

UDK 621.941+620.17:669.715

Obdelovalnost aluminijeve zlitine za avtomate in pomen raziskav obdelovalnosti

POLDE LESKOVAR

Raziskave obdelovalnosti tehničnih zlitin in opazovanje najvplivnejših dejavnikov, ki vplivajo nanje, terjajo ogromno materiala in truda. Zaradi tega so take raziskave tudi drage in navezane neposredno na proizvodnjo, tj. proizvajalca zlitin kakor tudi na uporabnike. Na tem mestu se želim zahvaliti Industriji metalnih izdelkov IMPOL v Slovenski Bistrici, ki je vedno pripravljena podpreti te raziskave. Prav tako bi se rad zahvalil za pomembno pomoč tovarišema Franju Antiću, dipl. ing., in Marjanu Ribiču za izdatno pomoč pri raziskavah.

1. UVOD

Razvoj proizvodne tehnologije je bil v zadnjih nekaj desetletjih tolikšen, da mu lahko sledijo le najbolj pripravljeni. Zaradi tega se ne smemo čuditi, da stoje strokovnjaki v predelovalni industriji pogosto pred odgovornimi in težkimi nalogami, kako povečati proizvodnost, tj. izdelovati hitreje, kakovostneje in ceneje.

Od prve ideje numerično krmiljenega obdelovalnega stroja, ki se je rodila na MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) v letu 1950 pa do danes je bil dosežen na področju obdelovalne tehnologije resnično nesluten razvoj. Dandanes ne uporabljamo samo numerično krmiljenih (NC) obdelovalnih strojev, temveč prav tako CNC in DNC obdelovalne stroje, integrirane obdelovalne sisteme, ki so vodeni s skupnim računalnikom ipd.

V okviru mednarodne organizacije za proizvodno tehnologijo CIRP je bila ob njenem srebrnem jubileju leta 1976 v Parizu objavljena študija o prihodnjih razvojnih smereh v proizvodni tehnologiji do leta 2000 [1]. Iz te študije, ki je delo strokovnjakov iz vseh tehnično razvitih dežel, lahko posnamemo med drugim tudi razvojne usmeritve za naslednja tri obdobja:

— Prvo obdobje zajema dobo do leta 1980. V tem obdobju naj bi bili razviti računalniški programi za popolno avtomatizacijo in optimizacijo določenega proizvodnega procesa.

— Drugo obdobje zajema dobo do leta 1985. V tem času naj bi bila realizirana popolnoma (*on-line*) avtomatizacija določenega obdelovalnega procesa, tehnologija določene proizvodne organizacije pa vodena s centralnim računalnikom.

— Tretje obdobje pa zajema dobo do leta 1990. V tej dobi naj bi bilo že več kakor 50 % vseh obdelovalnih strojev povezanih v integrirane tehnološke

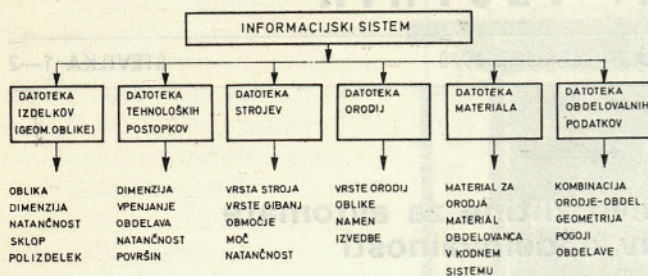
obdelovalne sisteme in vodenih s centralnim procesnim računalnikom.

Razvoj, ki ga lahko opazujemo v zadnjih nekaj letih na opisanem področju, dejansko poteka v nakazani smeri, saj je ta tako imenovana NC-tehnologija že zanesljiva stvarnost tudi pri nas.

NC-tehnologija ne terja samo izredno dobrih in natančnih obdelovalnih strojev, temveč prav tako izredno dobre materiale, pa naj bodo to materiali za orodja ali za obdelavo. Velike hitrosti, ki jih dosegajo sodobni obdelovalni stroji, terjajo tudi materiale za obdelavo z določenimi sposobnostmi, ki morajo ostati kolikor mogoče stalne. To pa terja tesno sodelovanje strokovnjakov, ki materiale pridobivajo, z onimi, ki jih preizkušajo in uporabljajo. Zaradi tega je tudi razumljivo, da se ustanavljajo v tehnično razvitih deželah informacijski centri, ki zbirajo podatke tako o materialih kakor tudi o obdelovancih, strojih in orodjih. Šele sistematično urejeni podatki so sposobni za uporabo pri izdelavi programov, pri vodenju procesov in proizvodnje.

