

viskoznost (vpliv na upore in toplotno prestopnost), topljivost v olju (mazanje oziroma penjenje v uparjalniku), topljivost vode (zmrzovanje, kemična reakcija na kovine), eksplozivnost, strupenost, gorljivost in ne nazadnje ceno. Opozoriti je treba še, da je notranji izkoristek, ki je upoštevan v računih, razmeroma dober. Na primerjavo samo pa to ne vpliva bistveno.

Poseben problem pa nedvomno pomeni določanje notranjega izkoristka kompresorja. Teh raziskav je še razmeroma malo. Medtem ko so meritve pokazale, da so notranji izkoristki pri hladilnih procesih pri višjih kondenzacijskih temperaturah manjši, pa se je izkazalo, da pri grelnih procesih takšne težnje niso prav izrazite, vrednosti notranjih izkoristkov pa so boljše [11]. Če so meritve na hladilnih napravah pokazale, da z naraščanjem hladilne moči naraščajo tudi efektivni izkoristki, lahko to pri grelnih procesih tudi predvidevamo, čeprav zadevnih meritev ni. Vse povedano pa dokazuje, da so vplivi, ki naj bi odločali o pravilni in ekonomsko najbolj utemeljeni izbiri delovnega sredstva, zelo zapleteni in obsežni. Potrebno bo še precej časa in ustreznih meritev, da bi se lahko odločili za konkretna načela, ki bi za zahtevane naloge dala najprimernejše rešitve.

Literatura

- [1] Oprešnik, M.: Uporabnost eksergijskega diagrama v hladilni tehniki. Strojniški vestnik, 1966 (3) 57—62.
- [2] Badyl'kes, I. S.: Rabočie veščestva i processy holodil'nyh mašin. Gostorgizdat, 1966.
- [3] Baehr, H. D., E. Hicken: Die thermodynamischen Eigenschaften von CF_3Cl_2 (R 12) im kältetechnisch wichtigen Zustandsbereich. Kältetechnik, 1965 (5) 143—150.
- [4] Oprešnik, M., L. Kogej: Eksergijski diagram za difluordiklormetan CF_2Cl_2 (R 12). Strojniški vestnik, 1966 (4/5) 105—109.
- [5] Oprešnik, M.: Termodinamične tabele in diagrami. 2. izdaja. Univerzitetna zal., Ljubljana, 1966.
- [6] Rombusch, U. K.: Ein Mollier-i, lg p-Diagramm für Trifluoromonobrom-methan (R 13 B 1). Kältetechnik, 1964 (3) 69—76.
- [7] ASHRAE-Guide and Data Book. Fundamentals and Equipment. Am. Soc. Heat. Refr. Air-Cond. Engin. New York, 1965/66.
- [8] Plank, R.: Handbuch der Kältetechnik. Bd. IV. Die Kältemittel. Springer Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg, 1956.
- [9] Kältemaschinen Regeln. 5. Aufl. Verlag C. F. Müller, Karlsruhe, 1958.
- [10] Holodil'naja tehnika. Spravočnik. Tom 1. 1960.
- [11] Häussler, W.: Einsatzmöglichkeiten der Wärmepumpe. Luft- und Kältetechnik, 1966 (5) 159—163.

Avtorjev naslov:

prof. dr. Miran Oprešnik,
Fakulteta za strojništvo,
Univerza v Ljubljani

DK 621.9.022:669.715

Nekaj značilnosti pri preiskavah odrezovalnosti aluminijevih zlitin z orodji iz hitroreznega jekla

POLDE LESKOVAR

Raziskave obdelovalnosti kovinskih materialov so združene z velikim številom preskusov. Če hočemo, da so rezultati takih preskusov zanesljivi, jih je treba ponavljati na več preskušancih oz. enotah. Za vse to so potrebna znatna finančna sredstva in velike količine materiala, ki jih pa po navadi raziskovalne institucije same nimajo na izbiro. Zaradi tega čutim dolžnost, da se zahvalim strokovnemu vodstvu industrije metalnih polizdelkov Impol v Slov. Bistrici, ki je vsestransko podprlo raziskave aluminijevih zlitin, opravljene pri Inštitutu za strojništvo pri Fakulteti za strojništvo v Ljubljani. Članek priobčuje le majhen del raziskav, ki pa so za spoznanje določenega kovinskega materiala neogibno potrebne. To je začetek zbiranja osnovnih podatkov za široko odrejeno raziskovalno nalogo, ki se nanaša na optimizacijo in avtomatizacijo obdelovalnih sistemov v proizvodnji.

1. Uvod

Vse večja uporaba aluminija in njegovih zlitin v strojništvu in tehniki sploh narekuje čedalje intenzivnejše raziskave njihovih obdelovalnih lastnosti. Ko so bile podane osnove za izboljšanje mehanskih lastnosti aluminija in njegovim zlitinam, so bili podani tudi osnovni pogoji, da jih čedalje več uporabljamo tudi v konstrukcijske namene.

Velika uporabnost, kakršno imajo zdaj aluminij in njegove zlitine, pa ni samo zaradi ugodnejših mehanskih, temveč prav gotovo tudi zaradi nekaterih izrednih fizikalno-kemičnih in tehnoloških lastnosti. Aluminijeve zlitine se dajo tudi zelo ugodno obdelovati z vsemi znanimi postopki za obdelavo, to je oblikovanje s plastično deformacijo, litjem in odrezavanjem.

Razen sposobnosti oblikovanja s plastično obdelavo in litjem je zelo pomembna tudi sposobnost oblikovanja z odrezavanjem. V večini primerov dobi namreč predmet dokončno obliko šele z odrezavanjem. Zaradi tega imajo v končni ceni določenega predmeta pomembno vlogo prav postopki za obdelavo z odrezavanjem.

Jugoslavija spada med bogate države z boksitom. Zaradi tega narašča iz dneva v dan tudi pridobivanje aluminija in njegovih zlitin. Zato je razumljivo, da je čedalje več zanimanja za čim popolnejše spoznavanje njihovih lastnosti in obdelovalnih zmožnosti tudi pri nas.

Za ugotavljanje obdelovalnosti določenega materiala uporabljamo lahko več različnih postopkov:

- postopke za ugotavljanje kvalitete površine,
- postopke za ugotavljanje obstojnosti orodja,
- postopke za ugotavljanje rezalnih sil,
- postopke za ocenjevanje oblike odrezkov ipd.

