

AUTOMATSKI IZBOR ALATA KOD CNC STROJEVA

Zlatko Botak, Živko Kondić

Stručni članak

Važan korak u planiranju proizvodnje na CNC strojevima čini pravilan odabir reznog alata, koji će se koristiti za obradu. Pri tome se moraju zadovoljiti strogi zahtjevi za kvalitetom proizvoda pri što manjim troškovima alata u ukupnoj cijeni proizvoda. U radu je prikazan princip optimizacije izbora alata kod strojeva s automatskom izmjenom alata za jednofaznu i višefaznu obradu.

Ključne riječi: izbor alata, optimizacija parametara obrade

Automatic tool selection in CNC machines

Professional paper

The right selection of cutting tools to be used in processing is an important step in planning production on CNC machines. They must also meet the strict product quality requirements and provide the lowest possible share of costs in the total product price. The paper presents the principle of tool selection in machines with automatic tool exchange for single- and multi-stage processing.

Key words: tool selection, cutting data optimization

1

Uvod

Introduction

Za izbor najboljeg alata za obradu odvajanjem čestica nije odlučujuća samo geometrija obratka i alata, već se uvažavaju još neki faktori, koji utječu na uspješnost obrade. Manji broj prilagodljivih i visokokvalitetnih alata je uvijek bolji izbor od specijalnih alata prilagođenih samo za pojedine faze obrade. Paralelno s razvojem obradnih centara povećavaju se i magazini alata do te mjere, da vrijednost alata nerijetko premašuje vrijednost stroja. Zbog povećanja kompleksnosti obradaka, raste broj operacija obrade i broj prohoda alata, pa je zbog smanjenja ukupnih troškova proizvodnje potrebno izabrati najbolji alat ili kombinaciju alata za obradu [1].

Optimizacija automatskog izbora alata kod CNC obradnih centara je u novije doba dobila na važnosti, zbog smanjenja vremena izmjene alata i time skraćivanja ukupnog vremena obrade. U automatiziranom proizvodnom sustavu su opskrba i upravljanje alatima isto toliko važni kao i opskrba obradcima, zato mora alat biti pravilno izabran, centriran, točno stegnut i transportiran u automatski izmjenjivač alata u pravo vrijeme. Općenito je izbor najučinkovitijeg alata ili kombinacije alata za obradu prilično složen, jer se stalno povećava broj dostupnih alata i materijala na tržištu.

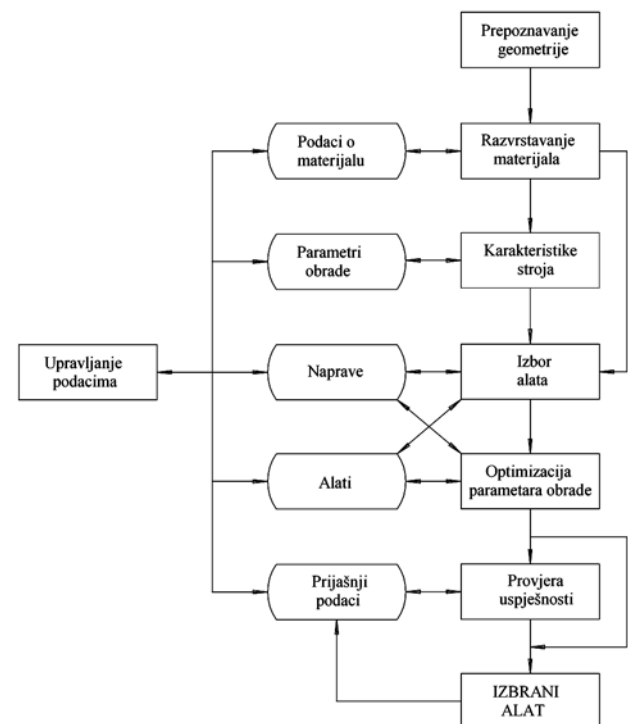
2

Ulazni podaci

Input data

Geometrija obratka dobije se iz crteža nekog CAD sistema i obrada se rastavi na pojedine operacije [4]. Izbor alata ovisi o zahtjevima obrade, a pomoću algoritma za izbor alata uspoređuje se svaki dostupni alat za obradu i traži najbolji ili najbolja kombinacija alata. Svi podaci o alatu (geometrija i parametri više obrade) nalaze se u bazi podataka. Algoritam za izbor alata sastoji se iz 4 osnovna koraka:

- provjera odgovarajućeg alata
- proračun početnih parametara obrade
- optimizacija parametara obrade
- izbor najboljeg alata.



