

## Optimizacija obdelovalnih pogojev

*Osnova za izračun cene izdelave so vedno tehnološki podatki katere določata tehnolog ali mojster. Določanje parametrov obdelave kamor spadajo: rezalna hitrost, pomik noža in globina rezanja je bila več ali manj prepuščena praktičnim izkušnjam, ki pa vedno niso bile optimalne. Optimalno določanje obdelovalnih pogojev je povezano z dolgotrajnimi poskusi ugotavljanja izdržljivosti noža oziroma rezalnega roba in s kasnejšim vrednotenjem dobljenih rezultatov. Ročno računanje v nobenem primeru ne pride v poštev. Zato je v članku opisana metoda in podane končne formule za izračunavanje končnih rezultatov na računalniku. Za posamezne formule je potrebno napisati le ustrezne programe za elektronski računalnik. Za ilustracijo je v članku podan praktičen primer določanja optimalnih pogojev obdelave za struženje ležajnega obroča.*

### UVOD

Po vsem svetu opazimo močno gibanje, ki zahteva večjo odgovornost in večjo svobodo posameznika. Tendence hitrega razvoja v tehnologiji in izobraževalne stopnje so orodje za revolucijo v izdelovalni tehnologiji, ki jo danes doživljamo. Tehnološki razvoj in konstrukcije sodobnih obdelovalnih strojev omogočajo, da nadomestimo uporabljene empirične metode v tehnologiji izdelave z znanstvenimi metodami. Istočasno je narasla tudi socialna zahteva osvoboditi posameznika opravljanja dela. Važno vlogo pri razvoju izdelovalne tehnologije predstavlja ekonomski faktor.

Zato se pojavljajo težnje, da se nek izdelek obdeluje z optimalnimi rezalnimi pogoji. Teženj po optimizaciji obdelave je vse več, vedno bolj ko se vključujemo v mednarodno delitev dela. Optimiranje je še posebno pomembno takrat, ko se serije večjih podobnih izdelkov ponavljajo preko celega leta ali celo več.

Optimiranje pa ni samo določanje razmerij pri odrezovanju, ki zagotavlja maksimalno možno izdelavo v časovni enoti. Velik vpliv na višino stroškov ima zmogljivost materialov, rezanja in obnašanja materiala obdelovanca. Zato je ena od pomembnih bodočih razvojnih nalog nujen nadaljnji razvoj rezalnih materialov.

Material orodja mora imeti veliko enakomernost, s tem pa je možno doseči tudi veliko sigurnost proizvodnje. Tudi na področju materiala obdelovancev je v zadnjem času uspelo zaradi boljšega poznavanja poteka obrabe med orodjem in

obdelovancem pripraviti določena jekla, katera bodo dovoljevala večje delovne čase kot tudi večje hitrosti rezanja.

Danes mnogi obdelovalni stroji ne dovoljujejo optimalne vrednosti obdelave, n. pr. večje hitrosti struženja. To nas opozarja, da ni dovolj velika instalirana moč, da bi se lahko stružilo ekonomično z velikimi preseki in istočasno pri velikih hitrostih rezanja. Končno večkrat stroji ne zadovoljujejo statični in dinamični togosti, ki je porok za obdelavo brez napak, kar naj bi bilo nujno zlasti pri uporabi visoko obstojnih in krhkih rezalnih materialov. Uporaba optimalnih pogojev obdelave pri katerih bodo časi obdelave konstantni, narekuje tudi vse večji prodor računalnikov v podjetja. Če so bili računalniki do nedavnega pretežno samo za računanje osebnih dohodkov, moramo trditi danes, da so močno pomagalo že v tehnologiji izdelave. Optimiranje tehnologije izdelave zahtevajo tudi kalkulacijski oddelki, kjer se formirajo cene izdelave itd.

Skratka smo pred dejstvom, da damo računalniku pravilne podatke, iz katerih bo mogoče vedno odločiti o nadaljnjih posegih v proizvodni proces.

V članku bo zato opisan postopek optimiranja parametrov pri struženju. Zaradi lažjega razumevanja bo dodan še praktični primer optimizacije obdelave na polavtomatski stružnici SPL-32 za grobo obdelavo ležajnega obroča.

### Optimizacija parametrov pri struženju

V tehnologiji je danes stalno potreba, da dvomimo v osnovne domneve, ko imamo na razpolago nove tehnike in informacije. Pri odrezavanju kovin je dobro znan odnos, ki ga je prvi postavil F. W. Taylor leta 1907:

$$v \cdot T^n = \text{konst.} = C \quad (1)$$

kjer je hitrost rezanja in  $T$  obstojnost orodja,  $n$  ter  $C$  sta pa konstanti za posebne rezalne pogoje in kombinacije orodje — obdelovanec.