V preteklosti nas je predvsem zanimalo orodje, redkeje obdelovanec sam. Dandanes, ko stremimo za tem, da odreže orodje čimveč v čim krajšem času, pa imamo razen zahtev do orodja tudi zahteve do obdelovanca — predvsem do njegove površine. Tako se lotevamo preskušanja, s kakršnim iščemo optimalne pogoje pri obdelavi z odrezavanjem. Pri preskušanju je upoštevanih več meril hkrati: obstojnost orodja, kvaliteta površine obdelovanca, oblika odrezkov pri zlitinah, ki jih obdelujemo na avtomatih, in čas obdelave, ki je neposredno vezan na izdelavne stroške določene

nega izdelka. Obraba orodja je pri obdelavi jekla in trdih litin še vedno tolikšna, da je to glavno merilo obdelovalnosti teh materialov, čeprav samo pogostoma ne daje dovolj natančnega pojasnila.

Obstojnost orodja ali čas obrabe rezalnega roba med dvema brušenjema je kot kriterij zaradi vedno boljših materialov, iz katerih so rezalna orodja, posebno pri neželeznih kovinah npr. medeh in aluminijevih zlitinah, izgubil prvotno vrednost. Objektivno ocenjujemo obdelovalnost teh materialov čedalje bolj s kvaliteto površine npr. s kriterijem toposti po Ciraganu [1]. Tudi po Bicklu [2] je kvaliteta površine določenega materiala primeren kriterij za njegovo obdelovalnost; na drugem mestu je šele obraba. Za njo so rezalni učinek, temperatura, rezalne sile in oblika odrezkov.

Kvaliteto površine ozir. njeno hrapavost določa stanje orodja ozir. stanje rezalnega roba na orodju. Seveda se hrapavost menja in je med začetkom in koncem rezanja različna. Ko je orodje še ostro in sveže nabrušeno, je začetna hrapavost odvisna od specifičnih činiteljev pri odrezavanju, npr. vrste materiala, hitrosti rezanja, geometrije orodja in prereza odrezka. Vpliv sil in temperature na kvaliteto površine je še slabo raziskan. Ker pa vpliva hladilno ozir. mazalno sredstvo na kvaliteto površine ugodno, lahko sklepamo, da imajo nanjo določen vpliv tudi sile rezanja in temperatura [3].

Tako vpliva na kvaliteto površine več činiteljev hkrati. Zategadelj je pomembno, kateri od teh činiteljev je najvplivnejši. Večina podatkov, ki govorijo o kvaliteti izdelka, so podatki o vplivu geometrije orodja, hitrosti rezanja, podajanja in globini rezanja. Vendar taka kvaliteta izdelave ni nikjer natanko določena in nas pogostoma ne prepričuje, ali smo s pomočjo omenjenih podatkov sposobni izdelati neoporečen obdelovanec.

2. Činitelji, ki vplivajo na kvaliteto površine pri obdelavi aluminijevih zlitin

Vrste činiteljev, ki vplivajo na obdelovalnost aluminijevih zlitin, se v mnogočem razlikujejo od tistih, ki prevladujejo npr. pri obdelavi jekla. Spoznanja, ki smo jih dobili pri obdelavi jekla, zaradi tega ni mogoče kratko malo prenašati na druge zlitine npr. zlitine na osnovi aluminija, bakra in drugih. Pri odrezavanju so namreč aluminijeve zlitine manj odporne pri rezanju, tako da jih glede na to lahko obdelujemo tudi pri znatno višjih hitrostih rezanja. Tudi geometrija orodja za obdelavo aluminija in njegovih zlitin se razlikuje od geometrije orodja za obdelavo jekla.

Iz dosegljivih objavljenih raziskovalnih del doma in po svetu lahko posnamemo, da so aluminijeve zlitine, še posebno pa zlitine, ki so poprej oblikovane s plastično deformacijo, kamor spadajo tudi aluminijeve zlitine, ki jih obdelujemo na avtomatih, zelo slabo raziskane.

Zaradi tega smo preskušali pri Inštitutu za strojništvo v Ljubljani tudi aluminijeve zlitine, ki so poprej gnetene. V okviru te naloge smo določali najugodnejše pogoje pri obdelavi takih zlitin z odrezavanjem.

Za presojo rezalnih sposobnosti smo preskušali aluminijeve zlitine domače izdelave. To sta zlitini D 58 in D 4. Preiskave se nanašajo na struženje, prav tako z orodji iz domačega hitroreznega jekla ELOMAX. Naloga obsega v glavnem dve smeri raziskovanja, in sicer:

- vpliv hitrosti rezanja in geometrije orodja ter prereza odrezkov na kvaliteto površine in
- vpliv hitrosti rezanja, geometrije orodja in prereza odrezka na obliko odrezkov.

Pri raziskovalnih nalogah in preskušanju nasploh težimo za tem, da opravimo preskuse z optimalnimi sredstvi. Pri tem pa moramo paziti, da dobimo take podatke, ki zagotavljajo čim boljše vpogled v

področje, ki ga preskušamo. Množino rezultatov, ki jih dobimo s takimi preskusi, pa vrednotimo v moderni tehnologiji vse pogostejše s sodobnimi statističnimi postopki, ki dajejo razen subjektivne ocene tudi objektivno sliko določenega pojava.

Kvaliteta površine ali njena recipročna vrednost, ki ji pravimo hrapavost, je odvisna od več činiteljev. Vseh teh činiteljev pri preskušanju ni mogoče spreminjati hkrati. Posamezni činitelji imajo namreč določene večje ali manjše vplive, kar je posebno pri aluminiju in njegovih zlitinah precej nejasno, saj so te zlitine še razmeroma zelo slabo raziskane. V takih primerih so lahko uvodni preskusi zelo koristni in potrebni, saj pokažejo največje vplive in pomagajo pri izbiri končnega programa preskušanja.

Z uvodnimi preskusi smo preskušali predvsem naslednje činitelje in njihova območja:

- izbiro območja cepilnega kota γ
- izbiro nastavnega kota α
- izbiro kota nagiba λ
- vpliv višine vpetja rezalnega orodja
- izbiro globine rezanja a .

Rezultati uvodnih preskusov so dali podatke za dokončno izbiro programa preskušanja. Nekateri teh podatkov so se bistveno razlikovali od tistih, ki jih je bilo mogoče dobiti iz literature. To velja še posebej za cepilni kot γ . Del literature predlaga zelo majhne cepilne kote, nekaj pa zelo velike [3, 4, 5, 6]. Rezultati uvodnih preskusov so pokazali, da je kvaliteta površine pri zlitinah D 58 in D 4 znatno boljša pri manjših cepilnih kotih. Tudi oblika odrezkov je bila ugodnejša pri manjših cepilnih kotih.

Iz vseh omenjenih podatkov in s pomočjo uvodnih preskusov smo sestavili dokončni program preskušanja:

- 1) ugotavljanje kvalitete površine v odvisnosti od podajanja, hitrosti rezanja in cepilnega kota ter
- 2) ugotavljanje oblike odrezkov v odvisnosti od podajanja, hitrosti rezanja in cepilnega kota.