2. ZBIRANJE PODATKOV O OBDELOVALNOSTI

Sistematično urejeni podatki o obdelovancih, obdelovalnih strojih, tehnoloških postopkih, orodjih, materialih in obdelovalnih podatkih sestavljajo tehnološki informacijski sistem. Slika 1 prikazuje v shematični in poenostavljeni obliki sestavo takšnega informacijskega sistema. V tem sistemu je izredno pomembna datoteka obdelovalnih podatkov. Za njeno sestavo so potrebne dolgotrajne vestne in sistematične raziskave posameznih materialov. Pomembni niso le podatki o orodju, njegovi obliki in sestavi, temveč o kombinaciji orodje-obdelovanec, saj je znano, da lahko določen material obdelujemo z različnimi orodji. Taka različna



Sl. 1. Potrebni podatki za tehnološki informacijski sistem

orodja pa imajo popolnoma različne značilnosti oziroma zmogljivosti, spreminjajo se pogoji obdelave. Obdelovalne vrednosti morajo biti prilagojene sposobnostim orodja, stroja in ne nazadnje tudi našemu znanju oziroma poznavanju tehnologije in izdelovalnemu procesu. V takem centru morajo biti znane tudi vse novosti, ki prihajajo v proizvodnjo v obliki novih materialov za orodja in obdelavo. Obseg informacij se mora prilagajati razvoju v proizvodni tehnologiji in raziskovalnemu delu. To pa terja po drugi strani, da so centri, ki zbirajo podatke o obdelavi oziroma raziskujejo materiale, tesno povezani s proizvodnjo.

Za zbiranje podatkov so izdelani posebni formularji, kamor zapišemo vrsto podatkov o želenem materialu [2]. Poleg mehanskih in toplotnih podatkov za material so prav gotovo najpomembnejši še naslednji podatki:

- globina rezanja
- podajanje
- hitrost rezanja
- vrtilna hitrost
- kakovost površine
- obstojnost orodja
- glavna rezalna sila
- vrtilni moment in
- potrebna moč stroja

Če analiziramo našete iskane podatke za določen material, moramo seveda poznati vplive glavnih parametrov rezanja na obstojnost orodja oziroma na kakovost površine. Pri zlitinah neželeznih kovin, predvsem na osnovi aluminija, je prav kakovost površine tisti kazalnik, s katerim najpogosteje ocenjujemo obdelovalnost teh zlitin [3].

3. RAZISKAVE OBDELOVALNOSTI AL-ZLITINE D 50

3.1. Opazovane merilne veličine

Pri raziskavah obdelovalnosti domače aluminijeve zlitine za avtomate z notranjo označbo D 50 smo za oceno obdelovalnosti postavili kakovost površine izraženo z R_a (v mikrometrih) in obliko od-

rezkov. Poleg tega smo merili tudi glavno rezalno silo F_z kot pomembno vrednost, ki jo je treba vnesti v zbirne formularje za banko tehnoloških podatkov. Preizkuse smo zasnovali tako, da smo opazovali tudi sposobnost zlitine za rezanje pri velikih hitrostih rezanja.

Posamezne parametre obdelave smo spreminjali v naslednjih območjih:

- hitrost rezanja
 - $v_1 = 100$ m/min
 - $v_2 = 500$ m/min
 - $v_3 = 1000$ m/min
 - $v_4 = 1500$ m/min
 - $v_5 = 2000$ m/min
- podajanje
 - $s_1 = 0,044$ mm/vrt
 - $s_2 = 0,078$ mm/vrt
 - $s_3 = 0,132$ mm/vrt
- globina rezanja
 - $a_1 = 0,5$ mm
 - $a_2 = 1,0$ mm
 - $a_3 = 2,0$ mm
- obraba na prosti ploskvi
 - $VB = 0,00$ mm (ostri nož)
 - $VB = 0,30$ mm
 - $VB = 0,50$ mm
 - $VB = 0,80$ mm

Pri vseh preizkusih smo uporabljali rezalne ploščice iz karbidne trdine z označbo P 20 po ISO, ki so mehanično pritrjene na držalo podjetja Sandvik Coromant.

