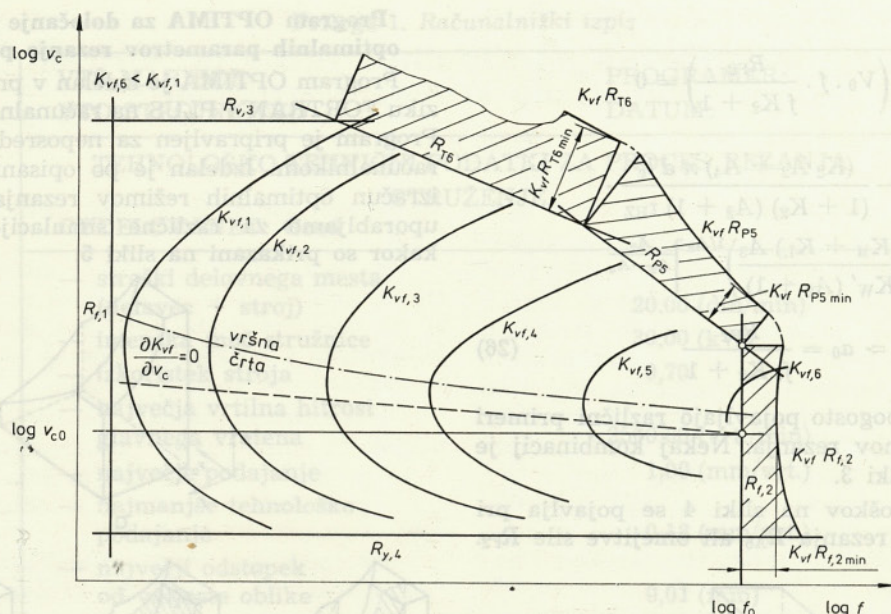
$$K = \pi \cdot l_c \cdot d \left[\frac{K_M + K_L}{f \cdot v_c} + \frac{K_W'}{A_5 \cdot v_c^{A_2+1} \cdot f^{A_4+1} \cdot a^{A_6}} \right] \quad (19)$$

Najmanjše stroške dobimo s parcialnim odvajanjem, čemur sledijo ekonomski režimi rezanja:

$$\begin{aligned} \frac{\partial K}{\partial v_c} = 0 &\rightarrow v_{ek} = \left[- \frac{K_W'}{K_M + K_L} \frac{(A_2 + 1)}{A_5 \cdot f^{A_4} \cdot a^{A_6}} \right]^{1/A_2} \\ \frac{\partial K}{\partial f} = 0 &\rightarrow f_{\text{opt}} = \left[- \frac{K_W'}{K_M + K_L} \frac{(A_4 + 1)}{A_5 \cdot v_c^{A_2} \cdot a^{A_6}} \right]^{1/A_4} \\ \frac{\partial K}{\partial a} = 0 &\rightarrow a_{\text{opt}} = 0 \end{aligned} \quad (20)$$

Za oba poprejšnja primera bi absolutni minimum imel koordinate $(v_0, f_0, a_0) = (0, \infty, 0)$, ker vpliva na čas obstojnosti rezalnega roba kot največji vpliv rezalne hitrosti, manjša pa podajanje in globina rezanja.

Omejitve pomenijo medsebojno analitično povezavo med izdelavnimi razmerami in vrednostmi, ki jih želimo optimirati. Robni pogoji omejitev so podani s tehničnimi karakteristikami stroja (moč, dimenzije, vpenjanje, itd.). Množico matematično definiranih omejitev imenujemo sistem omejitev. Omejitve lahko razdelimo glede na elemente izdelavnega sistema (stroj, vpenjalne naprave, obdelovanec), glede na karakteristične veličine delovanja (geometrija, rezila, kinematika, obremenitve, obraba, itd.) ali glede na povezanost spremenljivk (odrezovalna sila, moč motorja, čas obstojnosti). Čim več je vključenih praktičnih pogojev v model optimiranja, tem zahtevnejši je matematični model.