Pri tem smo spreminjali naslednje činitelje:

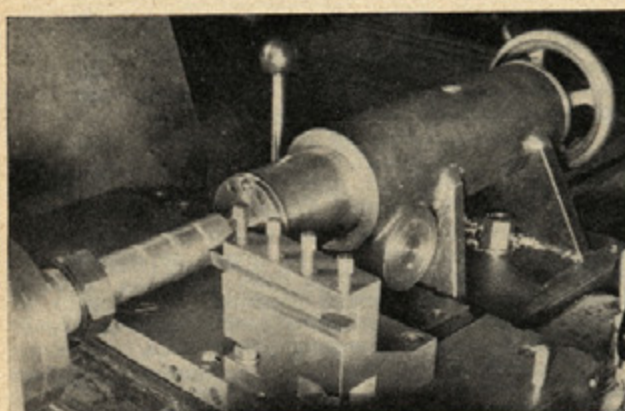
- hitrost rezanja $v = 100, 200, 500, 800$ in 1100 m/min.
- cepilni kot $\gamma = 5, 10, 15$ in 20°
- podajanje $s = 0,028, 0,05, 0,08$ in $0,135$ mm/vrt.
- Ostali parametri pa so ostali konstantni, in sicer:
- prosti kot $\alpha = 8^\circ$
- kot nagiba $\lambda = 0^\circ$
- nastavni kot $\alpha = 60^\circ$
- kot konice $\epsilon = 90^\circ$
- globina rezanja $a = 1$ mm
- radij zaokroženja rezalnega roba $r = 0,5$ mm.

Da bi odpravili morebitne slučajnostne motilne vplive, ki spreminjajo tako preskušanje, in dobili čim zanesljivejše rezultate, smo se držali določenih pravil:

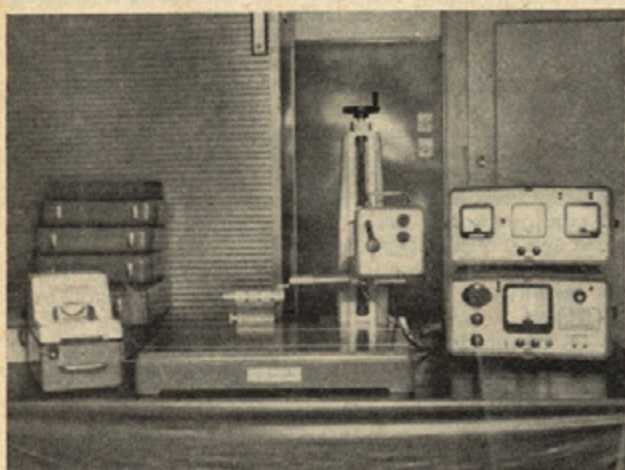
- 1) ponavljanje preskusov na več enotah, s čimer se lahko izognemo nekontroliranim vplivom v določeno smer in
- 2) preskušance-vzorke kakor tudi orodja jemljemo le slučajno.

Posamezne obdelovalne smo razdelili na štiri odseke. Vsak odsek je imel stružni dolžini 25 mm. Tako je bilo mogoče obdelati vsak odsek z drugačnim podajanjem. Postopki preskušanja obdelovalnosti s kratkimi območji rezanja dajejo rezultate pri enakih hitrostih rezanja z zelo konstantnimi pogoji, saj spreminjamo na istem obdelovancu-vzorcu npr. samo podajanje. Tako je mogoče izločiti vse mogoče slučajnostne vplive in dobiti rezultate, ki omogočajo objektivne primerjave [7].

Aluminijeve zlitine za gnetenje, posebno še aluminijeve zlitine za avtomate, režemo dandanes že z velikimi hitrostmi rezanja. Hitrosti okrog 1000 m/min niso več nobena posebnost. Zaradi majhnega premera aluminijevih zlitin za avtomate pa so za tako velike hitrosti rezanja potrebni tudi posebni stroji. V ta na-



Sl. 1. Stružnica z vpetim preskušancem med delom



Sl. 2. Naprava za merjenje hrapavosti Talysurf 4 med preskušanjem

men smo preuredili pri Inštitutu za strojništvo posebno stabilno stružnico z močnim in togim podstavkom. Pri stružnici smo zamenjali vretenjak, preuredili pogonski in podajalni mehanizem ter konjiček [8].

Z opisano eksperimentalno stružnico smo dosegli na delovnem vretenu 8200 do 8500 vrt/min, ki jih lahko spreminjamo brezstopenjsko. Pri tem pa lahko stružimo največji premer preskušanca 200 mm in največjo dolžino 650 mm pri šestih različnih podajanjih v območju 0,028 do 0,36 mm/vrt. Slika 1 prikazuje vpetje preskušanca na novi stružnici med raziskavami.

Hrapavost površin smo ugotavljali na posebnem, zelo natančnem merilniku hrapavosti TALYSURF 4. Možnosti za povečavo pri razbiranju ozir. risanju diagramov hrapavosti so od 500- do 100.000-kratne. Slika 2 prikazuje posnetek merilnika pri merjenju hrapavosti na preskušancu.

Da bi bili rezultati čim realnejši, smo vsak preskus ponovili trikrat. Pri tem smo pazili, da smo izločili morebitne vplive materiala obdelovanca in orodja. V ta namen smo opravili vsako ponovitev z drugim nožem. Tudi posamezne odseke 1 do 4 na preskušancu smo obdelali z drugačnim zaporedjem podajanj.

3. Rezultati preskušanja

Postopki fine obdelave so v zadnjem obdobju čedalje večjega pomena. Potrebe po kvaliteti površine so namreč vse večje, saj je med drugim pri gibajočih se strojnih delih odpornost proti obrabi, odpornost proti koroziji kakor tudi trajnostna trdnost toliko večja,

kolikor večja je kvaliteta površine. Posebno pri finem struženju je kvaliteta površine prvenstveno odvisna od kvalitete stroja, podajanja, hitrosti rezanja, geometrije orodja in materiala obdelovanca.

Velikost obdelane površine dobimo kot produkt podajanja in obsega preskušanca. To je zelo vplivna veličina. Razen nje ima določen vpliv še globina rezanja. Razmerje med podajanjem in globino rezanja je zelo pomembno, saj je zmnožek obeh prerez odrezka. Od prereza odrezka pa so odvisne sile, ki se pojavljajo pri rezanju. Čim večje je to razmerje, tem manjši je vpliv globine rezanja.

V našem primeru smo izbrali globino rezanja pri uvodnih preskusih 1 in 2 mm, kar da pri največjem podajanju razmerje:

$$\frac{a}{s} = \frac{1}{0,135} = 7,4 \quad \text{medtem ko je pri najmanjšem}$$

podajanju razmerje celo 1 : 35,5.

