

UDK 621.914.22

Odvisnosti in zakonitosti postopka čelnega freziranja

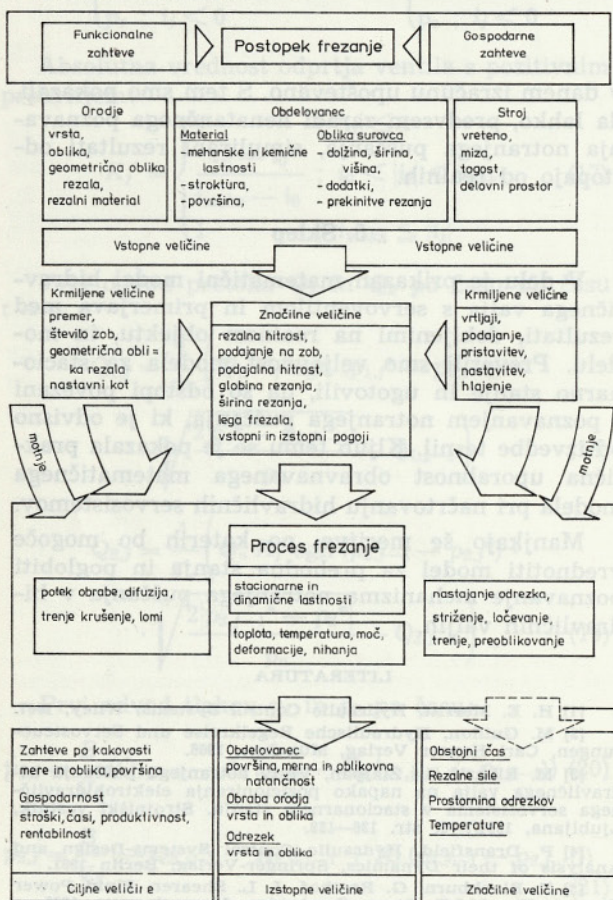
FRANCI ČUŠ

1. UVOD

Iz množice vplivnih veličin na proces freziranja se pri sistematičnih raziskavah spreminja hkrati več parametrov. Zato tudi ni mogoča kolikostna presoja in presoja vsake posamezne vplivne veličine na proces freziranja. Poleg spreminjanja rezalne hitrosti, podajanja in globine rezanja, se lahko spreminjajo še širina rezanja, premer orodja, nastavitev orodja, razmere vteka in izteka ipd. Če vse te vplivne veličine upoštevamo, dobimo sestav povezave vseh vplivnih parametrov na proces freziranja.

2. VPLIVNE VELIČINE POSTOPKA ČELNEGA FREZANJA

Slika 1 prikazuje shematično pregled veličin v procesu freziranja.



Sl. 1. Struktura vplivnih veličin procesa freziranja

Vstopne, krmilne in motilne veličine ne delujejo posamično na izstopne veličine, ampak najpogosteje v najrazličnejših oblikah združkov. Z združitvijo več vplivnih veličin v značilne veličine se opazovanje procesa poenostavi in število upoštevanih veličin se zmanjša.

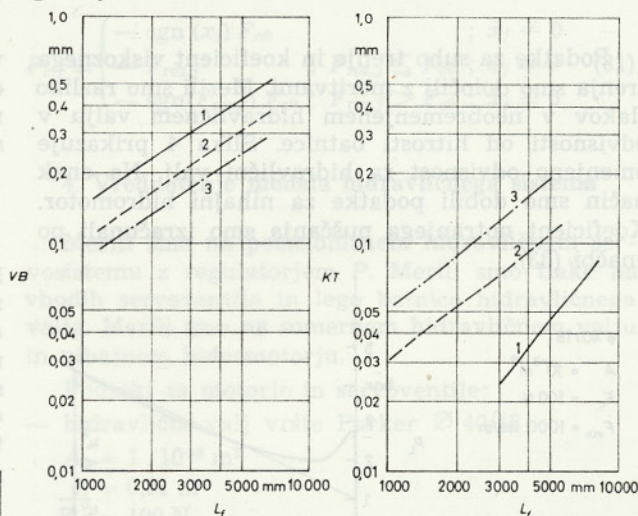
Iz procesa dobimo izstopne veličine, ki opisujejo

jejo obdelovanec, stanje orodja, odrezani material (odrezke), in jih primerjamo s funkcionalnimi in gospodarnimi zahtevami (ciljnimi veličinami).