Geometrija orodja je bila izbrana takole in konstantna za vse preizkuse:

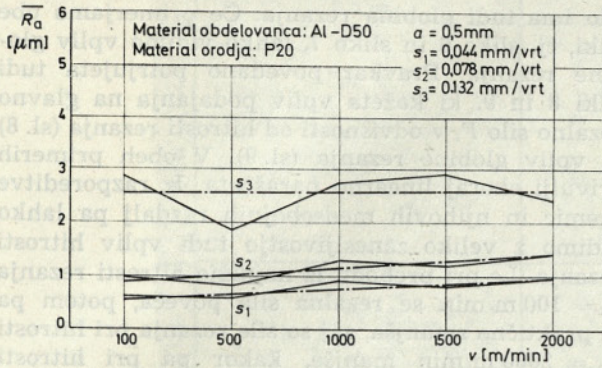
- prosti kot $\alpha = 11^\circ$
- cepilni kot $\gamma = 6^\circ$
- kot nagiba $\lambda = 0^\circ$
- nastavni kot $\kappa = 75^\circ$
- kot konice $\epsilon = 90^\circ$
- polmer zaokrožitve rezilnega roba $r = 0,1$ mm

Za ugotavljanje kakovosti površine smo uporabljali merilnik Talysurf podjetja Artur Rank, za merjenje glavne rezalne in podajalne sile (F_z in F_y) pa trokomponentni piezoelektrični merilnik sil znamke Kistler.

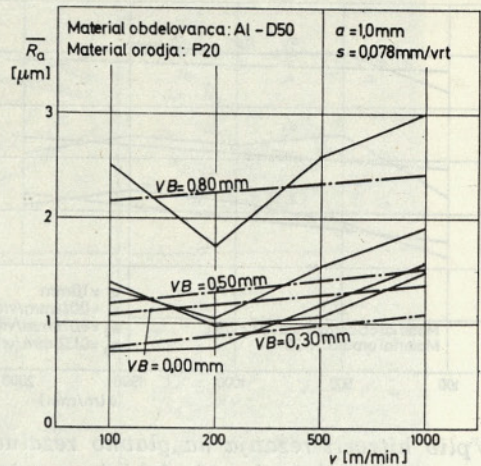
3.2. Rezultati preizkušanja in analiza raziskav

Slike 2, 3 in 4 kažejo vpliv hitrosti rezanja na kakovost površine v odvisnosti od podajanja pri stalni geometriji orodja in globini rezanja. Slika 2 prikazuje omenjene odvisnosti pri globini rezanja $a_3 = 2$ mm.

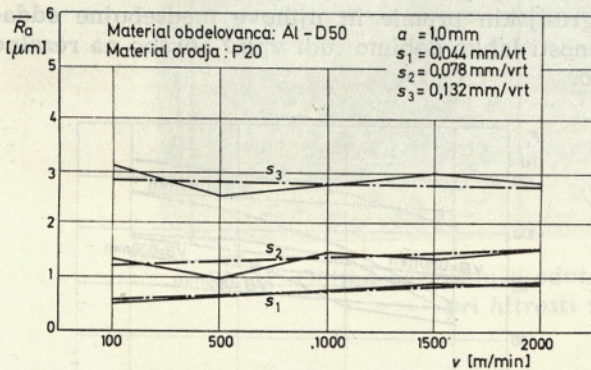
Vsaka točka na diagramu je srednja vrednost 6 meritev, tj. dveh ponovitev rezanja pri 3-kratnem merjenju kakovosti površine. Iz vseh treh slik lahko vidimo vpliv hitrosti rezanja, s primerjavo premic na posameznih slikah pa tudi vpliv podajanja. Če pa primerjamo vse tri slike med seboj, pa lahko vidimo tudi vpliv podajanja na kakovost



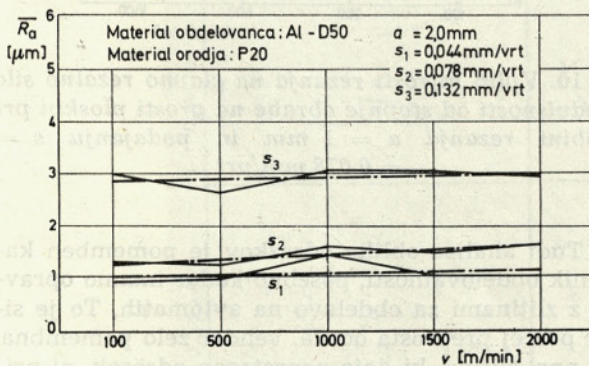
Sl. 2. Vpliv hitrosti rezanja na kakovost površine v odvisnosti od podajanja pri globini rezanja $a = 0,5 \text{ mm}$



