

UDK 621.91.01:678.742

Obdelovalnost polietilena KOTERM

ZORAN SELJAK

Plastični deli so največkrat izdelani z litjem v kalupe. Natančnejše dele moramo dostikrat izdelati iz standardnih palic ali plošč. Z litjem ali brizganjem ne moremo doseči ozkih toleranc (pod 0,2 do 0,4 %) in zato take dele dodelamo s struženjem, vrtanjem, frezanjem, brušenjem itd. Izdelava delov z odrezavanjem iz celega je upravičena tudi v primerih, ko zaradi majhne količine ni upravičeno izdelovanje tlačnih orodij ali kalupov.

SPLOŠNO O OBDELAVI TERMOPLASTIČNIH MATERIALOV

Mnogokrat so metode za obdelavo plastike, ki so sedaj v uporabi, preprosto rezultat znanja in izkušenj dosedanjega dela. Večina obdelovalnih postopkov je odvisna od obstoječih strojev in orodij, ki so bili razviti za obdelavo lesa in kovin, le malo je bilo doslej storjenega za razvoj rezalnih orodij ali metod, ki bi bili posebno prilagojeni za obdelavo plastičnih mas. Tako je razmeroma težavna uspešna obdelava vseh plastičnih mas glede na to, da jih imamo na voljo veliko vrst in zaradi pomanjkanja osnovnih zakonitosti njihove obdelovalnosti.

Kadar podrobno raziskujemo obdelane površine plastičnih mas, lahko ugotovimo, da so pogostoma hrpave in razpokane ali pa prekrte z nezaželenimi sledmi orodja. V drugih primerih pa opažamo, da povzroča pretirano razvijanje torne toplote pri obdelavi ožiganje ali nalepljanje na obdelani površini, tako da je potrebna še dodatna obdelava. Včasih se tudi orodje prekomerno obrablja ali pride do krhanja rezalnih robov in je s tem omejena nadaljnja uporaba orodja.

Ti problemi se pojavljajo, ker še ne poznamo dovolj reoloških in toplotnih karakteristik plastičnih mas, kakršne so npr. specifična toplota, toplotna prevodnost in toplotna razteznost. Razen tega imamo na voljo le malo informacij o obdelovalnih razmerah in o konstrukcijah rezalnih orodij, ki jih uporabljamo pri obdelavi teh novih konstrukcijskih materialov. Z drugimi besedami velja za razumevanje obdelave plastike poznavanje rezalnega procesa pri trdnih sintetičnih polimerih. To vključuje analizo mehanizma nastanka odrezka, sil in deformacij pri odrezavanju materiala, povišanja temperature pri obdelavi in podobnih pojavov [1].

Analiza odrezavanja z enim rezalnim robom je zelo pomembna prva stopnja za razumevanje obdelave plastike.

V primerih, ko obdelujemo z abrazivnimi koluti ali trakovi, so spremenljivke orodja dosti bolj zapletene. Podobno so tudi pri rezanju navojev z navojnimi svedrili ali navojnimi rezili postopki bolj kompleksni. Analizo rezalnega postopka za orodje z enim rezalnim robom lahko uporabljamo tudi za vrsto drugih rezalnih postopkov, kjer so uporabljena orodja z več rezalnimi robovi, npr. za žaganje, freziranje ali vrtanje. Rezanje teh orodij lahko obravnavamo tako, da jih jemljemo kot vsoto več rezalnih procesov posameznih rezalnih robov.

K spremenljivkam obdelovalnih razmer bodo na obdelovalni proces v veliki meri vplivale tudi mehanske lastnosti plastike. Na splošno velja, da se z zmanjšanjem razteznosti pojavlja večja plastična deformacija pri lomu. Pri hitrih deformacijah nastane krhki lom materiala. Tako je obširna vrsta oblik odrezkov odvisna od sprememb rezalnih hitrosti, kar ustreza tudi defor-

macijski stopnji materiala med rezalnim procesom. Mehanske lastnosti plastičnih mas se spreminjajo s hitrostjo transformacije.

Temperatura tudi vpliva na mehanske lastnosti plastike. Na splošno velja, da se z višanjem temperature veča tudi razteznost. Trdota po Brinellu se zmanjša s povišano temperaturo; dobimo plastični lom. Tako se bo odrezek spreminjal v odvisnosti od temperature, pri kateri odrezujemo.