Slika 1 Dijagram toka izbora alata
Figure 1 Tool selection flow chart

3

Automatski izbor alata za jednu operaciju

Automatic tool selection for one operation

Kada je potrebno izvršiti samo jednu operaciju obrade, automatski izbor alata može se izvesti na više načina [5]; najjednostavniji je taj da se izabere prvi alat koji geometrijski zadovoljava obradu. U sadašnje vrijeme se

uvažavaju još i dodatni kriteriji za izbor najboljega alata za obradu kao što su:

- maksimalni volumen odrezanoga materijala (odnašanje)
- maksimalna postojanost alata
- minimalni troškovi obrade i
- najkraće vrijeme obrade.

Većina prijašnjih sustava je za automatski izbor alata upotrebljavala samo jedan kriterij za izbor najboljega alata, dok suvremeni sistemi omogućuju korisniku da sam odredi kriterij ili kombinaciju kriterija za izbor. Svakom kriteriju dodaje se određena vrijednost i izračuna primjerenost alata za obradu (rang alata), po sljedećoj formuli:

$$w_{\text{rang}} = \left(\frac{m}{m_{\text{sr}}} \cdot w_m \right) + \left(\frac{T}{T_{\text{sr}}} \cdot w_T \right) - \left(\frac{c_{\text{uk}}}{c_{\text{sr}}} \cdot w_c \right) - \left(\frac{t_{\text{uk}}}{t_{\text{sr}}} \cdot w_{\text{vr}} \right) \quad (1)$$

gdje su:

w_{rang} - rang alata (brojčana vrijednost), -

m - učin odstranjivanja materijala, m^3/min

m_{sr} - prosječni učin odstranjivanja materijala za dostupne alate, m^3/min

w_m - važnost kriterija odstranjivanja materijala, -

T - postojanost alata, min

T_{sr} - prosječna postojanost dostupnih alata, min

w_T - važnost kriterija postojanosti alata, -

c_{uk} - ukupni troškovi obrade, USD (\$)

c_{sr} - prosječni troškovi obrade dostupnih alata, USD (\$)

w_c - važnost kriterija ukupnih troškova obrade, -

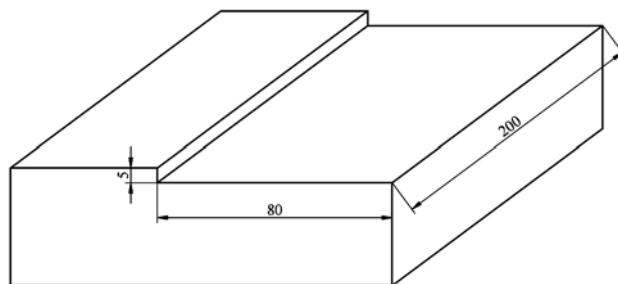
t_{uk} - ukupno vrijeme obrade za jednu operaciju, min

t_{sr} - prosječno vrijeme obrade za dostupne alate, min

w_{vr} - važnost kriterija ukupnog vremena obrade za dostupne alate, -

Veličine kod kojih se traže maksimalne vrijednosti se zbrajaju, a veličine kod kojih se traže minimalne vrijednosti se oduzimaju. Alati se tada razvrstaju po rangu; na vrhu liste alata je najbolji alat za obradu koji je predložio sustav.

Primjer: Glodanje stepenice na obratku prema slici 2.



Slika 2 Glodanje stepenice
Figure 2 Square shoulder milling

Sustav je pronašao 19 alata pogodnih za obradu, od kojih je 5 alata s najvećim rangom prikazano u tablici 1. U proračunu su svi kriteriji (odnašanje materijala, postojanost alata, troškovi i vrijeme obrade) jednake važnosti. Iz tablice 1 vidi se da glodalo većeg promjera (red. broj 3 - O160 mm) nije uvijek bolji izbor za obradu od glodala manjeg promjera (red. broj 2 - O125 mm).