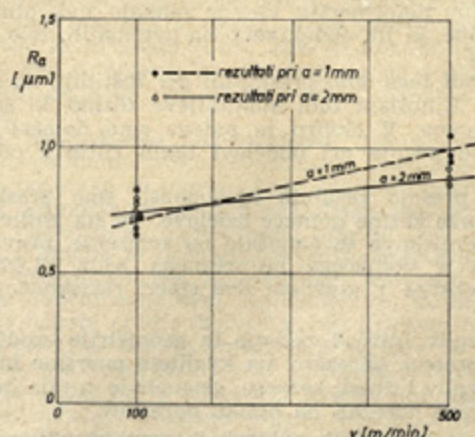
Kakor izhaja iz podatkov v literaturi, vpliv globine rezanja na kvaliteto površine ni občuten vse do tlej, dokler presega razmerje vrednost 4.

To ugotovitev potrjujejo tudi naši uvodni preskusi, kar prikazuje slika 3. Rezultati, ki jih ponazarja slika 3, se nanašajo na globini rezanja 1 in 2 mm. Med njimi ni bistvene razlike in se močno prekrivajo. Tudi pri obliki odrezkov ni bilo opaziti vidne razlike zaradi različne globine rezanja.

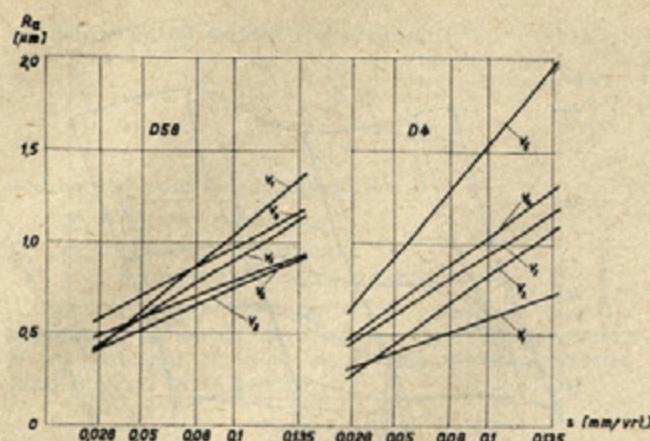
Diagrami na slikah 4, 5 in 6 prikazujejo rezultate preskušanja kvalitete površine v odvisnosti od podajanja pri različnih hitrostih rezanja in konstantni geometriji orodja. Vsaka slika kaže omenjene odvisnosti za obe zlitini, kar omogoča tudi neposredno primerjanje obdelovalnosti obeh zlitin med seboj. Če primerjamo sl. 4, 5 in 6 med seboj, lahko spremljamo tudi vplive cepilnih kotov.

Sliki 7 in 8 prikazujeta odvisnost kvalitete površine od cepilnih kotov, in sicer pri hitrosti rezanja 100 in 1100 m/min. Tudi ti dve sliki sta zelo nazoren prikaz vpliva posameznih činiteljev na kvaliteto površine. Vsak diagram priobčuje rezultate pri konstantni hitrosti rezanja. Z medsebojno primerjavo obeh slik pa lahko opazimo tudi vpliv hitrosti na kvaliteto površine oziroma hrapavost.

S podrobnejšo analizo posameznih diagramov se da dognati, da ima največji vpliv na hrapavost podajanje. To velja za obe zlitini. Razen tega pa povedo diagrami po slikah 4, 5 in 6 tudi to, da je vpliv podajanja na hrapavost površine večji pri zlitini D 4 kakor pri zlitini D 58, kar dokazujejo bolj strme regresijske premice. Iz diagramov lahko sklepamo, da dobimo ugodnejše rezultate pri cepilnih kotih 10° in 15° kakor, pa pri 5° ozir. 20°.

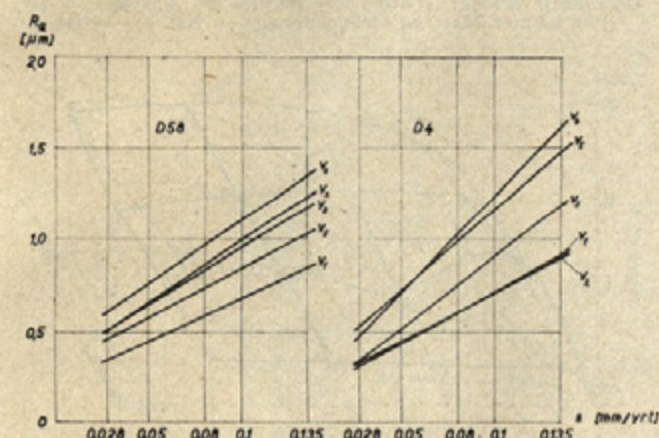


Sl. 3. Vpliv globine rezanja na kvaliteto površine
Geometrija orodja: $\alpha = 8^\circ$, $\gamma_1 = 15^\circ$, $\alpha = 60^\circ$, $\epsilon = 90^\circ$, $r = 0,5$ mm. Material obdelovanca: D 58. Podajanje $s = 0,08$ mm/vrt.



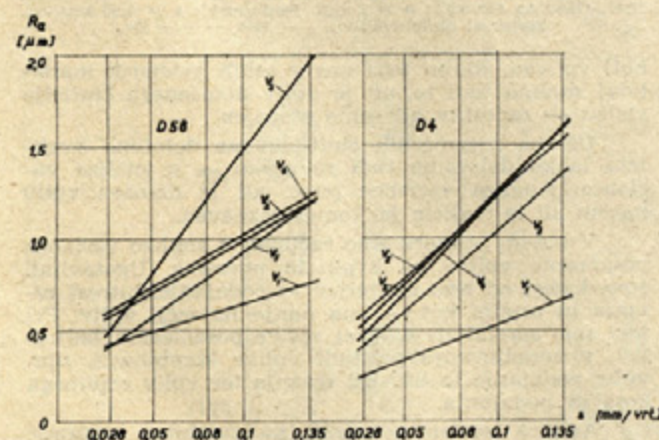
Sl. 4. Odvisnost hrapavosti od podajanja pri različnih hitrostih rezanja; $\gamma = 10^\circ$

Geometrija orodja: $\alpha = 8^\circ$, $\gamma_2 = 10^\circ$, $\lambda = 0^\circ$, $\kappa = 60^\circ$, $\epsilon = 90^\circ$, $r = 0.5$ mm. Hitrosti rezanja: $v_1 = 100$ m/min, $v_2 = 200$ m/min, $v_3 = 300$ m/min, $v_4 = 800$ m/min, $v_5 = 1100$ m/min. Globina rezanja: $a = 1$ mm.