Toplotne lastnosti plastike imajo vpliv tudi na obdelovalne lastnosti. Lastnosti kakršne so npr.: specifična toplota, toplotna prevodnost, toplotna razteznost in temperatura omehčanja bistveno vplivajo na obdelovalnost.

Specifična toplota plastike je običajno nad 0,84 kJ/kgK (0,2 kcal/kg °C) in večja od specifične toplote kovin. Pri polietilenu KOTERM je specifična toplota 2,30 kJ/kgK (0,55 kcal/kg °C). Vendar je gostota plastike na splošno mnogo manjša kakor pri kovinah. Zato je prostorninska specifična toplota pri plastiki manjša kakor pri kovinah. Zaradi tega je povišanje temperature večje pri plastiki, če dovedemo določeno toploto v določeno prostornino. Če npr. dovedemo 84 kJ (20 kcal) v 1 dm³ jekla ali polietilena, se bo temperatura pri jeklu povišala samo za 22,8 °C v primerjavi s polietilenom, kjer se bo zvišala za 38,7 °C.

Nadalje je toplotna prevodnost plastike dosti manjša kakor pri kovinah. Zaradi tega bo tudi toplota, ki nastane zaradi trenja pri rezanju plastike, prevajana prek kovinskega orodja. Stopnjo prenosa toplote na jeklo lahko izračunamo z naslednjo enačbo:

$$v = \frac{\lambda_j}{\lambda_j + \lambda_p}$$

kjer sta λ_j — toplotna prevodnost jekla

λ_p — toplotna prevodnost plastike.

Tak izračun pokaže, da znaša toplota, ki jo odvedemo prek orodja, 99,2 do 99,8 % celotne torne toplote. Ostanek 0,2 do 0,8 % je odveden na plastiko. Manjši del toplote, ki prestopi v plastiko, ne more doseči notranjosti — le na površini bomo lahko ugotovili pomembno povišanje temperature.

Linearna toplotna razteznost plastike je večja kakor pri jeklu; pri nekaterih plastikah je tudi desetkrat večja. Raztezanje plastike, ki je povzročeno s povišano temperaturo pri vrtanju, pomeni nadaljnje težave, ker se s tem povečata trenje in tako tudi torna toplota.

Temperatura omehčanja je relativno nizka. Zaradi tega se pri termoplastikah pojavljajo nalepljanje in druge deformacije zaradi nastanka torne toplote.

SPLOŠNE LASTNOSTI POLIETILENA KOTERM

Pri raziskavah smo uporabljali visokomolekularni nizkotlačni polietilen z imenom KOTERM. Zaradi velike molekularne mase in posebnega postopka predelave ima ta termoplastični material zelo veliko udarno in zarezno žilavost. To omogoča uporabo kotermja pri izmeničnih obremenitvah in udarcih z velikimi trenutnimi vrednostmi. Koterm ima zelo majhen koeficient trenja. Posebno je to opazno pri suhem trenju, pri drsenju po jeklu, med ali bakru. Zaradi te lastnosti ga uporabljamo tudi za ležajne blazinice pri drsnih ležajih.

Fizikalne lastnosti kotermja so podane v razpredelnici 1 [5].

RAZPREDELNICA 1: Fizikalne lastnosti polietilena KOTERM

Gostota	0,94 kg/dm ³	
Mehanske lastnosti		
natezna trdnost pri 20 °C	22 ... 25 N/mm ²	(2,2 ... 2,5 kp/mm ²)
razteznost (pri raztrgu)		450 %
raztržna trdnost pri 120 °C	20 ... 25 N/mm ²	(2,0 ... 2,5 kp/mm ²)
razteznost (pri raztrgu) pri 120 °C		800 %
modul elastičnosti	500 N/mm ²	(50,0 kp/mm ²)
mejna upogibna napetost	27 N/mm ²	(2,7 kp/mm ²)
strižni modul pri + 20 °C	150 N/mm ²	(15,0 kp/mm ²)
— 40 °C	400 N/mm ²	(40,0 kp/mm ²)
udarni upogibni preizkus		ni loma
zarezna udarna žilavost	0,10 ... 0,14 J/mm ²	(0,01 ... 0,014 kpm/mm ²)
trdota po Shoreu (skala D)		64 ... 67
koeficient trenja pri suhem trenju		0,09
Toplotne lastnosti		
temperatura omehčanja		150 °C
obstoynosti oblike pri povišani temperaturi		60 ... 65 °C
linearna razteznost pri 20 °C		2 · 10 ⁻⁴
specifična toplota	2,30 kJ/kg K	(0,55 kcal/kg °C)
Električne lastnosti		
dielektričnost		2,3
specifična odpornost		10 ¹⁶ Ω m