Ta osnovna enačba se v bistvu nanaša na značilnost trajanja orodja, v njej pa ima najmočnejši vpliv rezalna hitrost. Čeprav je bila Taylorjeva enačba velik korak naprej pred približno 60 leti, ne upošteva vpliva geometrije orodja, globine rezanja ali pomika na obstojnost orodja. Njena uporaba vsebuje izbiro poljubnega pomika, ki je navadno prelahk za maksimalno ekonomičnost, sledi pa ji določevanje obstojnosti orodja za določeno število rezalnih hitrosti.

Ko smo dobili konstanto  $C$  in  $n$  iz eksperimentalnih podatkov, moramo dopustiti poljubno obstojnost orodja, da izračunamo rezalno hitrost. Često navajajo 60 minutno obstojnost orodja za stružnice, čeprav se ta velikokrat raztegne na 8 ur za stroje z mnogo orodji, da se omogoči menjava orodja.

Druga popolnoma različna metoda za izbiro rezalnih hitrosti je, da se sklicujemo na tabele objavljene v različnih strojniških priročnikih, kateri navajajo priporočljive rezalne hitrosti za specifične kombinacije orodij in delovnih materialov. Domneva, na kateri sloni ta pristop je, da obstaja enotna optimalna rezalna hitrost za posamezno kombinacijo orodja in materiala obdelovanca.

#### Koncept delovne envelope (ovojnice) v ekonomiki obdelovanja

Obstoj področja ekonomsko ugodne operacije obdelovalnega procesa je dobro znan (zlasti za struženje) in so ga v teoretični obliki predstavili številni avtorji. Pri reševanju postavljene naloge smo se ozirali predvsem na izvajanje, ki ga predstavlja J. R. Crookall.

Koncept delovne envelope, ki predstavlja dovoljena in zaželjena operacijska področja obdelovanja, je razvit za določeno kombinacijo obdelovanca in orodja. Analiza stroška in časa določi ekonomsko envelope, ki je omejena z maksimalnim in minimalnim stroškom produkcije in v sklopu katere je na razpolago izbira operacije, ki je najbližja optimalni. Upoštevati je treba tudi učinek različnih omejitev kot so moč stroja, kombinacija orodje — obdelovanec glede na različne načine skrhanja orodja, togost obdelovanca in površinska hrapavost.

Ekonomično struženje zahteva v naraščajoči avtomatizirani proizvodnji večkrat prednost krajšega delovnega časa in s tem uporabo visoke hitrosti rezanja. Pri izbiri krajšega časa se bo povečala produkcijska količina (število kosov na časovno enoto), toda po času  $T$  se orodje obrabi za določeno vrednost, in zaradi tega sledijo tudi pogostejše menjave orodja in s tem daljše mirovanje stroja. Pri neki določeni hitrosti rezanja lahko pričakujemo minimalni produkcijski čas. Tudi z gledišča stroškov dobimo pri neki rezalni hitrosti točko minimalnega stroška. Točka minimalnega stroška pa se pojavi pri nižji rezalni hitrosti, kot točka minimalnega časa. Tako hitrosti za minimalni strošek in maksimalno količino produkcije označujejo kompromisno področje med dvema idealoma, ki jih pa ni mogoče istočasno zadovoljiti. Normalno je najočitnejši cilj doseči pri proizvodnji minimalni strošek, ni pa vedno nujno. Zastavljeno nalogo smo reševali z gledišča minimalnega stroška.

#### Stroškovna enačba za struženje

##### Proizvodni strošek na kos

Celotni proizvodni strošek na kos je sestavljen iz naslednjih stroškov:

a) strošek vpetja, izpetja in nastavljanja na kos (din/kos)

$$C_1 = R_1 \cdot t_n \quad (2)$$

$R_1$  — celotni režijski stroški in direktni delovni strošek (din/min)

$t_n$  — čas vpenjanja, izpenjanja in nastavljanja na kos (min/kos)

b) Obdelovalni strošek na kos (din/kos)

$$C_2 = \frac{\pi \cdot R_1 \cdot d_w \cdot l_o}{s \cdot v} \quad (3)$$

$d_w$  — premer obdelovanca (m)

$l_o$  — dolžina rezanja (mm)

$s$  — podžajanje na vrtljaj (mm/vrt)