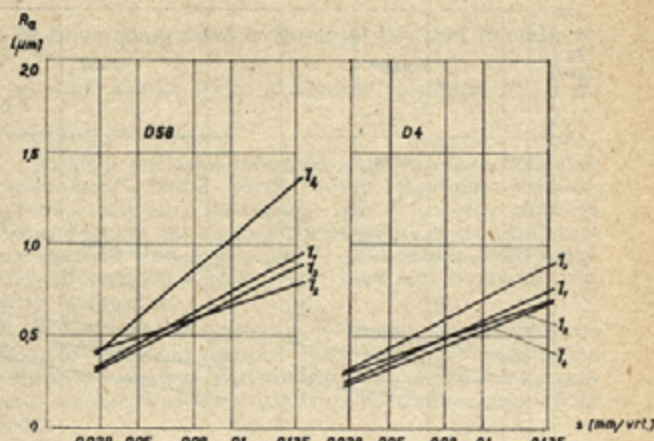
Sl. 5. Odvisnost hrapavosti od podajanja pri različnih hitrostih rezanja; $\gamma = 15^\circ$

Geometrija orodja: $\alpha = 8^\circ$, $\gamma_2 = 15^\circ$, $\lambda = 0^\circ$, $\kappa = 60^\circ$, $\epsilon = 90^\circ$, $r = 0.5$ mm. Hitrosti rezanja: $v_1 = 100$ m/min, $v_2 = 200$ m/min, $v_3 = 300$ m/min, $v_4 = 800$ m/min, $v_5 = 1100$ m/min. Globina rezanja: $a = 1$ mm.



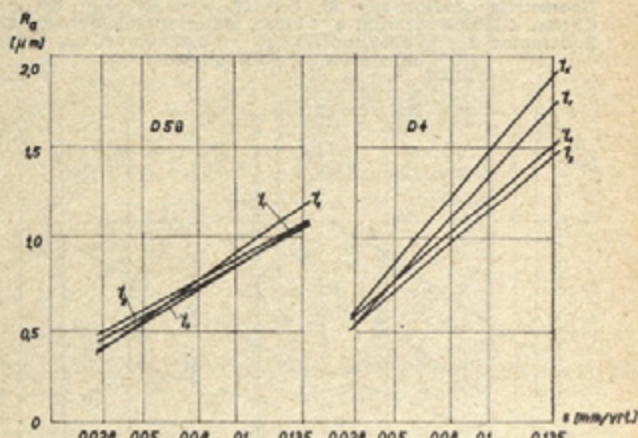
Sl. 6. Odvisnost hrapavosti od podajanja pri različnih hitrostih rezanja; $\gamma = 20^\circ$

Geometrija orodja: $\alpha = 8^\circ$, $\gamma_2 = 20^\circ$, $\lambda = 0^\circ$, $\kappa = 60^\circ$, $\epsilon = 90^\circ$, $r = 0.5$ mm. Hitrosti rezanja: $v_1 = 100$ m/min, $v_2 = 200$ m/min, $v_3 = 300$ m/min, $v_4 = 800$ m/min, $v_5 = 1100$ m/min. Globina rezanja: $a = 1$ mm.



Sl. 7. Odvisnost hrapavosti od podajanja pri različnih cepilnih kotih; $v = 100$ m/min

Geometrija orodja: $\alpha = 8^\circ$, $\gamma_1 = 5^\circ$, $\gamma_2 = 10^\circ$, $\gamma_3 = 15^\circ$, $\gamma_4 = 20^\circ$, $\lambda = 0^\circ$, $\kappa = 60^\circ$, $\epsilon = 90^\circ$, $r = 0.5$ mm. Hitrost rezanja: $v_1 = 100$ m/min. Globina rezanja: $a = 1$ mm.



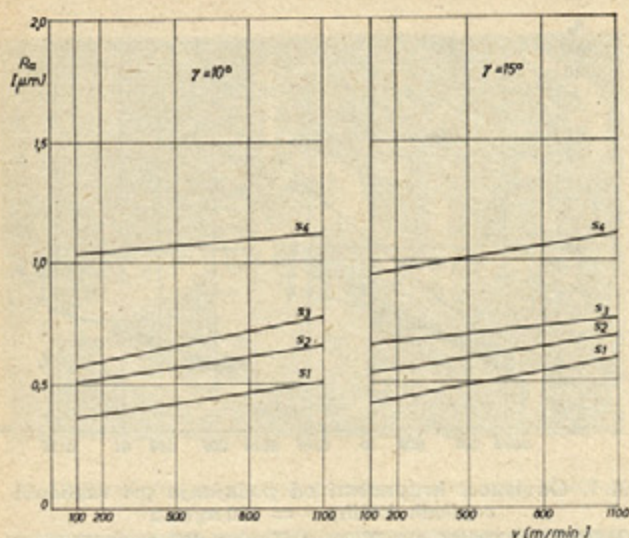
Sl. 8. Odvisnost hrapavosti od podajanja pri različnih cepilnih kotih; $v = 1100$ m/min

Geometrija orodja: $\alpha = 8^\circ$, $\gamma_1 = 5^\circ$, $\gamma_2 = 10^\circ$, $\gamma_3 = 15^\circ$, $\gamma_4 = 20^\circ$, $\lambda = 0^\circ$, $\kappa = 60^\circ$, $\epsilon = 90^\circ$, $r = 0.5$ mm. Hitrost rezanja: $v_5 = 1100$ m/min. Globina rezanja: $a = 1$ mm.

Vpliv hitrosti rezanja na kvaliteto površine v odvisnosti pri različnem podajanju kažeta sliki 9 in 10. Slika 9 prikazuje rezultate preskušanja za aluminijevo zlitino D 58 pri najugodnejših cepilnih kotih, ki so rezultat analize o vplivu podajanja. To sta cepilna kota 10° in 15° . Iz nagiba regresijskih premic je razvidno, da je vpliv v hitrosti rezanja na kvaliteto površine manjši od onega pri podajanju, ko smo dobili znatno bolj strme odvisnosti. Hkrati pa so oddaljenosti med posameznimi premicami bistveno večje od oddaljenosti v diagramih po slikah 4 do 8. To zopet potrjuje prejšnjo ugotovitev, da je vpliv podajanja na hrapavost znatno večji od vpliva hitrosti rezanja.