3. VPLIV REZALNIH POGOJEV NA OBSTOJNOST

Teorija obstojnosti orodja je izredno zapletena, saj je treba poznati številne znanstvene panoge. Šele s popolno znanstveno analizo posameznih vplivnih veličin je mogoče obvladati proces obrabe in napovedati ustrezni obstojni čas rezalnega roba.

Slika 2 prikazuje obrabo na prosti ploskvi v odvisnosti od dolžine freziranja. Pri manjši dolžini freziranja obraba narašča počasneje kakor pri večji dolžini freziranja. To je zaradi stabilizacije rezalnega roba. Zato začetnih vrednosti iz preizkusov ni mogoče jemati za realne vrednosti.



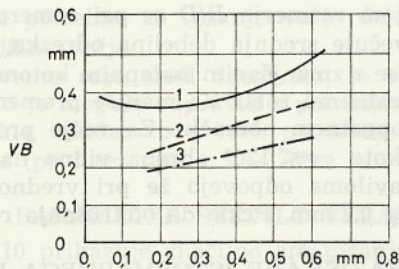
Sl. 2. Vpliv dolžine freziranja L_f na obrabni rob VB oz. kotanjo KT pri različnih podajanjih na zob f_z .

Obdelovani material C. 4321, rezalni material P 25, ploščica SPAN 1203 ED. Drugi podatki: $D = 80$ mm, $z = 1$, $v_c = 110$ m/min, $a_p = 3$ mm, $B = 60$ mm, $B/D = 0,75$. Krivulje: 1 - $f_z = 0,2$ mm, 2 - $f_z = 0,3$ mm, 4 - $f_z = 0,4$ mm.

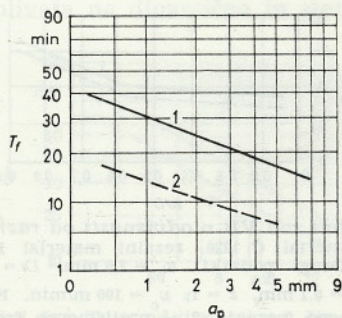
Na sliki 3 je prikazan vpliv podajanja na obrabo. Pri manjših rezalnih hitrostih podajanje bistveno ne vpliva na obrabo.

Na sliki 4 je prikazan vpliv globine rezanja na obstojni čas. S povečano globino se poveča trenje, temperatura narašča in to povečuje obrabo in zmanjšuje obstojni čas. V tem primeru ni bilo velikih odstopkov v obstojnem času.

V praksi je okrog 80 odstotkov vseh primerov grobe obdelave prav freziranje z enim rezom. Priporočajo, da se izbere največja mogoča globina rezanja, čeprav bo obstojni čas krajši; tudi strojni čas bo krajši in stroški izdelave manjši. Preostalih 20 odstotkov obdelave zajema freziranje, kjer so rezi porazdeljeni na največje mogoče globine rezanja, kar je iz gospodarnih zahtev povsem razumljivo.



Sl. 3. Vpliv podajanja na zob f_z na obrabo VB
Obdelovani material Č. 1530, rezalni material P 25, ploščica SPAN 03 ED. Drugi podatki: $D = 80$ mm, $z = 1$, $a_p = 3$ mm, $B = 60$ mm, $B/D = 0.75$. Krivulje: 1 — $v_c = 140$ m/min, 2 — $v_c = 120$ m/min, 3 — $v_c = 90$ m/min



Sl. 4. Obstojni čas T_f v odvisnosti od globine rezanja a_p pri različnih rezalnih hitrostih

Obdelovani material Č. 4321, rezalni material P 25, ploščica SPAN 03 ED. Drugi podatki: $D = 80$ mm, $z = 1$, $B = 40$ mm, $f_z = 0.25$ mm, $VB = 0.3$ mm. Krivulji: 1 — $v_c = 110$ m/min, 2 — $v_c = 140$ m/min

3.1. Funkcija obrabe in obstojni čas za čelno frezanje

Zaradi že omenjene celovitosti procesa rezanja so z razvojem postopka razvijali tudi različne matematične modele, s katerimi naj bi se izbrane rezalne pogoje vnaprej definirali velikost obrabe.