Sl. 5. Vpliv hitrosti rezanja na kakovost površine v odvisnosti od stopnje obrabe na prosti ploskvi pri konstantnem podajanju $s_2 = 0,078 \text{ mm/vrt}$ in globini rezanja $a = 1 \text{ mm}$



Sl. 3. Vpliv hitrosti rezanja na kakovost površine v odvisnosti od podajanja pri globini rezanja $a = 1,0 \text{ mm}$

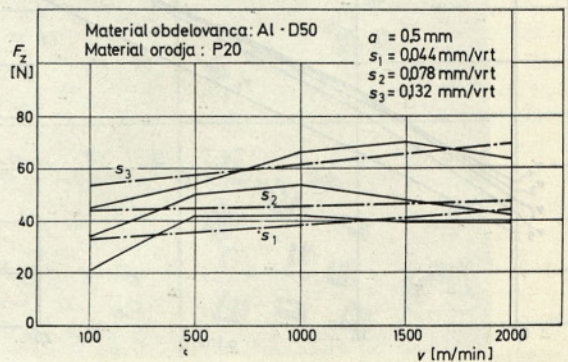


Sl. 4. Vpliv hitrosti rezanja na kakovost površine v odvisnosti od podajanja pri globini rezanja $a = 2 \text{ mm}$

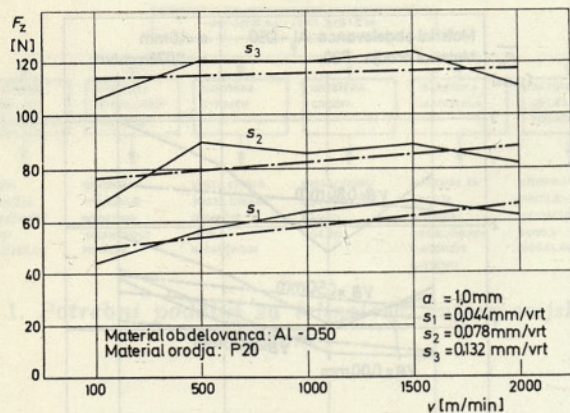
površine. Iz rezultatov raziskav izhaja, da je vpliv podajanja na kakovost površine največji. Tudi hitrost rezanja kaže zanesljiv vpliv na kakovost površine. Od opazovanih vplivnih dejavnikov ima najmanjši vpliv podajanje, kar pa se ujema že s prejšnjimi raziskavami in tudi raziskavami drugod po svetu [3]. Zelo zanimiv vpliv na kakovost površine kaže obraba na prosti ploskvi. Najugodnejših rezultatov nismo dobili pri ostrem — neobrablje-

nem rezalnem robu, temveč pri obrabi med 0,20 do 0,30 mm. Šele, ko je obraba dosegla določeno stopnjo, se v skladu z njo zmanjšuje kakovost površine. Slika 5 to zelo nazorno prikazuje; najugodnejših rezultatov ne dobimo pri $VB = 0,00 \text{ mm}$, temveč pri 0,30 mm in najslabše pri 0,80 mm. S slike 5 lahko zelo nazorno razberemo vpliv obrabe na kakovost površine.

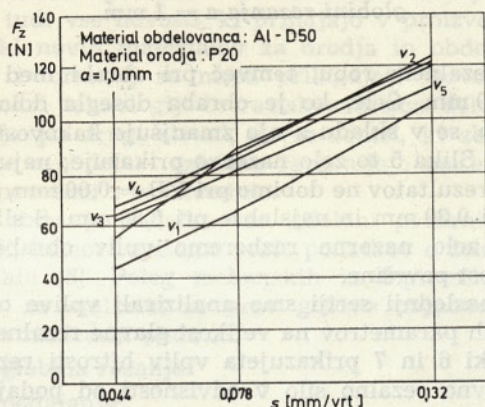
V naslednji seriji smo analizirali vplive obdelovalnih parametrov na velikost glavne rezalne sile F_z . Sliki 6 in 7 prikazujeta vpliv hitrosti rezanja na glavno rezalno silo v odvisnosti od podajanja pri globinah rezanja $a_1 = 0,5 \text{ mm}$ in $a_2 = 1,0 \text{ mm}$. S slike 6 lahko razločno razberemo, da hitrost rezanja na velikost glavne rezalne sile nima občutnega vpliva. Nekoliko strmejše naraščanje kaže pri globini rezanja $a = 1 \text{ mm}$. Če pa primerjamo vpliv podajanja na obeh slikah, lahko opazimo, da je ta mnogo večji kakor vpliv hitrosti rezanja, ki je v nekaterih primerih celo padajoč in ga lahko zemarimo [4]. Zelo močan vpliv na glavno rezalno