4

Automatski izbor alata za više operacija

Automatic tool selection for multiple operations

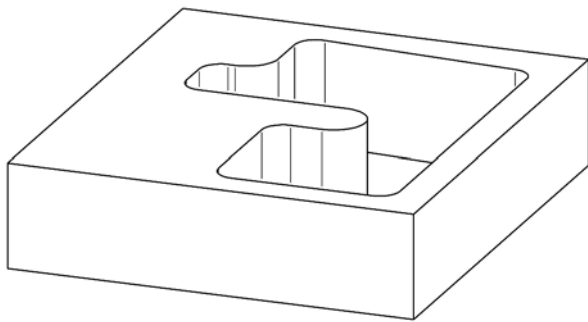
U većini slučajeva upotreba samo jednog alata nije ekonomski isplativa za obradu cijelog komada [3] (slika 3). Alati manjeg promjera kojima su dostupna sva mjesta na obratku, imaju malu brzinu odstranjivanja materijala u jedinici vremena, dok većim alatima nisu dostupna sva mjesta na konturi obratka, pa za njima ostaje određena količina neodreznog materijala.

Izbor pravilne kombinacije alata, kojom se mogu obraditi teško dostupna mjesta na konturi pri zadovoljavajućem volumnom odstranjivanju materijala je prilično zahtjevan [3]. Moguće je precizno izračunati koliko materijala ostaje za naknadnu obradu, ako se u prvoj operaciji obrađuje alatom kome nisu dostupna sva mjesta na konturi (prevelik promjer alata), slika 5.

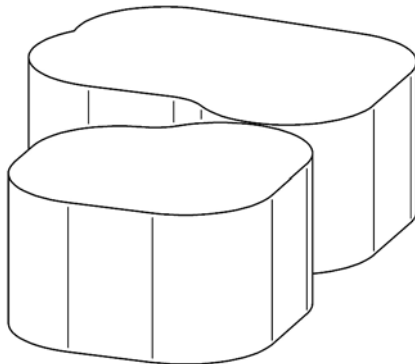
U ovom primjeru se obrada izvršila glodalom $\varnothing 35$ mm. Na slici 4 je prikazan volumen materijala dostupan glodalu, a na slici 5 volumen materijala koji ostaje nakon obrade glodalom $\varnothing 35$ mm, te se kasnije mora odstraniti glodalom manjega promjera.

Tablica 1 Izabrani alat s dodatnim kriterijima
Table 1 Selected tools with additional criteria

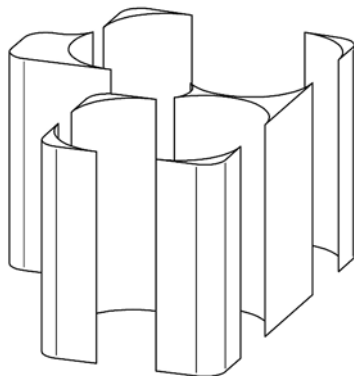
Red. broj	Rang alata	Alat	Troškovi USD (\$)	Vrijeme obrade, min	Postojanost alata, min	Odnašanje, cm^3/min
1	3590,06	alat: R220.17-0160 prihvata: TPKN2204PDTR-MD15T25M	0,83	0,40	13,21	200,73
2	3130,09	alat: R220.17-0125 prihvata: TPKN2204PDTR-MD15T25M	0,81	0,40	12,86	200,38
3	2605,11	alat: R220.17-0160 prihvata: TPKN2204PDTR-MD15S10M	0,92	0,47	13,02	170,98
4	2116,09	alat: R220.17-0125 prihvata: TPKN2204PDTR-MD15S10M	0,91	0,47	12,74	170,63
5	2072,75	alat: R220.17-0160 prihvata: TPKN2204PPR-MD14S25M	1,0	0,5	12,17	158,8



Slika 3 Glodanje utora
Figure 3 Slot milling



Slika 4 Dostupni volumen za glodalo ø35 mm
Figure 4 Available volume for ø35 mm milling cutter



Slika 5 Volumen materijala preostao nakon obrade glodalom ø35 mm
Figure 5 Volume of the material remained after processing with ø35 mm milling cutter