Sl. 2. Ravninski statični model
(Indeksi v se nanašajo na v_c)

Ravninski statični model za optimiranje rezalne hitrosti in podajanja pri $a = \text{const.}$, prikazuje slika 2. Na področju realnih rešitev so postavljene naslednje omejitve:

$$\begin{aligned} R_{v4} \leq v_c \leq R_{v3} & \quad T_{TG} \leq v_c A_2 \cdot f A_4 \\ R_{f1} \leq f \leq R_{f2} & \quad R_{F2} \geq a \cdot f^{1+K_2} \\ R_{G2} \leq a/f \leq R_{G2} & \quad R_{P5} \geq v_c \cdot a \cdot f^{1+K_2} \end{aligned} \quad (21)$$

R_v — omejitev rezalnih hitrosti

F_f — omejitev podajanja

R_G — omejitev razmerja a/f

R_T — omejitev časa obstojnosti

R_F — omejitev rezalnih sil

R_P — omejitev moči stroja

Minimum posameznih funkcij dobimo iz naslednjega pogoja:

$$\frac{\partial K(v_c \cdot R_{f2})}{\partial v_c} = 0;$$

$$V_{0R_{s2}} = \left[-\frac{K_W' (A_2 + 1)}{(K_M + K_L) A_3 R_{s2}^4} \right]^{1/A_2}; \quad f_{0R_{s2}} = R_{s2} \quad (22)$$

oziroma

$$\frac{\partial K(R_{v4} \cdot f)}{\partial f} = 0;$$

$$V_{0R_{v4}} = R_{v4}; \quad s_{0R_{v4}} = \left[-\frac{K_W' (A_4 + 1)}{(K_M + K_L) A_3 R_{v4} A_2} \right]^{1/4}$$

$$\frac{\partial K(R_{P5} S)^{-(1+K_2)} \cdot f}{\partial f} = 0 \Rightarrow f_{0R_{P5}} = \left[-\frac{K_M + K_L}{K_W'} \cdot \frac{R_{P5} A_2 A_3 K_2}{(K_2 + 1)(A_2 + 1) - A_4 - 1} \right]^{1/A_2}$$

$$V_{0R_{P5}} = P_{P5} S_0^{-(1+K_2)}$$

$$\frac{\partial K \left(v_c \left(\frac{R_{P5}}{v_c} \right)^{\frac{1}{(1+K_2)}} \right)}{\partial v_c} = 0 \Rightarrow V_{0R_{P5}} = \left[-\frac{K_M + K_L}{K_W'} \cdot \frac{R_{P5}^{\frac{A_4}{1+K_2}} A_3 K_2}{(K_2 + 1)(A_2 + 1) - A_4 - 1} \right]^{\frac{1}{A_2(1+K_2) - A_4}}$$

$$f_{0R_{P5}} = (R_{P5}/v_c)^{\frac{1}{1+K_2}} \quad (23)$$

Če dodatno uvedemo globino rezanja kot spremenljivko v opisan ravninski model, dobimo prostorski statični model, kateremu dodamo omejitev globine rezanja R_{A8} .

Ako je

$$A_5 \cdot a^{A_6} = A_3$$

in

$$R_{F2} = a \cdot f^{1+K_2}$$

potem je točka najmanjših stroškov podana s parcialnim odvodom stroškovne ciljne funkcije:

$$K = \frac{a_z}{a} \left[(K_M + M_L) \left(\frac{\pi d l}{v_0 \cdot f} + t_{HZ} \right) + K_W' \frac{\pi d l}{A_5 v_c A_2 + 1 \cdot f A_4 + 1 a A_6} \right] \quad (24)$$

a_z = celotni dodatek za rezanje

$$\frac{\partial}{\partial v} K \left(v_c \cdot f \cdot \frac{R_{F2}}{f K_2 + 1} \right) = 0 \Rightarrow V_0 = - \left[\frac{K_W' (A_2 + 1)}{(K_M + K_L) A_3 \cdot f A_4} \right]^{1/A_2} \quad (25)$$

to sestavimo v

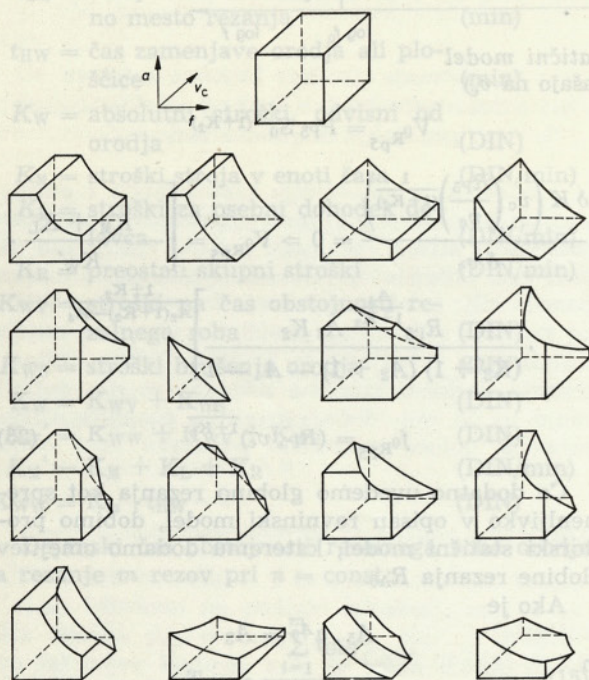
$$\frac{\partial}{\partial f} K \left(V_0 \cdot f \cdot \frac{R_{F2}}{f K_2 + 1} \right) = 0$$