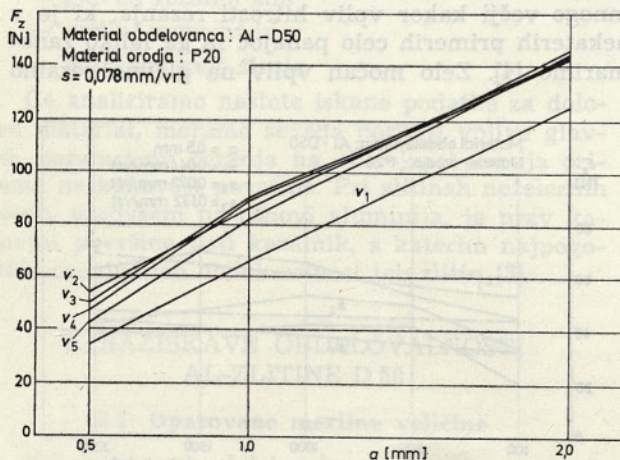
Sl. 6. Vpliv hitrosti rezanja na glavno rezalno silo v odvisnosti od podajanja pri globini rezanja $a = 0,5 \text{ mm}$



Sl. 7. Vpliv hitrosti rezanja na glavno rezalno silo F_z v odvisnosti od podajanja pri globini rezanja $a = 1,0$ mm

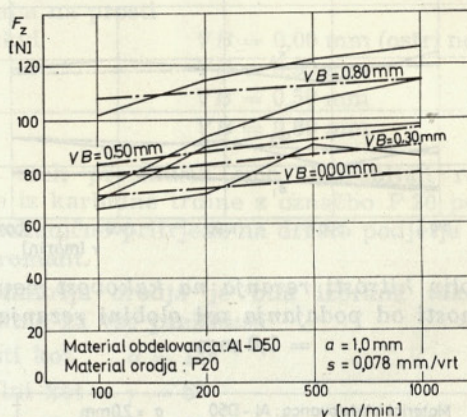


Sl. 8. Vpliv podajanja na glavno rezalno silo F_z v odvisnosti od hitrosti rezanja pri globini rezanja $a = 1,0$ mm



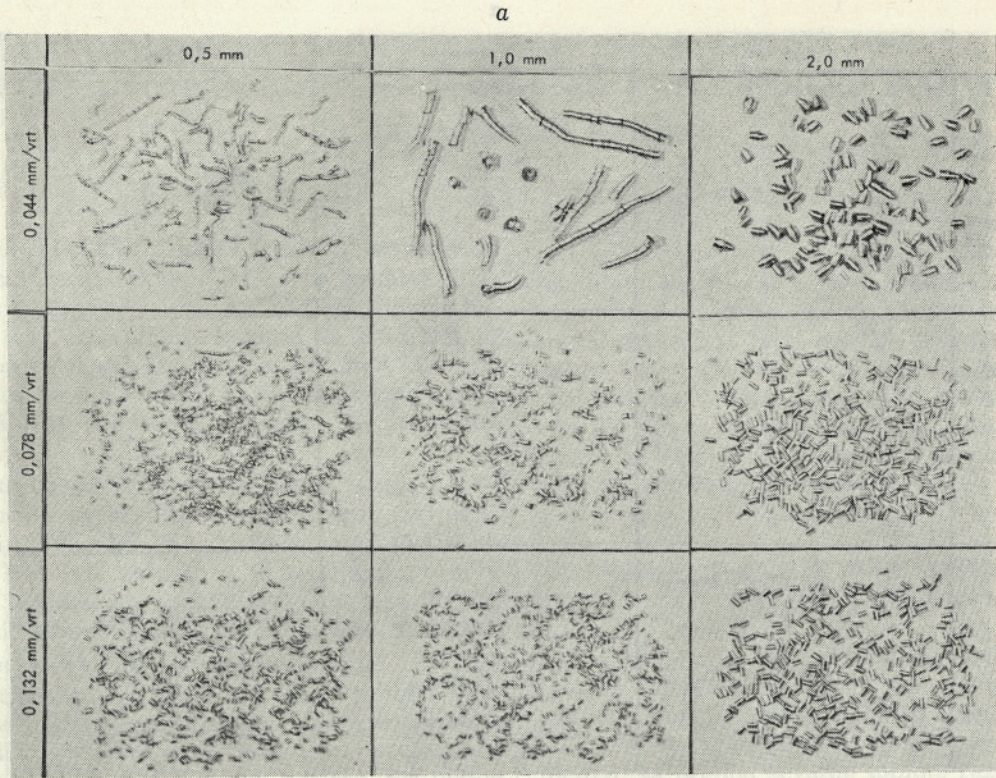
Sl. 9. Vpliv globine rezanja na glavno rezalno silo F_z v odvisnosti od hitrosti rezanja pri podajanju $s = 0,078$ mm/vrt