V prvih raziskavah smo se odločili za enačbo po König-Depiereuxu [1]. Sam model je sicer zelo primeren, saj je obstojni čas izračunan za dve različni podajanji in tri različne rezalne hitrosti. Praktični preizkusi pa so pokazali, da dobljeni rezultati nimajo realne vrednosti konstant. Kljub večkratni ponovitvi preizkusov so vrednosti ostale nespremenjene. Ugotovili smo, da je model primeren samo za ozko področje vstopnih podatkov. In še ti morajo biti izbrani zelo skrbno. Model smo opustili in uporabili razširjeno Taylorjevo enačbo, ki je bila ugodnejša, saj je zajemala pet vplivnih veličin.

$$T_c = A v_c^{A_1} f_z^{A_2} a_p^{A_3} VB^{A_4} (B/D)^{A_5} \quad (1)$$

Z izračunanimi vrednostmi teh veličin za obdelovani material Č. 4321 in rezalni material P 25 ima enačba (1) obliko

$$T_c = 3489 v_c^{-1.63} f_z^{-0.183} a_p^{-0.73} VB^{-0.93} (B/D)^{-1.60}$$

Potek obrabe opišemo prav tako s petimi vplivnimi veličinami:

$$VB = C v_c^{C_1} f_z^{C_2} a_p^{C_3} T_c^{C_4} (B/D)^{C_5} \quad (2)$$

S preizkusi lahko določimo vrednosti posameznih konstant in vnaprej napovemo obstojni čas in obrabo pri izbranih značilnih veličinah.

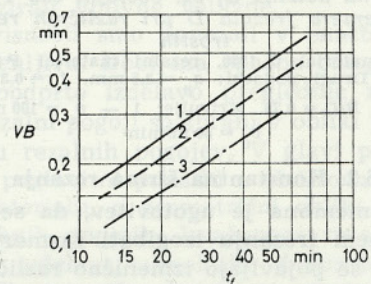
Raziskave so pokazale, da v enačbi (1) in (2) ni treba vključevati še drugih odvisnih spremenljivk, saj bistveno ne vplivajo na stopnjo zanesljivosti.

Opisani sprejeti model omogoča opisovanje poteka obrabe v diskretnem področju rešitev z izbranimi značilnimi veličinami. Ker rezalna hitrost v_c zajema neodvisni spremenljivki T_f in VB , lahko prek računalnika ali iz preglednic uporabljamo vrednosti za konkretne delovne načrte.

4. VPLIV ŠIRINE REZANJA IN LEGE FREZALA PRI STALNEM PREMERU ORODJA

V literaturi so zelo skopi podatki o vplivu širine rezanja in lege frezala, ki bi bili uporabni za prakso.

Na sliki 5 je prikazan primer spreminjanja razmerja B/D in opazovanja obrabe VB pri različnih časih frezanja. Opazen je vpliv večjega razmerja na povečanje obrabe pri konstantnih razmerah. Povečana obraba je posledica povečanja temperature na rezalnem robu in daljših cikličnih časov.



Sl. 5. Obrabni rob VB v odvisnosti od časa frezanja t_f pri različnih razmerjih B/D (somerno frezanje)
Obdelovani material Č. 1530, rezalni material P 25, ploščica SPAN 03 ED. Drugi podatki: $D = 80$ mm, $z = 1$, $v_c = 90$ m/min, $f_z = 0.3$ mm, $a_p = 2.5$ mm. Krivulje: 1 — $B/D = 0.7$, 2 — $B/D = 0.4$, 3 — $B/D = 0.9$.

Čas frezanja je krajši, če je razmerje B/D večje, prostornina odrezanega materiala pa se povečuje.

Naraščanje obrabe pri večjem številu rezov, to je pri manjših razmerjih B/D , je posledica povečane mikrotrganja rezalnega roba. Zaradi močnih izmeničnih napetosti pride do prečnih zarez in zaradi toplotnih obremenitev do vzdolžnih zarez. Obložek na rezalnem robu se po določenem času poruši in povzroča razpadanje rezalnega roba na zarezah.

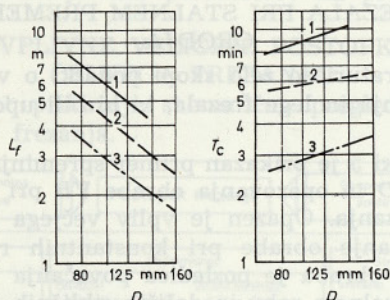
5. VPLIV ŠIRINE REZANJA IN LEGE FREZALA PRI RAZLIČNIH PREMERIH ORODJA

Iz raziskav lahko sklepamo, da je najbolj priporočljivo področje za čelno frezanje $B/D = 0.4 \dots 0.9$. Za različno produktivnost je treba za ustrezni obdelovanec in razpoložljivi stroj izbrati primerno orodje.