in dobimo

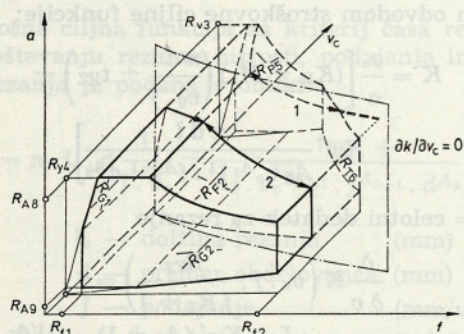
$$f_0 = \left[- \frac{(K_3 A_2 + A_4) \pi d l_c}{(1 + K_2) (A_2 + 1) t_{HZ}} \cdot \left(- \frac{(K_M + K_L) A_3^{1/A_2}}{K_W' (A_2 + 1)} \right) \right]^{\frac{A_2}{A_2 - A_4}} \Rightarrow a_0 = \frac{R_{F2}}{f_0 K_2 + 1} \quad (26)$$

V praksi se pogosto pojavljajo različni primeri kombinacij režimov rezanja. Nekaj kombinacij je prikazanih na sliki 3.

Minimum stroškov na sliki 4 se pojavlja pri omejitvi globine rezanja R_{A8} ali omejitve sile R_{F2} .



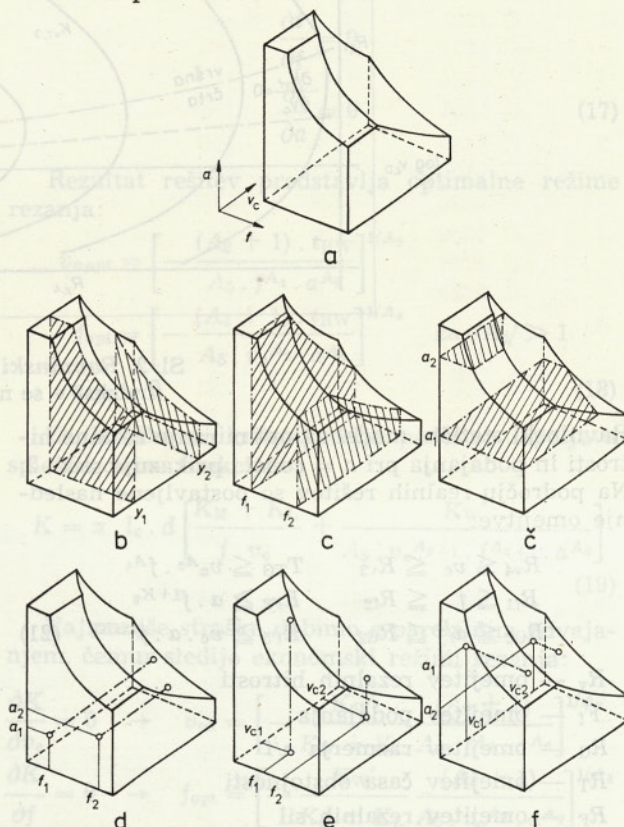
Sl. 3. Področja omejitev za različne režime rezanja



Sl. 4. Optimalna področja režimov rezanja

Program OPTIMA za določanje stroškovno optimalnih parametrov rezanja pri struženju

Program OPTIMA je izdelan v programskem jeziku FORTRAN 4 PLUS na računalniku Delta 4850. Program je pripravljen za neposredno povezavo z računalnikom. Izdelan je po opisanih metodah za izračun optimalnih režimov rezanja in ga lahko uporabljamo za različne simulacije optimiranja, kakor so prikazani na sliki 5.