KEMIČNE LASTNOSTI POLIETILENA

Koterm je popolnoma odporen proti anorganskim (fosfori, solni, 50 % žvepleni) in organskim kislinam (ocetni, citronovi) ter še mnogim drugim kemikalijam.

Vendar pa koterm ni odporen proti določeni kemikaliji, če se natezna in raztržna trdnost zmanjšata za več ko 20 odstotkov. Delno odporen je takrat, če se natezna in raztržna trdnost zmanjšata za manj ko 20 odstotkov.

Pri 20 °C koterm ni odporen proti koncentrirani solitni kislini in dikloretilenu, delno pa je odporen proti 50 % solitni kislini, benzenu, tetraklorogljiku, teluolu, trikloretilenu in ksilolu.

Pri 50 °C je koterm neoporen proti koncentrirani in 50 % solitni kislini, koncentrirani žvepleni kislini, dikloretilenu, tehnolu in trikloretilenu, delno odporen pa je proti 75 % žvepleni kislini, bencinu, benzenu in ksilolu.

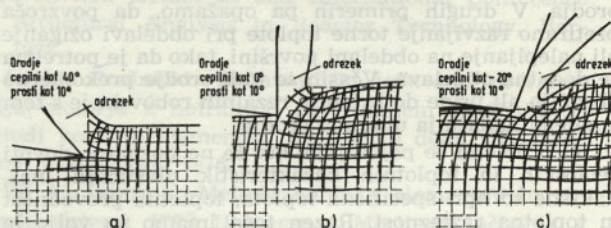
Pri 80 °C koterm ni odporen proti koncentrirani in 50 % solitni kislini, koncentrirani žvepleni kislini in proti drugim kemikalijam, proti katerim ni odporen že pri 50 °C, delno pa je odporen proti 80 % kromovi kislini, 20 % solitni kislini, 75 % žvepleni kislini, 99 % očetni kislini, oleinski kislini, dizelskemu olju in enilinu.

Iz zgornjih ugotovitev lahko sklepamo, da je polietilen koterm dokaj kemično odporen material. Kemična odpornost se nekoliko zmanjša pri višjih temperaturah. Zato je uporabnost koterm pri strojnih delih za živilsko in kemično industrijo zelo široka.

OBLIKOVANJE ODREZKA IN SILE PRI REZANJU

Če opazujemo proces odrezavanja in deformacije neposredno ob rezalnem robu, bomo prišli lahko do več ugotovitev (slika 1).

V neposredni bližini rezalnega roba je obdelovani material izpostavljen natezni napetosti pravokotno na smer rezanja in tlačni napetosti v smeri rezanja, kadar režemo s cepilnim kotom 40°. Natezna napetost se raz-



Sl. 1. Vpliv cepilnega kota orodja na deformacijo obdelovanega materiala

teza v notranjosti obdelovanega materiala za debelino odrezka h . Tlačna napetost se širi za $3h$ pred rezalnim robom v smeri rezanja (slika 1 a).

Če odrezujemo s cepilnim kotom 0°, imamo znatno tlačno napetost pravokotno na smer rezanja, ki se razteza v globino $2h$ obdelovanega materiala. Največja vrednost tlačne napetosti je dosežena v točki, ki je za približno h pred rezalnim robom. Vedeti moramo, da je tlačna napetost tudi v smeri rezanja večja kakor pri cepilnem kotu 40°.