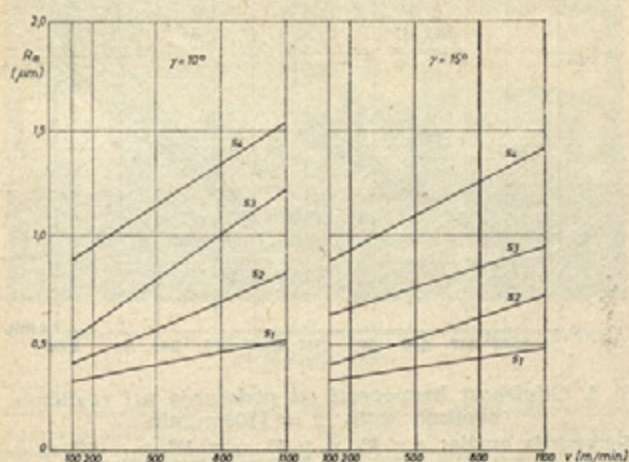
Pravkar povedano dokazuje tudi slika 11, ki prinaša v trodimenzionalni obliki odvisnosti hitrosti rezanja in podajanja na hrapavost površine. S slike lahko razberemo, da je odvisnost podajanja na kvaliteto površine znatno večja kakor pa hitrost rezanja. To velja za obe zlitini. S slike je vidna tudi skoraj linearna odvisnost hrapavosti od podajanja, vtem ko je vpliv hitrosti rezanja bolj nihajoč.

Če primerjamo rezultate med obema zlitinama, opazimo, da dobimo pri aluminijevi zlitini D 4 ugodnejše rezultate pri manjših hitrostih rezanja. Pri alu-



Sl. 9. Odvisnost hrapavosti od hitrosti rezanja pri različnih podajanjih

Geometrija orodja: $\alpha = 8^\circ$, $\lambda = 0^\circ$, $\kappa = 60^\circ$, $\epsilon = 90^\circ$, $r = 0,5$ mm. Globina rezanja: $a = 1$ mm. Material obdelovanca: D58. Podajanja: $s_1 = 0,028$ mm/vrt, $s_2 = 0,05$ mm/vrt, $s_3 = 0,08$ mm/vrt, $s_4 = 0,135$ mm/vrt.



Sl. 10. Odvisnost hrapavosti od hitrosti rezanja pri različnih podajanjih

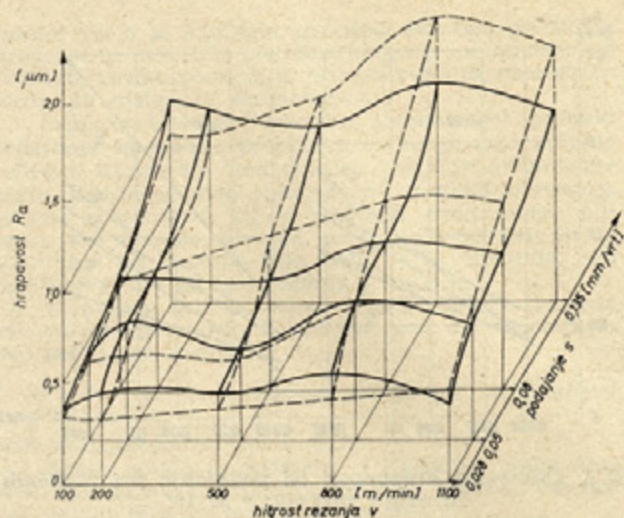
Geometrija orodja: $\alpha = 8^\circ$, $\lambda = 0^\circ$, $\kappa = 60^\circ$, $\epsilon = 90^\circ$, $r = 0,5$ mm. Globina rezanja: $a = 1$ mm. Material obdelovanca: D4. Podajanja: $s_1 = 0,028$ mm/vrt, $s_2 = 0,05$ mm/vrt, $s_3 = 0,08$ mm/vrt, $s_4 = 0,135$ mm/vrt.

minijevi zlitini D58 pa postanejo rezultati hrapavosti ugodnejši pri večjih hitrostih rezanja.

Vpliv cepilnega kota na hrapavost površine je najmanjši. Slika 12 ponazarja odvisnost hrapavosti od rezanja in cepilnih kotov. S slike dobimo potrjeno ugotovitev, da je vpliv hitrosti rezanja na kvaliteto površine večji kakor vpliv cepilnega kota.

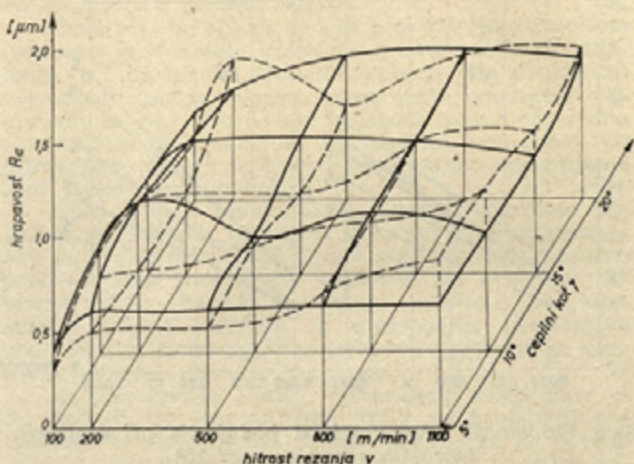
4. Analiza variance

S korelacijsko analizo — regresijskimi premicami kakor tudi s pomočjo diagramov, v katere smo vnašali srednje vrednosti posameznih rezultatov preskušanja, smo dobili precej jasno sliko o vplivih posameznih činiteljev na kvaliteto površine. Posamezne ugotovitve pri analizi vplivov lahko strnemo v splošni sklep, da ima na kvaliteto površine najmočnejši vpliv podajanje, za tem pa hitrost rezanja in najmanjši vpliv geometrija orodja — v našem primeru — cepilni kot. Iz diagramov, ki smo jih analizirali v prejšnjem poglavju, pa ni mogoče vedno priti na čisto z vso zanesljivostjo, kateri od preskušanih činiteljev je naj-



Sl. 11. Odvisnost hrapavosti od hitrosti rezanja in podajanja

Geometrija orodja: $\alpha = 8^\circ$, $\gamma = 15^\circ$, $\lambda = 0^\circ$, $\kappa = 60^\circ$, $\epsilon = 90^\circ$, $r = 0,5$ mm. Material obdelovanca: — D58, — — — D4.



Sl. 12. Odvisnost hrapavosti od hitrosti rezanja in cepilnega kota

Geometrija orodja: $\alpha = 8^\circ$, $\lambda = 0^\circ$, $\kappa = 60^\circ$, $\epsilon = 90^\circ$, $r = 0,5$ mm. Globina rezanja: $a = 1$ mm. Podajanje: $s = 0,05$ mm/vrt. Material obdelovanca: — D58, — — — D4.

bolj vpliven. Razen tega nas v takih primerih marsikdaj zanima tudi to, ali je vpliv določenega činitelja stalen — zanesljiv ali samo slučajen.

Učinka posameznih činiteljev na določeno kvaliteto lahko določimo tudi računsko — z analizo variance. Analiza variance pove, ali je določen vpliv močan ali le majhen in komaj zaznaven.