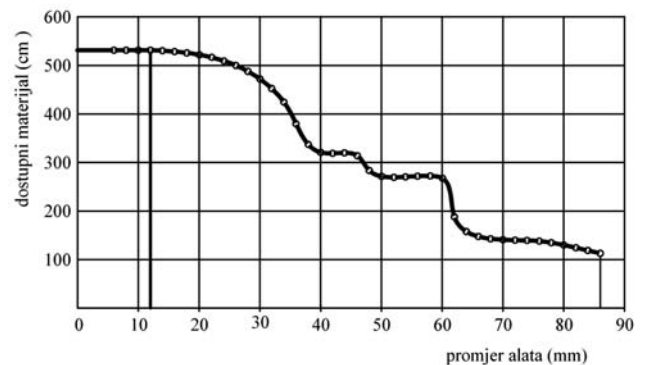
4.1 TAD i DVC krivulje TAD and DVC curve

TAD (Tool Access Distribution) krivulje predstavljaju volumen materijala koji je dostupan za obradu glodala određenog promjera. TAD krivulja (slika 6) za obradak sa slike 3 jasno pokazuje da su glodala do promjera 12 mm sposobna obraditi cijeli volumen materijala.

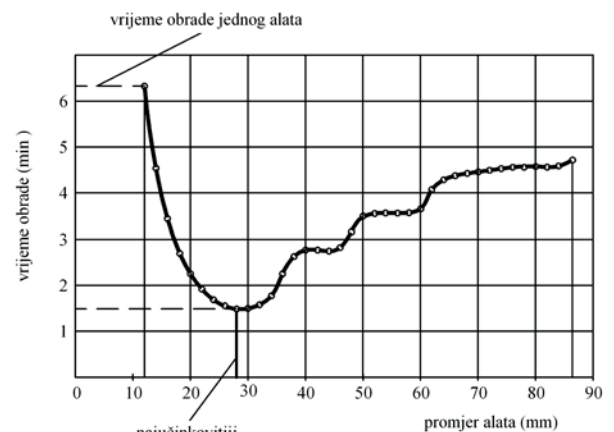
Glodalo promjera 32 mm može odstraniti samo 86 % materijala. Iz krivulje se također vidi da povećanjem promjera alata dolazi do smanjenja dostupnog volumena za obradu. U slučaju da alati velikog promjera ne mogu obraditi 100 % volumena obratka, potrebno je izabrati dodatni alat za odvajanje ostataka materijala.

Za početni alat obrade izabere se najveći alat koji može odstraniti cijeli volumen materijala i traži se drugi veći, koji u kombinaciji s njim daje najkraće vrijeme izrade. Rezultate je moguće predstaviti krivuljom koja se naziva DVC

(Delta-Volume Clearance) krivulja (slika 7). Krivulja započinje vremenom obrade za jedan alat (ø12 mm) i nastavlja se vremenima obrade za kombinacije alata. Proračun se nastavlja tako dugo dok promjer drugog alata ne postane prevelik za ulazak u materijal - u ovom primjeru je to glodalo promjera 86 mm.



Slika 6 TAD krivulja
Figure 6 TAD curve



Slika 7 DVC krivulja
Figure 7 DVC curve

Vrijednosti DVC krivulje dobiju se po formuli:

$$DVC = \frac{R_v}{C_1} + \frac{V_2}{C_2} \quad (2)$$

gdje su:

DVC - vrijeme odvajanja cjelokupnog volumena materijala, min

$R_v = V_1 - V_2$ - preostali volumen materijala, cm^3

V_1 - volumen dostupan prvom alatu, cm^3

V_2 - volumen dostupan drugom alatu, cm^3

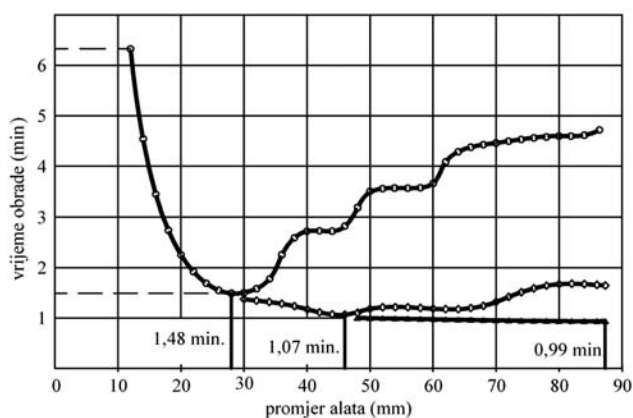
C_1 - učin odstranjivanja materijala prvim alatom, cm^3/min

C_2 - učin odstranjivanja materijala drugim alatom, cm^3/min .