$v$  — rezalna hitrost (m/min)

c) Strošek menjave orodja na kos (din/kos)

$$C_3 = \frac{\pi \cdot d_w \cdot l_o}{s \cdot v \cdot T} \cdot R_1 \cdot t_w \quad (\text{din/kos})$$

$t_w$  — čas menjave orodja (min)

$T$  — trajanje orodja (min)

Trajanje orodja  $T$  pomeni, da je orodje doseglo neko stopnjo obrabe in ga je potrebno vzeti iz dela. Trajanje orodja izrazimo z enačbo:

$$VB = e^A \cdot v^B \cdot s^C \cdot T^D$$

To enačbo preuredimo:

$$v \cdot s^{C/B} \cdot T^{D/B} = (VB \cdot e^{-A})^{1/B} = C_{TS} \quad (4)$$

$$v \cdot s^m \cdot T^n = C_{TS}$$

Iz te enačbe izrazimo čas trajanja orodja  $T$ :

$$T = C_{TS}^{1/n} \cdot v^{-1/n} \cdot s^{-m/n}$$

Tako je podano število menjav orodja na kos  $z$ :

$$z = \frac{\text{čas struženja}}{\text{trajanje orodja}} = \frac{\pi \cdot d_w \cdot l_o}{s \cdot v} \cdot \frac{T}{1} = \frac{\pi \cdot d_w \cdot l_o}{C_{TS}^{1/n}} \cdot v^{(1/n)-1} \cdot s^{(m/n)-1}$$

Čas menjave orodja na kos:

$$C_3 = R_1 t_w \cdot \frac{\pi \cdot d_w \cdot l_o}{C_{TS}^{1/n}} \cdot v^{(1/n)-1} \cdot s^{(m/n)-2} \quad (5)$$

d) Strošek brušenja orodja lahko smatramo kot vsoto stroškov, ki so neodvisni od količine, ki jo je treba odbrusiti ( $R_2$ ) in stroškov, ki predstavljajo obnovitev konice orodja. To zadnje brušenje je sestavljeno iz brušenja boka pri globini  $VB \times \sin \alpha$  ( $\alpha$ -kot proste površine) in brušenje

varnostnega roba. Če označimo  $R_3$  strošek brušenja enotne globine proste ploskve je strošek brušenja:

$$C_4 = R_2 + R_3 (q + VB \cdot \sin \alpha) \cdot \frac{\pi \cdot d_w \cdot l_o}{C_{TS}^{1/n}} \cdot v^{(1/n)-1} \cdot s^{(m/n)-1} \quad (6)$$

V primeru, če stružno ploščico zavržemo, je:

$$R_2 = R_3 = 0$$

torej  $C_4 = 0$

e) Strošek orodja na kos pri vsakem ponovnem brušenju, bo odvisen bodisi od celotnega razpoložljivega materiala, ki ga odbrusimo, bodisi od števila razpoložljivih rezalnih robov. Če je celotna odstranjena debelina  $U$ , je možno naslednje število brušenj:

$$\frac{U}{(q + VB \cdot \sin \alpha)}$$

Če je  $W$  nabavna cena orodja, je strošek znižanja vrednosti na trajanje orodja:

$$\frac{W}{e + U/(q + VB \cdot \sin \alpha)}$$

kjer je  $e = 1$  za vsa orodja, za odvržena orodja pa je  $U = 0$  in  $e$  število razpoložljivih rezalnih robov (največkrat 3, 4, 6 ali 8)

Strošek orodja na kos izrazimo z enačbo:

$$C_5 = \frac{W}{e + U/(q + VB \cdot \sin \alpha)} \cdot \frac{\pi \cdot d_w \cdot l_o}{C_{TS}^{1/n}} \cdot v^{(1/n)-1} \cdot s^{(m/n)-1} \quad (7)$$

Celotni strošek obdelave na kos  $C$  (din/kos) je enak vsoti stroškov podanih z enačbami:

$$C = R_1 \cdot t_n + \frac{R_1 \cdot \pi \cdot d_w \cdot l_o}{s \cdot v} + \left[ R_1 \cdot t_w + R_2 + R_3 (q + VB \cdot \sin \alpha) + \frac{W}{e + U/(q + VB \cdot \sin \alpha)} \right] \cdot \frac{\pi \cdot d_w \cdot l_o}{C_{TS}^{1/n}} \cdot v^{(1/n)-1} \cdot s^{(m/n)-1} \quad (8)$$