silo ima tudi globina rezanja. Če primerjamo obe sliki, tj. sliko 6 in sliko 7, lahko vidimo vpliv globine rezanja. Pravkar povedano potrjujeta tudi sliko 8 in 9, ki kažeta vpliv podajanja na glavno rezalno silo F_z v odvisnosti od hitrosti rezanja (sl. 8) in vpliv globine rezanja (sl. 9). V obeh primerih krivulji skoraj linearno naraščata. Iz razporeditve premic in njihovih medsebojnih razdalj pa lahko vidimo z veliko zanesljivostjo tudi vpliv hitrosti rezanja. Le pri prehodu iz najnižje hitrosti rezanja $v_1 = 100$ m/min se rezalna sila poveča, potem pa se praktično zmanjša, saj so sile rezanja pri hitrosti $v_5 = 2000$ m/min manjše, kakor pa pri hitrosti $v_2 = 500$ m/min. To velja tudi za vpliv podajanja, ki ga prikazuje slika 9. S slike 10 je razviden vpliv hitrosti rezanja na glavno rezalno silo F_z pri različnih stopnjah obrabe. S primerjavo posameznih regresijskih premic in njihove medsebojne oddaljenosti lahko dobimo tudi vpliv obrabe na rezalno silo.

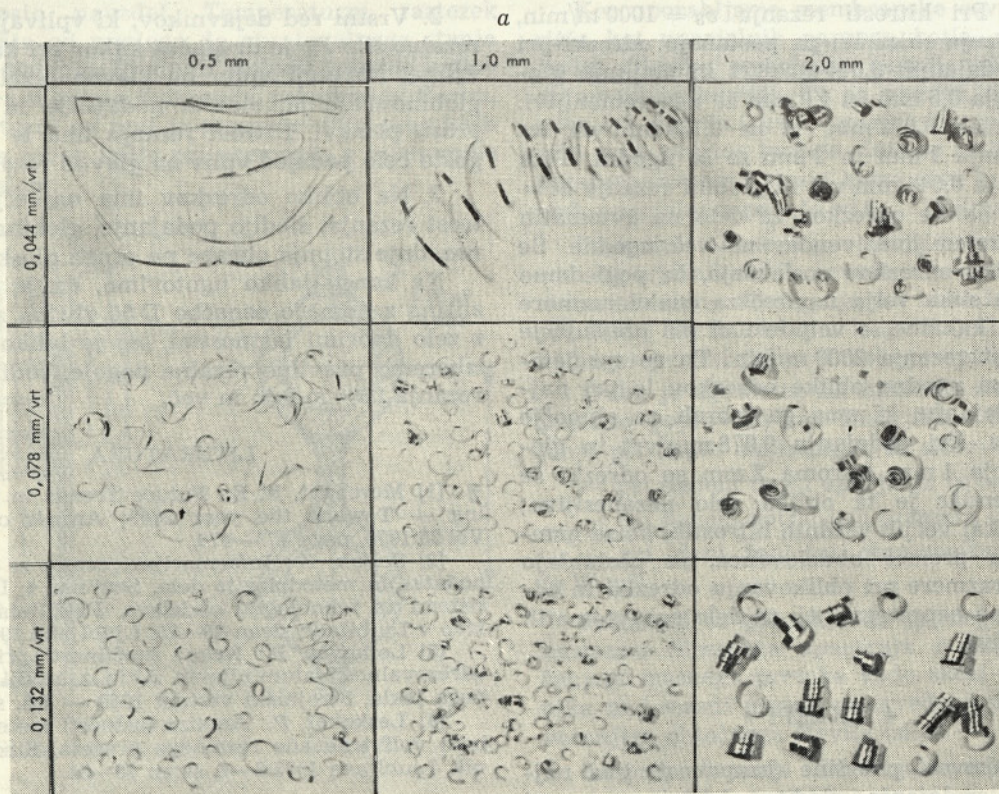