5.1. Geometrijska podobnost

Pri raziskavah geometrijske podobnosti ostanejo pri različnih premerih vstopni in izstopni kot in kot rezanja enaki. [2]

Pri geometrijski podobnosti so raziskave pokazale, da se obstojnost zmanjšuje s povečanjem premera (sl. 6). Pri tem ima zelo velik vpliv rezalna hitrost. Dejanski čas se s povečanjem premera povečuje. Z večjim premerom se poveča tudi širina rezanja in potrebno delo rezanja za cikle narašča. Hkrati pa se zmanjšuje število vstopov in izstopov (število rezov) za vnaprej podani dejanski obstojni čas oziroma frekvenca obremenitev je nižja.



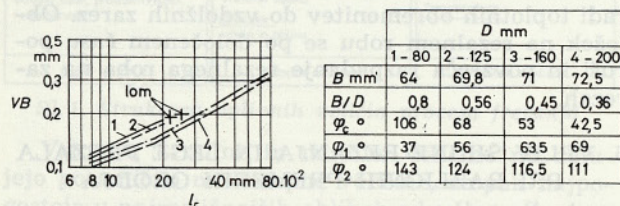
Sl. 6. Obstojna dolžina L_f oz. obstojni čas T_c v odvisnosti od premera frezala D pri različnih rezalnih hitrostih

Obdelovani material Č. 1220, rezalni material P 20, ploščica SPAN 03 ED. Drugi podatki: $a_p = 2,5$ mm, $f_z = 0,3$ mm, $z = 1$, $VB = 0,4$ mm, $B/D = 0,75$. Krivulje: 1 — $v_c = 100$ m/min, 2 — $v_c = 80$ m/min

5.2. Konstantna širina rezanja

Zelo pomembna je ugotovitev, da se je treba pri somernem frezanju izogibati razmerja $B/D = 0,5$, kjer se pojavljajo izmenično različni dotiki. Pri enaki širini rezanja in večjem premeru frezala bo učinek večji. Dejanski časi rezanja bodo krajši, časi ohlajanja na cikel pa daljši. Dotiki na vstopu in izstopu se premaknejo h konici rezala in pri približno enakem delu za rezanje se povečujejo izmenično termične obremenitve na rezalu. Posledice tega so opazne proti koncu obstojnosti pri večjih premerih; na rezalnem robu se pojavijo prečne in vzdolžne zareze.

Večji premeri frezal terjajo za enako dolžino loka rezanja večje širine rezanja. Hkrati se zmanjšujeta razmerje B/D in kot rezanja φ_c (sl. 7). Z



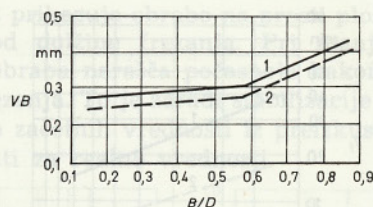
Sl. 7. Obrabni rob VB v odvisnosti od dolžine frezanja l_f pri različnih kombinacijah razmerij (somerno frezanje)

Obdelovani material Č. 1220, rezalni material P 20, ploščica SPAN 1203 ED. Drugi podatki: $v_c = 120$ m/min, $z = 1$, $f_z = 0,4$ mm, $a_p = 3$ mm

zmanjšanjem razmerja B/D se pri somernem frezanju povečuje srednja debelina odrezka, izstopni dotiki pa se z zmanjšanim izstopnim kotom zamaknejo k rezalnemu robu. Za manjše premere je obraba v dopustnem območju. Za večje premere in izstopne kote $\varphi_2 < 120^\circ$ obraba vidno narašča in rezala praviloma odpovejo že pri vrednostih obrabe okrog 0,2 mm. Pride do odkrušenja rezalnega roba.

6. RAZISKAVE ISTOSMERNEGA IN PROTISMERNEGA FREZANJA

Rezultati preizkusov na jeklih so pokazali, da je obraba pri istosmernem frezanju ($\varphi_2 = 90^\circ$) večja, kakor pri protismernem ($\varphi_1 = 0^\circ$), (sl. 8).