Minimalni strošek na kos

Če odvajamo enačbo (8) z ozirom na » $v$ « in izenačimo z nič, dobimo:

$$\frac{\delta C}{\delta v} = 0 = - \frac{R_1 \cdot \pi \cdot d_w \cdot l_o}{s \cdot v^2} + S \cdot \frac{\pi \cdot d_w \cdot l_o}{C_{TS}^{1/n}} \cdot \left( \frac{1}{n} - 1 \right) \cdot v^{(1/n)-2} \cdot s^{(m/n)-1}$$

kjer je:

$$S = R_1 \cdot t_w + R_2 + R_3 (q + BV \cdot \sin \alpha) + \frac{W}{e + U/(q + VB \cdot \sin \alpha)}$$

Tako je rezalna hitrost za minimalni strošek na kos pri konstantnem podajanju  $s$ :

$$v = \frac{C_{TS}}{s_m} \cdot \left( \frac{R_1}{s} \cdot \frac{1-n}{n} \right)^2 \quad (9)$$

Če odvajamo enačbo (8) z ozirom na  $s$  in izenačimo z nič, dobimo:

$$\frac{\delta C}{\delta s} = 0 = - \frac{R_1 \cdot \pi \cdot d_w \cdot l_o}{s^2 \cdot v} + S \cdot \frac{\pi \cdot d_w \cdot l_o}{C_{TS}^{1/n}} \cdot v^{(1/n)-1} \cdot \left( \frac{m}{n} - 1 \right) \cdot s^{(m/n)-2}$$

Tako je pomik za minimalni strošek na kos pri konstantni hitrosti  $v$ :

$$s = \left( \frac{C_{TS}}{v} \right)^{1/m} \cdot \left( \frac{R_1}{S} \cdot \frac{m-n}{n} \right)^{n/m} \quad (10)$$

Ker sta enačbi (9) in (10) med seboj neskladni, ni nobene posamezne vrednosti  $s$  in  $v$ , ki bi dala najmanjši strošek. Z ozirom na enačbo (8) pa se pokaže, da se približamo celotnemu minimalnemu strošku na kos, ko se podajanje progresivno večja. Torej lahko dosežemo najnižji strošek  $s$  tem, da uporabimo najvišje možno podajanje ( $s = s_{max}$ ). Obstajajo pa praktične omejitve velikosti podajanja glede na moč stroja in glede na kvaliteto obdelane površine. Ko določimo največje dovoljeno podajanje za posebne obdelovalne pogoje, lahko enačbo (9) uporabimo za ugotovitev optimalne rezalne hitrosti.

Izračun optimalne rezalne hitrosti

Za operacijo struženja zunanjega valjčnega prstana  $\varnothing 243,5 \times 194 \times 83$  ugotavljamo optimalno rezalno hitrost.

Podatki

Podatki stroja

Vrsta stroja	polavtomatska stružnica
Tip	SPL 32
Proizvajalec	Kovosvit Holoubkov
Skupna dolžina	3050 mm
Širina	2080 mm
Višina	1600 mm
Teža	3800 kp
Stružna dolžina	400 mm
Največji obodni premer nad posteljo	575 mm
Največji obodni premer nad suportom	315 mm
Območje pomikov suporta	0,05—2,80 mm/vrt
Moč glavnega motorja	17/22 kW
Število vrtljajev gl. motorja	1445/2980 min <sup>-1</sup>
Skupna vgrajena moč stroja	25 kW
Dovoljeni moment	120 kpm

Število vrtljajev delovnega vretena: 63—90—125—180—250—350—500—710—1000—1400

#### Podatki orodja

Ploščice (dvostranske) Sandvik Coromant SNMG 19 06 16 S6 (P40)

Držalo:

Sandvik Coromant T MAX — P PSBNR 20 — 6 hR 174.3 3232 — 19

Cena ploščice  $W = 33$  din

Število rezalnih robov  $e = 8$

$$\text{Cena enega rezalnega roba } W_{1, \text{rob}} = \frac{W}{e} = \frac{33}{8} = 4,13 \text{ din/rob}$$

Čas menjave ploščice  $t_w = 0,60$  min

Radij (nosni):  $r = 1,6$  mm

Ker se stružne nože po določeni obrabi ne brusijo, ampak se jih zavrže sledi:

$$U = R_2 = R_3 = 0 \text{ in } C_4 = 0$$

#### Material obdelovanca

Oznaka: Č. 4144 (OCR 4)