Sl. 10. Vpliv hitrosti rezanja na glavno rezalno silo F_z v odvisnosti od stopnje obrabe na prosti ploskvi pri globini rezanja $a = 1$ mm in podajanju $s = 0,078$ mm/vrt

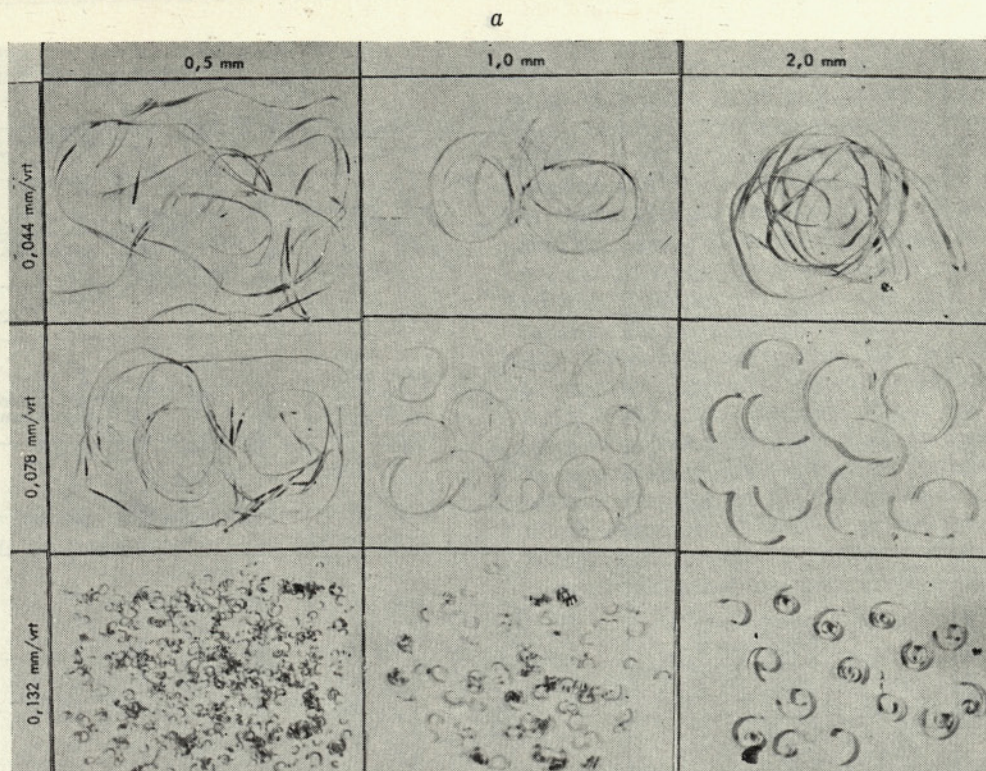
Tudi analiza oblike odrezkov je pomemben kazalnik obdelovalnosti, posebno kadar imamo opravka z zlitinami za obdelavo na avtomatih. To je sicer precej preprosta ocena, vendar zelo pomembna, saj npr. zlitina, ki daje nepretrgan odrezek, ni primerna za obdelavo na avtomatih. Slike 11, 12 in 13 kažejo oblike odrezkov pri različnih globinah rezanja v odvisnosti od podajanja pri različnih hitrostih rezanja; slika 11 pri hitrosti rezanja $v_1 = 100$ m/min, slika 12 pri hitrosti rezanja $v_3 = 1000$ m/min in slika 13 pri hitrosti rezanja $v_5 = 2000$ m/min. Iz predloženih slik je lepo razvidno, v katerih področjih oziroma pri kakšnih razmerah je zlitina D 50 še primerna za rezanje. Na vseh treh slikah so območja podajanja in globine rezanja konstantna, spreminja se le hitrost rezanja. S slike 11 lahko razberemo, da so oblike odrezkov zelo ugodne. To kažejo tudi oblike odrezkov pri