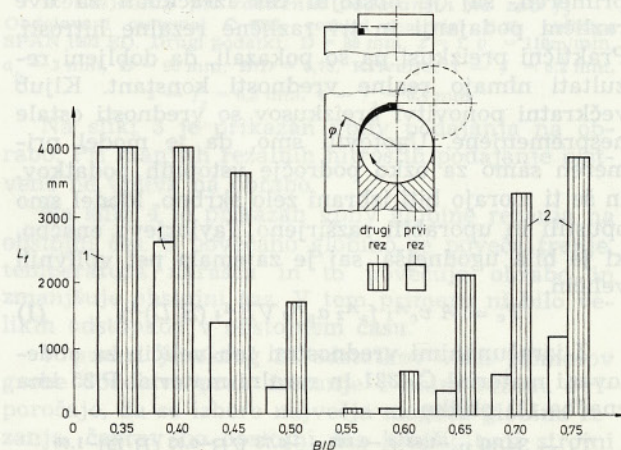


Sl. 8. Obrabni rob VB v odvisnosti od razmerja B/D
Obdelovani material Č. 1220, rezalni material P 25, ploščica SPUN 03 ED. Drugi podatki: $a_p = 2,5$ mm, $D = 80$ mm, $L_f = 3000$ mm, $f_z = 0,1$ mm, $z = 1$, $v_c = 100$ m/min. Krivulji: 1 — istosmerno frezanje, 2 — protismerno frezanje

Pri protismernem frezanju se poleg obrabe pojavljajo še prečne in vzdolžne zareze. Pri protismernem frezanju se rezalni rob po razmeroma kratkem času rezanja kruši in lomi, in sicer pri razmerjih $B/D = 0,4$ do $0,75$ in izstopnem kotu $\varphi_2 = 80^\circ$ do 120° . Vendar so takšne obrabe pri različnih obdelovanih jeklih različne.

7. VSTOPNO-IZSTOPNI POGOJI REZANJA

S slike 9 je razviden skokovit padec obstojne dolžine rezanja za razmerja $B/D = 0,4$ do $0,55$ pri protismernem rezanju. S povečanjem širine rezanja oz. razmerjem B/D se poveča tudi izstopni kot.



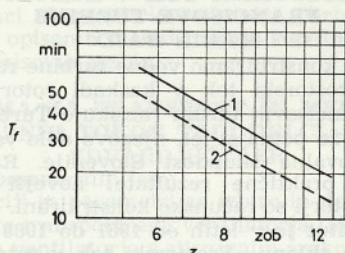
Sl. 9. Obstojna dolžina L_f v odvisnosti od razmerja B/D
Obdelovani material Č. 4321, rezalni material P 15—P 30, ploščica TPAN 1603 PP. Drugi podatki: $D = 50$ mm, $v_c = 150$ m/min, $f_z = 0,3$ mm, $a_p = 2,5$ mm; 1 — protismerno frezanje, 2 — merilo za obstojnost — odkrušenje

Čeprav je potrebno za rezanje večje delo, so obstojne dolžine večje.

Če prvemu rezu sledi drugi rez, se obstojnost poveča. To je mogoče odpraviti s posnetjem izstopne površine, vendar to v vseh primerih obdelave ni mogoče (prvi rez npr. $z \approx 75^\circ$).

8. PARAMETER ŠTEVILO REZAL

Slika 10 prikazuje značilno zmanjšanje obstojnega časa T_f in dodatni vpliv razmerja B/D . Razlaga za takšno trditev je, da je za večje število rezal potrebno več energije, ki se spreminja v toploto in v ubirni coni nastaja temperaturno polje. Večje število rezal zaporedno ubira in njihov vstop in izstop vplivata na dinamično in statično togost stroja.



Sl. 10. Obstojni čas T_f v odvisnosti od števila zob frezala z pri različnih razmerjih B/D

Obdelovani material Č. 1631, rezalni material P 20, ploščica SPKN 03 ED. Drugi podatki: $a_p = 2$ mm, $D = 80$ mm, $f_z = 0,15$, $v_c = 95$ m/min, $VB = 0,4$ mm. Krivulji: 1 — $B/D = 0,75$, 2 — $B/D = 0,5$

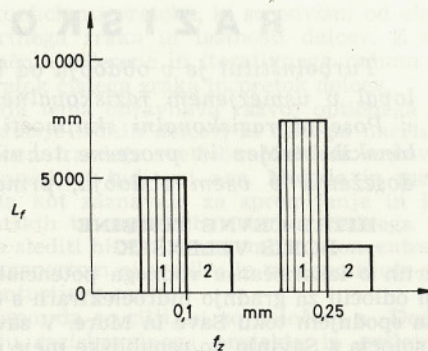
Iz opisanega izhaja, število rezal naj bo tako, da bodo izpolnjena tehnično-tehnološka merila. Pri tem odločilno vplivajo stroški. Dokazano je, da so stroški visoki pri zelo majhnem številu rezal in nizki pri večjem številu. Izbere naj se srednje število rezal, $z = 8$ do 20 zob.