Toplotna obdelava: normalizirano

Teža odkovka: 16 kp

Specifična sila rezanja:  $k_s = 260$  kp/mm<sup>2</sup>

Geometrija obdelovanca:  $d_w = 254$  mm

Geometrija obdelovanca:  $l_0 = 83$  mm

Toleranca:  $\pm 0,3$  mm

Globina rezanja:  $a = 5,5$  mm

Hrapavost:  $R_t = 12,5$   $\mu$ m

$$K_{sl} = k_s (\sin \alpha)^{1-z} = 260 (\sin 75^\circ)^{1-0,26} = 263 \text{ kp/mm}^2$$

$$1-z = 0,74 \text{ in } z = 0,26$$

#### Podatki material obdelovanca-orodje

Pri analizi regresije smo določili regresijske koeficiente

$A = -7,138$	konstanta
$B = 1,382$	eksponent hitrosti
$C = 0,078$	eksponent podajanja
$D = 0,523$	eksponent časa

Enačba obstojnosti orodja (4) se glasi:

$$v \cdot s^m \cdot T^n = C_{TS}$$

$$m = \frac{C}{B} = \frac{0,078}{1,382} = 0,057$$

$$n = \frac{D}{B} = \frac{0,523}{1,382} = 0,380$$

$$C_{TS} = (AB \cdot e^{-A}) = (VB \cdot e^{7,138})^{1/1,382}$$

Konstanto  $C_{TS}$  izračunamo za tri dovoljene širine obrabe VB:

$$VB1 = 0,80 \text{ mm}, C_{TS1} = 147,9$$

$$VB2 = 1,00 \text{ mm}, C_{TS2} = 171,1$$

$$VB3 = 1,20 \text{ mm}, C_{TS3} = 200,4$$

#### Ostali podatki

Celotni režijski in direktni delovni strošek:

$$R_{th} = 80 \text{ din/h}$$

$$R_1 = \frac{R_{th}}{60} = \frac{80}{60} = 1,33 \text{ din/min}$$

Čas vpenjanja, izpenjanja in nastavljanja na kos s hidravlično vpenjalno napravo

$$t_n = 1 \text{ min}$$

#### 4.2. Omejitve

Kot je že omenjeno v poglavju 3.2, lahko dosežemo najnižji strošek tako, da uporabimo najvišje podajanje, ki je omejeno z momentom na vretenu in s kvaliteto obdelane površine. Pri tako izbranem podajanju nato izrazimo največjo rezalno hitrost, ki je omejena z močjo stroja. V tako določenem območju mora ležati podajanje in rezalna hitrost.

a) Omejitev podajanja glede na hrapavost obdelane površine:

$$s = (8 \cdot R_t \cdot r)^{1/2} \cdot KOR \quad (10)$$

kjer je:  $R_t$  — srednja višina neravnosti (mm)

$r$  — nosni radij ploščice (mm)

KOR — korelacijski faktor, odvisen od vrednosti  $R_t$

$$s = (8 \cdot 0,0125 \cdot 1,6)^{1/2} \cdot 0,75 = 0,30 \text{ mm/vrt} \quad (11)$$

b) Omejitev momenta

$$F_v < F_m = \frac{M_z \cdot 2000}{d} \quad (12)$$

$$F_v < K_{sl} \cdot a \cdot s^{1-z} < F_m \quad (13)$$

Kjer je:  $M_z$  — dovoljeni moment stroja (kpm)

$d_w$  — premer obdelovanca (mm)

$F_m$  — mejna dovoljena sila momenta (kp)

$F_v$  — rezalna sila (kp)

$K_{sl}$  — globina rezanja (mm)

Tako lahko izrazimo najvišje podajanje omejeno z momentom

$$s = \frac{2000 \cdot 120^{1(1-0,26)}}{263 \cdot 5,5 \cdot 254} = 0,56 \text{ mm/vrt} \quad (14)$$

c) Omejitev moči

$$N_c = \frac{F_v \cdot v}{6120 \cdot \eta} < N_m \quad (15)$$

$N_c$  — potrebna moč za rezanje (kW)

$F_v$  — rezalna sila (kp)

$N_m$  — moč glavnega motorja (kW)

$\eta$  — mehanski izkoristek (0,85)

$v$  — rezalna hitrost

$$v < \frac{6120 \cdot \eta \cdot N_m}{F_v} = \frac{6120 \cdot \eta \cdot N_m}{K_{sl} \cdot a \cdot s^{1-z}}$$

$$= \frac{6120 \cdot 0,85 \cdot 22}{263 \cdot 5,5 \cdot 0,3^{1-0,26}} = 197,4 \text{ m/min}$$

Pri izračunu največje rezalne hitrosti, omejene z močjo stroja, smo upoštevali največje podajanje, omejeno glede na hrapavost obdelane površine.