Sl. 11. Oblika odrezkov v odvisnosti od podajanja s in globine rezanja a pri hitrosti rezanja $v_1 = 100$ m/min



Sl. 12. Oblika odrezkov v odvisnosti od podajanja s in globine rezanja a pri hitrosti rezanja $v_3 = 1000$ m/min



Sl. 13. Oblika odrezkov v odvisnosti od podajanja s in globine rezanja a pri hitrosti rezanja $v_s = 2000$ m/min

500 m/min. Pri hitrosti rezanja $v_s = 1000$ m/min, ki ga prikazuje slika 12, pa postanejo odrezki pri majhnih podajanjih 0,044 mm/vrt in majhnih globinah rezanja 0,5 mm in 1,0 mm že nespremenljivi. Pri podajanjih 0,078 mm/vrt in 0,132 mm/vrt ter globini rezanja 1 mm in 2 mm so še ugodni. Tudi pri podajanju 0,044 mm/vrt in globini rezanja $a_s = 2$ mm so oblike odrezkov za delo na avtomatih sicer še sprejemljive, vendar ne več ugodne. Še bolj se oblike odrezkov poslabšajo, če pogledamo sliko 13. Ta slika velja namreč za enake razmere pri rezanju, kakršne so veljale tudi pri prejšnji, le da je hitrost rezanja 2000 m/min. Tu so sprejemljive oziroma ugodne oblike odrezkov le pri največjem podajanju, ki smo ga izbrali za območje preizkušanja. Pri podajanju 0,078 mm/vrt in globinah rezanja 1 mm oziroma 2 mm so odrezki še lomljivi, vendar je ta oblika zelo nezanosljiva; samo pri nekaj večjih vrtilnih hitrostih, ko se namreč zmanjša premer obdelovanca, se poslabšajo lahko tudi razmere pri oblikovanju odrezka in odrezek postane nepretrgan, tj. za delo na avtomatih nesprejemljiv.

4. SKLEPI

1. Na kakovost površine (hrapavost) ima največji vpliv podajanje, sledita obraba na prosti ploskvi in hitrost rezanja. Globina rezanja na kakovost površine nima omembe vrednega vpliva.

2. Vrstni red dejavnikov, ki vplivajo na glavno rezalno silo F_z , je drugačen kakor pri kakovosti površine. Največji vpliv na glavno rezalno silo ima globina rezanja, sledita podajanje in obraba na prosti ploskvi. Hitrost rezanja ima le manjši, pogosto celo padajoč vpliv na glavno rezalno silo.

3. Na obliko odrezkov ima največji vpliv hitrost rezanja, sledijo podajanje, globina rezanja in nazadnje stopnja obrabe na prosti ploskvi.

Na koncu lahko ugotovimo, da je aluminijeva zlitina z domačo označbo D 50 zlitina za avtomate z zelo dobrimi lastnostmi, saj jo lahko režemo, če izberemo pravilne rezalne pogoje, tudi do hitrosti rezanja 2000 m/min in več.

LITERATURA

[1] Merchant, M. E.: Future Trends in Manufacturing — Toward the year 2000; Annals of the CIRP Vol 25/1976, page 473—476.

[2] Seljak, Z.: Informacijski centri za obdelovalne podatke in metodologija dela, Seminar 4, Informacijski sistemi za tehnologijo obdelave, Fakulteta za strojništvo v Ljubljani, stran 29—75, Ljubljana 1977.

[3] Leskovar, P.: Nekaj značilnosti pri preiskavah odrezovalnosti aluminijevih zlitin z orodji iz hitroreznega jekla, Strojniški vestnik 1969 — 4/5, str. 116—122.

[4] Leskovar, P.: Analiza lastnosti materiala in njihovi vplivi na sile rezalnega procesa, Strojniški vestnik, Ljubljana 1975/3—4, stran 49—54.

Avtorjev naslov: Prof. dr. ing. Polde Leskovar,
Fakulteta za strojništvo
Univerze v Ljubljani.