Iz prikaza na slici 7 vidi se da upotreba jednog alata nije optimalan izbor jer obrada traje duže od 6 minuta, dok se upotrebom 2 alata vrijeme obrade skraćuje na približno 1,5 minutu. Vidljivo je također, da se kod prekomjernog povećavanja promjera alata produkuje vrijeme obrade, jer veći alati zbog teško dostupnih mjesta na konturi ostavljaju za sobom više neodreznog materijala. On se kasnije odstranjuje alatom manjeg promjera, koji relativno sporo odvajaju preostali materijal.

Algoritam za izbor najbolje kombinacije alata sastoji se iz pet osnovnih koraka [3]:

- 1) Proračuna se područje dostupno za obradu svakim pojedinim alatom. Proces proračunavanja se zaustavi kad je promjer alata prevelik da bi mogao ući u materijal. Područje dostupno pojedinim alatom vidi se pomoću TAV krivulje, slika 6.
- 2) Izračuna se najveći alat koji može izvršiti kompletnu obradu i označi s npr. alat 0.
- 3) Izvrši se proračun za svaku dostupnu kombinaciju alata 0 i većega alata. Rezultati se prikazuju u obliku DVC krivulje, koja pokazuje predviđeno vrijeme obrade za kombinaciju alata 0 i većeg alata (slika 7).
- 4) Sljedeći veći alat kojeg "predloži" DVC krivulja označi se s alat 1. Postupak se ponavlja tako dugo dok se ne odrede sve točke na krivulji.
- 5) Usporedba svih dobivenih DVC krivulja se napravi u RDVC dijagramu (slika 8).



Slika 8 RDVC krivulja
Figure 8 RDVC curve

Napomena: vrijednosti predložene dijagramom su teorijske; nisu uključena pomoćna vremena, putanje alata između faza obrade i putanje alata od zamjene do početka obrade. Računski izračuni pokazuju da te veličine značajno ne utječu na optimalan izbor veličine alata.

Kod uobičajenog CNC obradnog centra s automatskom izmjenom alata je vrijeme izmjene alata obično kraće od trajanja obrade tim alatom. RDVC na slici 8 pokazuje da je za odstranjivanje materijala najbolja kombinacija od 4 alata kod koje vrijeme obrade traje 0,99 minuta. Ako pretpostavimo da vrijeme od izmjene alata do početka rezanja traje 10 sekundi, teorijski se vrijeme obrade povećava na 1,65 minuta. Takav izbor alata je neprihvatljiv jer se zahtijeva obrada u najkraćem mogućem vremenu. Najbolje rješenje u ovom slučaju je kombinacija dviju izmjena alata sa predviđenim vremenom obrade od približno 1,4 minute.

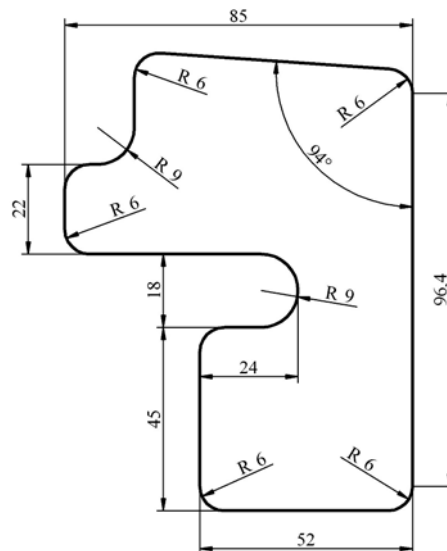
4.2

Provjera eksperimentom Experimental verification

Algoritam za izbor alata kod izračuna ne uzima u obzir različite parametre obrade [3]; kao npr. putanje alata između pojedinih faza obrade. Te veličine povećavaju ukupno vrijeme obrade dok relativne razlike u veličini alata ostaju većim dijelom nepromijenjene.