4.3. Določitev optimalne rezalne hitrosti in prikaz v diagramih

Optimalno rezalno hitrost izračunamo z enačbo (8):

$$V_{opt} = s^{-m} \cdot C_{TS} \cdot \left( \frac{R_1}{S} \cdot \frac{n}{1-n} \right)^n$$

Za podajanje vzamemo:  $s = 0,3$  mm/vrt. To vrednost nam daje enačba za omejitev podajanja glede na hrapavost površine (11).

$$V_{opt} = C_{TS} \cdot 0,30^{-0,057} \cdot \left( \frac{1,33}{4,93} \cdot \frac{0,380}{1-0,380} \right)^{0,380} = C_{TS} \cdot 0,541 \quad (16)$$

Ker stružnih ploščic po določeni obrabi ne brusimo, ampak jih odvržemo, sledi:

$$R_2 = R_3 = U = 0 \text{ od tod } S = R_1 t_w + W/e = 1,33 \cdot 0,6 + 33/8 = 4,93$$

za dobljeno obrabo  $VB = 0,80$  mm :  $C_{TS} = 147,9$

$$V_{opt1} = 147,9 \cdot 0,541 = 80,0 \text{ m/min}$$

za dovoljeno obrabo  $VB = 1,00$  mm:  $C_{TS} = 171,1$

$$V_{opt2} = 171 \cdot 0,541 = 92,5 \text{ m/min}$$

za dovoljeno obrabo  $VB = 1,20$  mm:  $C_{TS} = 200,4$

$$V_{opt3} = 200,4 \cdot 0,541 = 108,3 \text{ m/min}$$

Izračunane optimalne rezalne hitrosti so manjše od rezalne hitrosti  $v = 197,34$  m/min, katera je določena z močjo glavnega motorja in jih zato lahko uporabljamo.

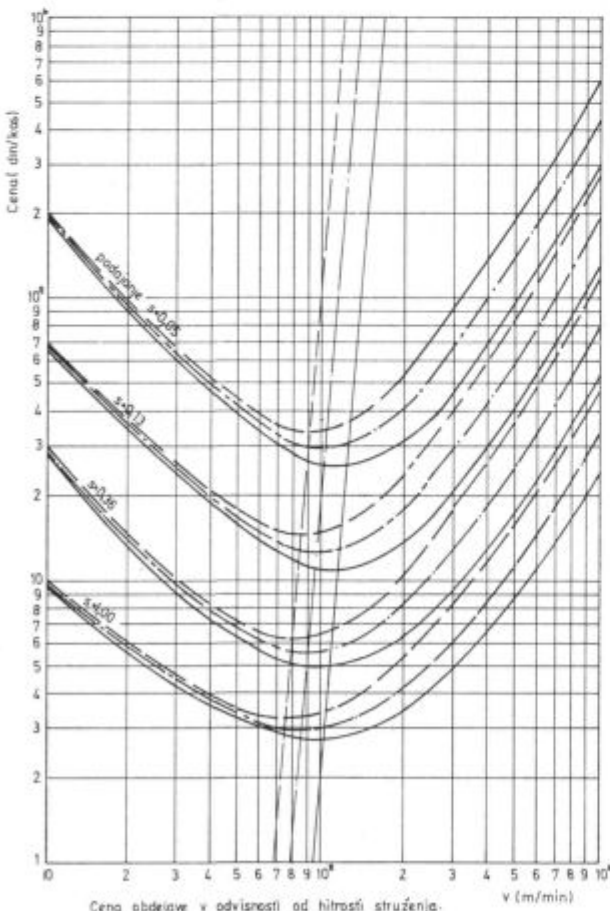
Z upoštevanjem vseh pogojev dela, dobi v našem primeru stroškovna enačba (7) obliko:

$$C = R_1 \cdot t_n + \frac{R_1 \cdot \Pi \cdot d_w \cdot l_o}{s \cdot v} + \frac{\Pi \cdot d_w \cdot l_o}{C_{TS}^{1/n}} \cdot s^{(m/n)-1} \cdot v^{(1/n)-1} \cdot (R_1 \cdot t_w + W/e)$$

ko vstavimo številčne vrednosti dobi enačba obliko:

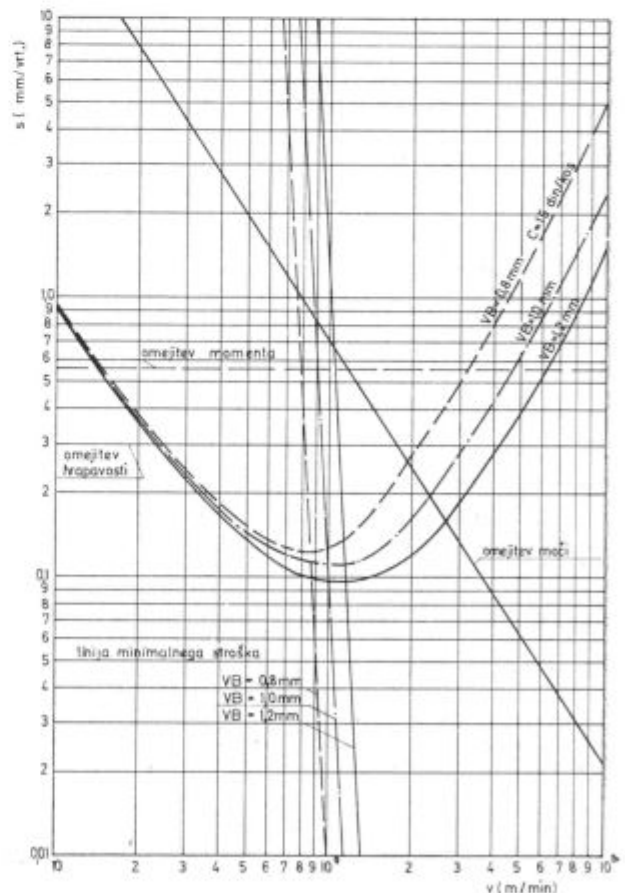
$$C = 1,33 \cdot 1 + 1,33 \cdot \Pi \cdot 0,254 \cdot 83 \cdot s^{-1} \cdot v^{-1} + \Pi \cdot 0,254 \cdot 83 \cdot C_{TS}^{-1/380} \cdot s^{(0,057/0,380)-1} \cdot v \cdot (1,33 \cdot 0,6 + 33/8) = 1,33 + 88,08 s^{-1} \cdot v^{-1} + 326,1 \cdot C_{TS}^{-2,632} \cdot s^{-0,851} \cdot v^{1,631} \quad (17)$$

S to enačbo prikažemo tabelarično, kako se spreminja obdelovalni strošek  $C$  (din/kos) v odvisnosti od rezalne hitrosti  $v$  (m/min) in podajanja  $s$  (mm/vrt) za posamezne širine obrabe  $VB$ . Rezultati, ki so izračunani v tabelah funkcije  $C$  (din/kos) so prikazani v diagramu  $C-v$  za podajanja  $s = 0,05, 0,13, 0,36, 1,00$  mm/vrt. (slika 1).



Slika 1

Cena obdelave v odvisnosti od hitrosti struženja  $V$  (m/min)



Slika 2

Določanje optimalne rezalne hitrosti v odvisnosti od obrabe orodja

Na osnovi izračunanih vrednosti za obstojnost orodnega materiala smo ugotovili potek cene za vzdolžno obdelavo ležajnega obroča. Iz diagrama, ki prikazuje razmerje med hitrostjo rezanja in ceno obdelave, lahko odčitamo tudi optimalno hitrost obdelave. V diagramu v-s, so podane krivulje VB = 0,8, 1,00, 141,20 (sl. 2), iz katerega odčitamo optimalno hitrost obdelave).

Koncept omejitev ali ovojnic (diagram na sliki 2) nas opozarja na to, da je problem obdelave odvisen od cele vrste spremenljivk, ko moramo omejitve, medsebojne odvisnosti in naše zahteve vskladiti v kompromisno izbiro parametrov obdelave. Elementi obdelovalnega sistema so: obdelovalni material (ki ga ne moremo spreminjati); obdelovalni stroj (je na izbiro v omejenem obsegu in z zelo različnimi parametri — revolverška ali polavtomatična stružnica), orodje (kjer lahko izbiramo pri držalnih in kvaliteti ploščic). Po takem pristopu in vsestranskem ocenjevanju posameznih komponent lahko dobimo dokončne optimalne pogoje za določene obdelovance.

V našem primeru smo napravili šele začetni pristop k zasledovanju cene obdelave v odvisnosti od posameznih parametrov obdelave. Odprtih je ostalo še vrsta parametrov, ki jih moramo pri celoviti optimizaciji obdelovalnega postopka upoštevati. Tu je še zasledovanje vpliva hladilnih tekočin, merilnega postopka med ali po obdelavi, način vpetja in izpetja, interni transport obdelovancev, izpadi proizvodnje, obseg serij idr.