V našem primeru smo računali z analizo variance posamezne vplive na kvaliteto površine. Ugotavljali smo, kateri od treh činiteljev — podajanje, hitrost rezanja in cepilni kot — ima nanjo največji vpliv. Pri tem smo spremljali najprej vplive posameznih faktorjev, v nadaljevanju pa tudi vplive kombinacij, npr. vpliv podajanja in hitrosti rezanja ter vpliv cepilnega kota in podajanja.

Analiza variance temelji na izračunu variance, tj. kvadratov standardne deviacije ali drugega momenta okoli aritmetične sredine.

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N}$$

pri čemer znaša aritmetična sredina:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$$

posamezne označbe pa pomenijo:

N = število rezultatov

x_i = posamezen rezultat

$\bar{x}$ = aritmetično srednjo vrednost

Spričo tega, ker ocenjujemo varianco osnovne skupine z varianco vzorca, uporabimo v imenovalcu $N-1$ namesto N ; tako se poveča varianca vzorca. Zdaj dobimo novo enačbo:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}$$

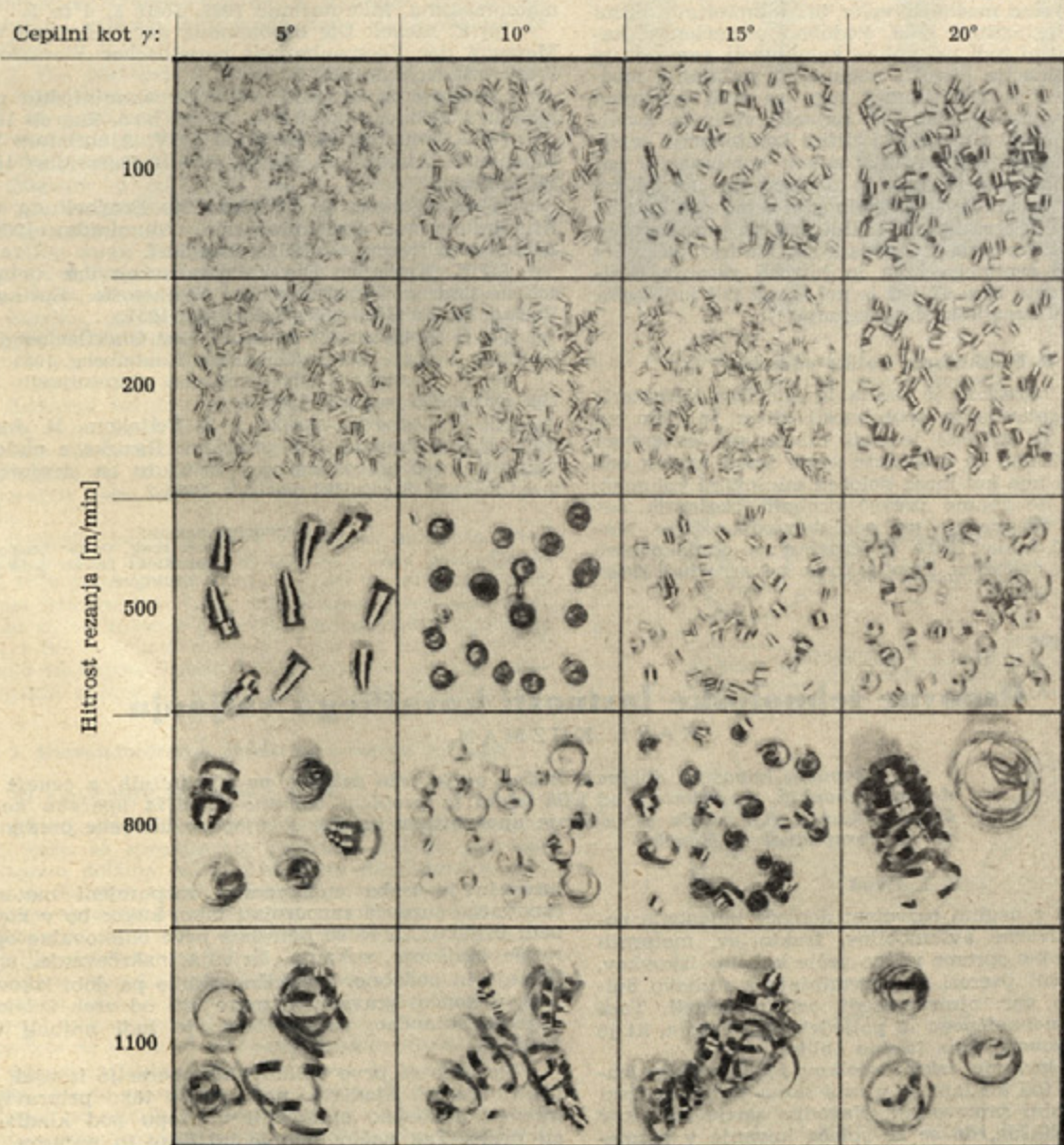
ki jo imenujemo enačbo trosenja. Pri tem imenujemo

$\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2$ kratko vsoto kvadratov, dividend $N-1$ pa prostotno stopnjo.

Analiza variance omogoča nepristransko določitev pomembnosti razlik med večjim številom pojavov, vplivov, lastnosti, postopkov ipd. V našem primeru želimo dognati, ali obstajajo statistično pomembne razlike vplivov treh činiteljev — podajanja, hitrosti rezanja in cepilnega kota — na kvaliteto površine ozir. njeno hrapavost.

Bistvo analize variance je v tem, da primerjamo variance različnih skupin med seboj ali posamezne skupine z osnovno celotno skupino. Vedno izračunavamo kvocient dveh varianc ozir. dveh skupin med seboj:

$$F = \frac{\text{varianca vzorca}}{\text{varianca osnovne skupine}}$$



Sl. 13. Oblika odrezkov v odvisnosti od hitrosti rezanja in cepilnega kota

Za vsako skupino določimo najprej prostostno stopnjo $N-1$. S pomočjo razlike vsote kvadratov odstopanj od aritmetične sredine pa izračunamo variance, ki jih želimo primerjati med seboj. Tako dobimo vrednost za $n_1 = N_1 - 1$ in $n_2 = N_2 - 1$. S pomočjo n_1 in n_2 lahko razberemo teoretične vrednosti variance, ki so tabelarne, in sicer za $F_{0.05}$ ali $F_{0.01}$, kar pomeni pri 5 % ali 1 % riziku.

Za vrednost F dobimo tako dve vrednosti, razbrano po tabelah in izračunano. Če je izračunana vrednost večja od tabelarične, obstaja pomembna razlika med primerjanima skupinama. V nasprotnem primeru je ta razlika nepomembna in zgolj slučajna.