Sl. 5. Primeri optimiziranja po programu OPTIMA
a — ni določen noben parameter (v_c, a, f), b — optimiranje pri $v_c = \text{konst}$, c — optimiranje pri $f = \text{konst}$, č — optimiranje pri $a = \text{konst}$, d — optimiranje pri $a = \text{konst}$ in $f = \text{konst}$, e — optimiranje pri $v_c = \text{konst}$ in $f = \text{konst}$, f — optimiranje pri $v_c = \text{konst}$ in $a = \text{konst}$

Program izpiše rezultate v obliki razpredelnice ali posamičnih vrednosti. Vstopne podatke vnese programer, ki jih izbere iz kataloga, priročnika, raznih priporočil in normativov. Podatke za razširjeno Taylorjevo enačbo dobimo iz preizkusov, ki jih poprej opravimo za ustrezne kombinacije reznih in obdelovalnih materialov oz. iz banke tehnoloških podatkov.

LITERATURA

- [1] M. Ljevar: Proizvodni proces kot problem optimiranja. Diplomski naloga, VTŠ 1984.
- [2] F. Čuš: Metode znanstveno raziskovalnega dela — seminar podiplomskega študija, VTŠ, junij 1984.
- [3] A. Šostar: Raziskave obdelovalnosti domačih jekel in jeklenih litin pri frezanju — URP C2-0131, VTŠ Maribor 1983.

Priloga 1. Računalniški izpis

VTŠ MARIBOR		PROGRAMER:	
VTO STROJNIŠTVO		DATUM:	
TEHNOLOŠKO TEHNIČNI PODATKI ZA PROCES REZANJA			
STRUŽENJE			
OBDELOVANEC: Gred			
— stroški delovnega mesta (delavec + stroj)		20.00 (din/min)	
— imenska moč stružnice		30,00 (kW)	
— izkoristek stroja		0,70	
— največja vrtilna hitrost glavnega vretena		2500,00 (vrt./min)	
— največje podajanje		1,00 (mm/vrt.)	
— najmanjše tehnološko podajanje		0,18 (mm/vrt.)	
— največji odstopek od valjaste oblike		0,01 (mm)	
— čas za zamenjavo orodja		1,00 (min)	
— cena enega rezalnega roba na obstojnost		21,15 (din/obstoj.)	
— radij konice rezalnega roba		0,8 (mm)	
— konstanta Kienzlejeve enačbe (X K1)		1500,00 (N/mm ²)	
— konstanta Taylorjeve enačbe (A 5)		237,00	
— eksponent Taylorjeve enačbe (A 2)		— 0,11	
— eksponent Taylorjeve enačbe (A 4)		— 0,29	
— eksponent Taylorjeve enačbe (A 6)		— 0,19	
— Material obdelovanca	Č. 1630	Rezalni material	P 20
OPTIMIRANJE I: optimirati v_c , f , a , ki niso določeni vnaprej			
S stroškovno optimalne razmere rezanja:			
— rezalna hitrost		$v_c = 146,949$ m/min	
— podajanje		$f = 0,716$ mm/vrt.	
— globina rezanja		$a = 5,125$ mm	
— čas obstojnosti rezalnega roba		$T = 7,338$ min	
— stroški rezanja		$K = 77,715$ din	

[4] A. Šostar: Optimiranje odrezovalnih pogojev — zapiski predavanj, VTŠ 1976.

[5] P. Leš: Metode znanstveno raziskovalnega dela — zapiski predavanj, VTŠ 1984.

[6] I. Stanič: Metod inženjskih merenja, uvod u matematičku teoriju eksperimenata, Mašinski fakultet Beograd 1975.

[7] K. Kovač, J. Stankov: Određivanje optimalnih režima rezanja za specijalni medicinski čelik, XI. Simpos. upravlj. proizvod. i ind. prerade metala, Beograd 1981.

[8] O. Davies: Design und Analysis of Industrial Experiments, Oliver — Boyd, Edinburgh 1971.

[9] D. Gebauer, L. Dammer, H. Wesch: Zerspanungsdaten optimieren Maschine + Werkzeug, Coburg 1981.

[10] W. König, D. Pfau, H. Winkler: Informationszentrum für Schnittwerte, RKW — REFA, Berlin 1973.

[11] W. König, W. Eversheim: Zerspanungshandbuch für das Bearbeitungsverfahren Drehen, RTWH Aachen 1979.

Naslova avtorjev: dr. Adolf Šostar, dipl. ing. str.,
redni profesor, VTS Maribor, Smetanova 17
62000 Maribor
Franci Cuš, dipl. ing. str., dipl. oec.,
asistent, VTS Maribor, Smetanova 17
62000 Maribor