## ZAKLJUČEK

Članek je rezultat raziskav obdelovalnosti domačih materialov, v katerih se teži za tem, da se tehnologija obdelovalnosti raziskuje neposredno na obdelovalnosti in ne na probnih kosih. Raziskava je bila organizirana v okviru »Makro projekta« pri Fakulteti za strojništvo v Ljubljani pri projektu »Avtomatizacija maloserijske, individualne in srednjeseerijske proizvodnje«.

## ZUSAMMENFASSUNG

Dieser Artikel ist das Ergebnis der Beständigkeitsuntersuchungen der Hartmetallplättchen Sandvik Coromat und der Bearbeitbarkeit des einheimischen Kugellagerstahles.

Die bisherigen Methoden für die Bestimmung der Bearbeitungsbedingungen beruhen auf den Erfahrungen, waren aber nicht immer die besten.

Die beschriebene Methode umfasst nicht die neuesten Ermittlungen auf dem Gebiet der Bearbeitbarkeit, sondern ergänzt nur die Ergebnisse der Werkzeugbeständigkeit mit dem gesamten bei der Bearbeitung auftretenden Aufwand. In der Praxis ist es manchmal schwer die Untersuchungsergebnisse in den praktischen Gebrauch einzuführen, da die Dauerhaftigkeit des Werkzeuges, sowohl von der Ungleichmässigkeit der bearbeitenden Teile, wie von dem Bestreben das Werkzeug in bestimmten Zeitabständen zu wechseln beeinflusst wird. Der Zweck dieser

Arbeit ist auch eine Methode für schnelle Berechnung der Bearbeitungskosten auf dem Computer zu geben. Es ist allgemein bekannt, dass alle Kalkulationen und die Berechnungen der Preise der Fertigteile auf den Daten aus der Technologie beruhen. Für die bessere Illustrierung dieser Methode ist ein praktischer Beispiel angegeben, an welchem die beschriebene Methode überprüft worden ist. Aus diesem Beispiel ist zu entnehmen, dass das Rechnen mit der Hand zu dauerhaft und praktisch unbrauchbar ist, deswegen ist die Anwendung des Computers und der entsprechenden Programme dringend. Aus dem verhältnismässig einfachem Drehbearbeitungsverfahren eines Kugellageringens ist zu ersehen, dass der Übergang auf die maschinelle Datenbearbeitung der technologischen Parametern nicht einfach ist, da die gesamten Daten und Informationen in einer entsprechenden Form oder Koeffizienten angegeben werden müssen.

## SUMMARY

The paper presents results of investigation of the durability of Sandvik Coromat cemented carbide alloy bits and of the machinability of domestic materials for ball bearings.

The methods of determining the machining conditions were based till now only on experiences which were not always optimal. The described method does not include new findings on machinability but it only supplements the results of tool life time with evaluation of all the cost of machining. Often results of investigations cannot be directly transferred to practical use because tool life depends also on ununiformity of workpieces and on the

custom that the tool it to be changed after a certain time. The paper gives the method for fast evaluation of machining costs by computer. It is well known that all the calculations and price determinations of products are based on data given by technology. The method is illustrated a practical example on which the described method was tested. The example shows that manual calculation is very long lasted and practically useless, therefore computer and corresponding programs are necessary. A relatively simple process of turning and bearing ring shows that transition to a computer procesing of technological parameters is not simple because all the data and informations must be given in a corresponding form or as coefficients.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье даны итоги исследования устойчивости пластинок из твёрдого сплава Sandvik Coromat и способность к обработке домашнего материала который употребляется для выработке шариководшипников.

Известные до сих пор методы определения условий способности к обработке базировал на выводах которые не были всегда самые самые подходящие. Описанный метод не со-

держит новых результатов в области способности к обработке но лишь только дополняет известные данные устойчивости прибора и даёт оценку всех расходов обработки. Часто нет возможности непосредственно передать итоги исследования к применению в промышленности, так как на выносливость прибора для обработки влияет также неравномерность обрабатываемого изделия. Не без влияния на обрабатываемость также введённая практика сменять прибор и определённые промежутки времени.

Цель статьи также предложить метод для быстрого определения расходов обработки при помощи счётчика. Известно и взято

в учёт, что все расчёты и определение цены изделия основано на данных которые даёт технология производства. Для лучшего пояснения рассмотрен уже проверенный пример как метод который употребляется в промышленности. Из описанного примера ясно, что ручной способ подсчёта очень медленный и поэтому непригодный; необходимо применение счётчика и соответствующих программ. Из сравнительно простого процесса обтачивания кольца подшипника установлено, что переход на обработку данных технических показателей при помощи счётчика не так простой, так как все данные и информации должны быть поданы в соответствующей форме или в виде коэффициентов.