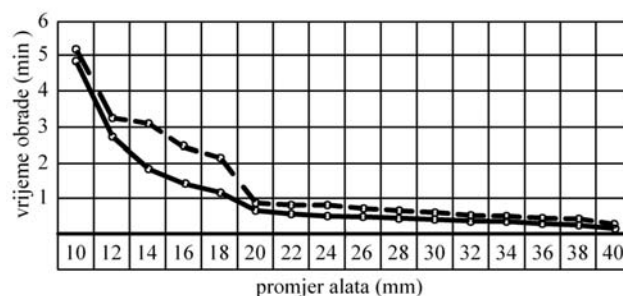
Za utvrđivanje razlika između optimalnih veličina promjera alata za obradu dobivenim teorijskim proračunom

i stvarnih veličina, izračunatih na osnovu realne simulacije, koristio se program EdgeCAM; ulazni podaci u program su bili isti kao i kod teorijskog proračuna. Izradak je bio iz aluminija, oblika kao na slici 3, dimenzija utora kao na slici 9.

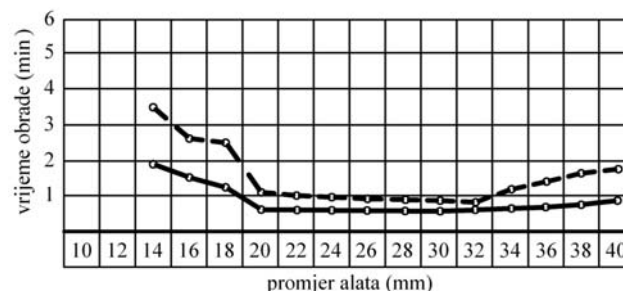


Slika 9 Dimenzije utora
Figure 9 Slot dimensions

Slike 10 i 11 pokazuju vremena izrade dobivena teorijskim proračunom i simulacijom pomoću CAM programa za različite promjere glodala.



Slika 10 RDVC krivulje kod obrade jednim alatom
Figure 10 RDVC curves in single-tool processing



Slika 11 RDVC krivulje kod obrade s dva alata
Figure 11 RDVC curves in double-tool processing

Slika 10 pokazuje vrijeme obrade jednog alata; isprekidana (gornja) crta je vrijeme izrade dobiveno pomoću simulacije sa CAM programom a kontinuirana crta pokazuje vrijeme obrade dobiveno proračunom. Vidljivo je da se kod promjera alata većih od 20 mm dobiju približno jednaki rezultati, dok se kod promjera alata manjih od 20 mm krivulje više razlikuju zbog razlika između programa u broju prohoda alata za postizanje završne obrade.

Slika 11 pokazuje ukupno vrijeme obrade konture pomoću 2 alata. U oba primjera se upotrijebi alat 0 i veći alat, kojemu se promjer povećava i vrijednosti nanose na x -os. Razlika između krivulja nastaje zbog različite dužine putanje alata, koju program EdgeCAM koristi za izračun vremena izrade. Rezultati pokusa pokazuju da se predviđeno vrijeme obrade za odvajanje ostataka materijala malo razlikuje od stvarno utrošenog vremena. Iz slike je također vidljivo da obje krivulje pokazuju sličan izbor alata za grubu obradu, u ovom slučaju je to alat promjera 32 mm.

5

Smanjenje broja alata

Tool reduction

Izbor najboljeg alata za obradu na osnovu četiri gornja kriterija je prvi korak optimizacije; sljedeći je racionalizacija broja alata, koja ima osnovne uloge [2]:

- smanjenje broja alata - obradni centri imaju ograničeni broj mjesta za alate u magazinu alata i zbog toga broj univerzalnih alata ne smije biti prevelik.
- smanjivanje zaliha alata - smanjivanjem ukupnog broja univerzalnih alata se smanjuju i troškovi držača alata i ukupni troškovi alata.
- podešavanje trošenja alata - ako je vijek trajanja alata manji od trajanja obrade na komadu, tada se u magazin alata stavi isti ili slični alat da ne dođe do prekidanja obrade zbog podešavanja alata.