9. VPLIV HLADIVA IN MAZIVA

Raziskave o obrabi so pokazale, da je nastajanje prečnih in vzdolžnih razpok toliko bolj izrazito, kolikor večje so trenutne razlike temperatur pri izstopu rezalnega roba oz. ploščice iz obdelovanca. Pri frezanju s hladivom/mazivom se na rezalnem robu v že kratkem času pojavijo razpoke in zareze, ki povzročijo kršenje rezalnega roba. Tako prisilno zaobljenje ima za posledico večje rezalne sile, ki zelo hitro poškodujejo rezalni rob, to pa pomeni, da orodje izgubi rezalno sposobnost. Rezultati vseh raziskav in primerjave pri frezanju kažejo, da je obstojnost orodja pri hlajenem rezanju manjša za 75 odstotkov, če jo primerjamo s tisto pri suhem rezanju (sl. 11).

10. SKLEP

Za gospodarnost izdelavnega procesa so odločilne sodobne informacije o odrezovanju. Zaradi vedno večjega uveljavljanja računalniško podprtih in avtomatiziranih sistemov v izdelavi so se povečale potrebe po zanesljivih in obsežnih podatkih za obdelavo.



Sl. 11. Obstojna dolžina L_f v odvisnosti od podajanja f_z pri hlajenem/suhem odrezovanju

Obdelovani material Č. 4320, rezalni material P 25, ploščica SPUN 1203. Drugi podatki: $v_c = 90$ m/min, $a_p = 2,5$ mm, $z = 1$, $D = 80$ mm, $B/D = 0,75$, 1 — suho, 2 — s hladivom/mazivom

Namen tega dela je bil, da z analizo rezultatov raziskave pri čelnem frezanju izoblikujemo takšen proces, ki bo boljši od vpeljanega.

Na podlagi sistematičnih preizkusov [3], raziskav o obrabi in merjenja rezalnih sil ob upoštevanju vseh značilnic in vplivov na proces rezanja smo analizirali vplivne veličine.

Te odvisnosti smo povezali v enačbo, ki ima pet spremenljivk. Dobljena enačba omogoča računalniško podprto izdelavo preglednic za rezalne pogoje. Rezalni pogoji so zbrani v obliki preglednic v katalogu rezalnih pogojev. V glavi preglednice so podani poglavitni podatki o obdelovancu in rezalnem materialu, o geometrični obliki orodja in drugih robnih pogojih. Izračunani rezalni pogoji rabijo pri izdelavi tehnološke dokumentacije za običajne ali numerično krmiljene stroje. Za praktično rabo je izredno pomembno, da so razpoložljivi rezalni pogoji dobljeni po enotnih merilih. Uspelo nam je postaviti sistem laboratorijske raziskave in proučevanja postopkov odrezovanja. Sestavljen je iz merilnega dela, obdelave podatkov in shranjevanja podatkov. V merilnem sistemu smo vključevali lastno raziskovalno opremo (inteligentni vmesnik, merilnik zasuka) [4].

Pri preizkusih so bili uporabljeni samo domači obdelovani in rezalni materiali.

LITERATURA

- [1] Cuš, F.: Raziskave vplivnih veličin v Depiereuxovi enačbi za postopek frezanja. Neobjavljeno gradivo v okviru raziskav obdelovalnosti domačih jekel, TF Maribor, 1983.
- [2] Sostar, A.: Obdelovalnost domačih jekel in litin. Poročilo o raziskovalni nalogi URP C2-0131-795/85 za RSS v Ljubljani. — Maribor, TF 1985, 290 str., ilustrir.
- [3] Cuš, F.: Načrtovanje preizkusov in izračun eksponentov za optimiranje odrezovanja. — Strojniški vestnik, Ljubljana, 30 (1984) 9—10, str. 197—203, (soavtor Adolf Sostar).
- [4] Cuš, F.: Identifikacija optimalnih rezalnih podatkov pri čelnem frezanju, magistrska naloga, Tehniška fakulteta Maribor, 1985.

Avtorjev naslov: mag. Franci Cuš, dipl. inž.,
dipl. ekonom., Tehniška fakulteta
VTO strojništvo, Maribor,
Smetanova 17