Po pravkar opisanem testu (F -test) smo analizirali tudi naše rezultate za obe aluminijevi zlitini. Najmočnejši vpliv na kvaliteto površine kaže pri obeh zlitinah podajanje, potem hitrost rezanja, najmanjši vpliv pa ima cepilni kot. Tako je analiza variance potrdila naše ugotovitve iz prejšnjih poglavij in priloženih diagramov. Iz F -testa izhaja tudi nedvoumna težnja, da imata podajanje in hitrost rezanja na hrapavost površine močnejši vpliv pri aluminijevi zlitini D4 kakor pri zlitini D58. Podobno usmerjenost kažejo obe zlitini tudi pri vplivu kombinacij, samo da je vpliv kombinacije hitrosti rezanja in podajanja močnejši pri zlitini D4. Zaradi tega se tudi spremeni vrstni red vplivov. Tako ima največji vpliv na kvaliteto površine pri aluminijevi zlitini kombinacija cepilnega kota in hitrosti rezanja, zatem kombinacija podajanja in hitrosti rezanja in na zadnjem mestu ter praktično brez vpliva je kombinacija cepilnega kota in podajanja. Pri aluminijevi zlitini D4 pa ima največji vpliv hitrost rezanja in podajanja, za njo pa vpliv kombinacije cepilnega kota in hitrosti rezanja. Najmanjša oziroma brez vpliva je pri zlitini D4 tudi kombinacija cepilnega kota in podajanja.

5. Preskušanje oblike odrezkov

Oblika odrezkov je važna in značilna karakteristika za ugotavljanje sposobnosti zlitin za delo na avtomatih. Ta kriterij je tudi razmeroma enostaven in cenen. Zlitina za avtomate mora imeti kratek odrezek, ki pa ima kot masa določen minimalni volumen. Prav tako ne želimo preveč drobnih prašnatih odrezkov, saj povzročajo pri odplakovanju težave. Majo namreč lahko filtre in črpalke za odplakovalno ozir. rezalno tekočino. Prav tako so nevarni tudi dolgi

polzasti ali spiralni kontinuirni odrezki, saj lahko bistveno vplivajo ali celo ogrožajo sam potek operacij na avtomatu. Pri preskušanju oblike odrezka smo ocenjevali samo aluminijev zlitino D58, saj je ta zlitina za avtomate. Podobno kakor na kvaliteto površine imajo tudi na obliko odrezkov močan vpliv podajanje, hitrost rezanja in cepilni kot. Slika 13 prikazuje fotografski posnetek oblike odrezkov, ki so razvrščeni v odvisnosti od hitrosti rezanja in cepilnih kotov pri konstantnem podajanju. Najugodnejše odrezke dobimo pri cepilnem kotu 15° . Pri takem kotu so primerne oblike odrezkov do hitrosti rezanja 800 m/min pri podajanju 0,028 mm/vrt. Pri podajanju 0,05 mm/vrt. dobimo ugodne oblike odrezkov do hitrosti rezanja 500 m/min. S povečanjem podajanja se oblika odrezkov hitro slabša.

Literatura

- [1] I. R. H. Seidel: Experimentelle Untersuchungen über Zerspanbarkeit und Eigenspannungen von Automatenmessing, Microtechnic 1965, Heft 3, 4 in 5.
- [2] E. Bickel: Die Problematik der Definition und Messung der Zerspanbarkeit metallischer Werkstoffe, Werkstattstechnik 1963-53.
- [3] Ključ za aluminij — vrste aluminijevih materialov i njihova svojstva — Metal biro, Zagreb 1965.
- [4] Aluminium — Zentrale E. V. Aluminium Taschenbuch, Aluminium Verlag GmbH, Düsseldorf 1955, 11. Auflage.
- [5] H. Walker, G. Beduhn: Die Bearbeitung von Aluminium auf Drehautomaten, Aluminium 1962-1, Aluminium Verlag GmbH, Düsseldorf.
- [6] K. Krekeler: Die Zerspanbarkeit der metallischen und nichtmetallischen Werkstoffe. Springer-Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg 1951.
- [7] G. Schlesinger: Messung der Oberflächengüte. Springer-Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg 1951.
- [8] P. Leskovar: Obdelovalnost aluminijevih zlitin. Strojniški vestnik 1966-3.
- [9] P. Leskovar skupaj z Z. Seljakom, B. Justinom, F. Röhrlom in I. Gantarjem: Raziskave obdelovalnosti z odrezavanjem pri Inštitutu za strojništvo v Ljubljani, Strojniški vestnik 1967-2.

Avtorjev naslov:
doc. mag. Polde Leskovar
Fakulteta za strojništvo
v Ljubljani

DK 621.974.823

Osnovne tehnološke lastnosti kovaškega valjanja

KARL KUZMAN

V utopnem kovaštvu dobivajo vedno večjo težo zahteve po kvalitetnih, a ceneje izdelanih izkovkih. Za nekatere od njih lahko ta problem občutno izboljša uporaba kovaškega valjanja. Kje se da to valjanje uporabiti in kakšne so njegove bistvene prednosti, pa bo obravnaval ta članek.

1. Uvod

V zvezi z naglim razvojem domače industrije potrebujejo tovarne avtomobilov, traktorjev, motornih koles in strojne opreme vedno večje količine izkovkov, katerih prečni prerezi se spreminjajo z njihovo dolžino. To so npr. ojnice, gredi, osi in vzvodji. Tudi veliko avtomehaničnega in poljedelskega orodja, ki je prav tako kovano, ima takšno obliko.

Prosto kovanje takih izdelkov je skoraj že izumrlo, je pa tod ali tam še v rabi samo v maloserijski in individualni proizvodnji. Navadne serije izkovkov so pa že tolikšne, da se že splača kovanje v razmeroma dragih utopnih orodjih.

Kot izhodišni material za kovanje podolgovatih izkovkov se uporabljajo palice ali ožji trakovi. Pri

kovanju je treba enakomerno razporejeni material osnovnega surovca razporejati tako, kakor bo v končnem izdelku. Za to so potrebne prve oblikovalne operacije tanjšanja, sukanja, širjenja, nakrčevanja, upogibanja in podobno. Dokončno obliko pa dobi izkovek nato v končni gravuri, ki mora biti od vseh izdelana najbolj natančno, zaradi česar je tudi najbolj občutljiva.

Prvotno so prve oblikovalne operacije izvajali na hitrih zračnih kladivih, nato pa so tako pripravljen izkovek dokončno oblikovali v utopu pod kladivom ali prešo. Tak način dela je bil drag in počasen. Za vnaprejšnje kovanje je bil potreben kvalificiran kovač, trajalo pa je tako dolgo, da je bilo potrebno za končno kovanje obdelovanec še enkrat ogrevati.