Kada se obrada provodi u n operacija obrade, metoda optimizacije broja alata izradi listu n alata s pripadajućim reznim parametrima [5] kao što je to prikazano u tablici 2. Obrada se sastoji iz 3 operacije; za prvu operaciju je na raspolaganju 5 odgovarajućih alata, za drugu 4, a za treću 2.

Tablica 2 Mogući alati za obradu
Table 2 Possible processing tools

Broj alata	Operacija 1	Operacija 2	Operacija 3
1	Alat A	Alat G	Alat E
2	Alat B	Alat H	Alat A
3	Alat C	Alat A	
4	Alat D	Alat J	
5	Alat E		

Program za proračun predviđi sve moguće kombinacije alata i za njih proračuna parametre obrade. Za 8 izabranih različitih alata, moguće su kombinacije za obradu:

AGE, AGA, AHE, AHA, AAE, AAA, AJE, AJA, BGE, BGA, BHE, BHA, BAE, BAA, BJE, BJA, CGE, CGA, CHE, CHA, CAE, CAA, CJE, CJA, DGE, DGA, DHE, DHA, DAE, DAA, DJE, DJA, EGE, EGA, EHE, EHA, EAE, EAA, EJE, EJA.

Za smanjenje ukupnog broja alata uvažava se samo one kombinacije alata koje za jednu ili više operacija koriste isti alat, pa skraćena lista alata u tom slučaju izgleda ovako:

AGA, AHA, AAA, AJA, EGE, EHE, EAE, EJE

Pošto svi alati u magazinu imaju pripadajuće optimizirane parametre obrade i svoj rang, tako se i kombinacije alata mogu rangirati po prikladnosti za pojedinu obradu, pa su brojčane vrijednosti za gornju kombinaciju:

kombinacija alata	rang alata
AGA	5932
AHA	5922
EGE	5664
EHE	5654
AAA	5372
EAE	5104
AJA	5068
EJE	4800

6

Zaključak

Conclusion

Optimizacija parametara obrade i algoritam za izbor alata opisan u ovom radu, daju neke smjernice za automatski izbor najboljeg alata kod obrade odvajanjem čestica. Zbog povećanja kompleksnosti proizvoda, širokog izbora alata i režima obrade, te složenosti proizvodnje, optimizacija i izbor alata se u potpunosti provode na za to namijenjenim računarskim programima. Korisnik može u većoj ili manjoj mjeri vršiti korekcije u izračunatim parametrima ili mijenjati prioritete optimizacije.

Za dobivanje što realnijih rezultata, potrebno je neprestano obnavljati baze podataka o alatima, materijalima i režimima obrade. Lista alata se kod proračuna smanji samo na one alate koji mogu geometrijski zadovoljiti zahtjeve obrade, te se za njih proračunaju pripadajući režimi i prikladnost za obradu.

Iz primjera se vidi da upotreba jednog alata nije ekonomski isplativa kod proizvodnje većine današnjih proizvoda, koji iziskuju više operacija i prohoda alata. Brzina automatskog izmjenjivača može biti od presudne važnosti za određivanje vrste i količine alata za obradu, što je važno zbog smanjenja količine alata u skladištu i time smanjenje ukupnih troškova. Kroz primjere je pokazano da izbor optimalne kombinacije alata ovisi o mnogo čimbenika koje je teško sve obuhvatiti u izračunu, te slijede daljnja istraživanja na usavršavanju metoda za izbor najboljeg alata ili kombinacije alata za obradu.

7

Literatura

References

- Balič, J. Prilagodljivi obdelovalni sistemi, Maribor, 2000.
- Čuš, F. Visokohitrostno rezanje in posebni postopki obdelav, Maribor, 2004.
- Lim, T.; Corney, J.; Ritchie, J. M.; Clark, D. E. R. Optimizing automatic tool selection for 2^{1/2}D Components. Maryland, September 2000.
- Carpenter, I. D.; Maropoulos, P. G. Automatic tool selection for milling operations, Part 1: cutting data generation. Durham, UK, July 1999.
- Carpenter, I. D.; Maropoulos, P. G. Automatic tool selection for milling operations, Part 2: tool sorting and variety reduction. Durham, UK, July 1999.

Adrese autora

Authors' Addresses

Zlatko Botak
Živko Kondić
Veleučilište u Varaždinu
Hallerova aleja 5
42000 Varaždin