Odklonski vzorec, ki ga dobimo z odrezavanjem z negativnim cepilnim kotom 20°, je prikazan na sliki 1 c. Relativno velike tlačne napetosti imamo v obeh smereh, pravokotno in vzporedno na smer rezanja. Pravokotne napetosti segajo prek $2b$ v globino, so za rezalnim robom in pod površino pravkar obdelane površine. Zaradi elastičnega dviganja pravkar obdelane površine drsi ta po prosti ploskvi orodja. Tlačne napetosti so tudi v smeri rezanja zelo velike in se raztezajo daleč pred rezalnim robom.

Jasno je, da se vrsta in velikost napetosti spreminjata v odvisnosti od cepilnega kota orodja. V obdelovanem materialu bodo med odrezovalnim procesom verjetno natezne napetosti pri pozitivnem cepilnem kotu in tlačne pri negativnem cepilnem kotu orodja. Torej bo cepilni kot vplival na natančnost obdelave.

Pojavljata se dve vprašanji:

1. Kakšen učinek ima elastično izravnavanje materiala med odrezovalnim procesom in po njem na obdelavo?

2. Ali lahko obdelujemo plastiko brez »pritiskanja« ali »iztrgavanja« med rezanjem? (To vodi do kritičnega cepilnega kota).

Kakor je ugotovljeno zgoraj, je elastično izravnavanje materiala med obdelavo neposredno povezano z odrezovalnim procesom. Raztezanje stisnjenega materiala povečuje trenje med prosto ploskvijo orodja in površino obdelovanca. Dodatno k pojavljanju toplote bo zaradi trenja tudi večja obraba orodja. Elastično izravnavanje po odrezavanju pojasnjuje, zakaj so luknje po vrtnanju dostikrat manjše od premera svedra, ki je bil uporabljen. Enako dostikrat blok plastičnega materiala vklešči žago pri odrezu [1, 2].

VELIKOST IN SMER REZALNE SILE

Smeri deformacije pri rezanju se spreminjajo s cepilnim kotom orodja. Če je napetost sorazmerna z deformacijo, se bo ustrezna rezalna sila spreminjala s cepilnim kotom orodja.

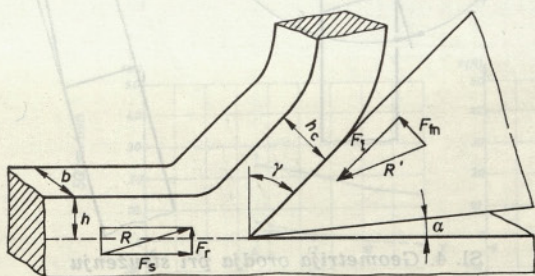
Sile pri rezanju so prikazane na sliki 2. Dve komponenti rezalne sile — komponenta F_s , ki deluje v smeri gibanja orodja, in komponenta F_r , ki deluje pravokotno na obdelano površino — lahko merimo z dinamometrom. Tako lahko ugotovimo razmerje med komponentami rezalnih sil in cepilnim kotom orodja. Meritve nas privedejo do naslednjih sklepov:

1. Rezalne sile se zmanjšujejo, ko cepilni kot povečujemo od negativne do pozitivne vrednosti.

2. Komponenta F_r (pravokotno na obdelovano površino) je lahko usmerjena od obdelovanca ali proti obdelovancu, in sicer v odvisnosti od cepilnega kota orodja. To pomeni, da orodje z negativnim cepilnim kotom tlači obdelovani material, medtem ko ga orodje s pozitivnim cepilnim kotom trga. To pojasnjuje posebnosti pojavov na sliki 1.

3. Vedno je določena vrednost cepilnega kota, kjer je sila F_r enaka nič.

Vrednost cepilnega kota, kjer je bila F_r enaka nič, imenujemo kritični cepilni kot. V večini primerov je kritični cepilni kot tudi optimalni cepilni kot za orodja z enim rezalnim robom, ko dobimo največjo natančnost obdelane površine. To je zato, ker se smer rezultante sil rezanja ujema natančno s smerjo rezanja. V takih razmerah se obdelovani material ne deformira niti navzgor niti navzdol. Kritični cepilni kot γ_c je odvisen od obdelovanega materiala, rezalne hitrosti in globine rezanja. Nadalje mora biti kritični cepilni kot enak tornemu kotu β na cepilni ploskvi orodja, nanj pa vpliva trenje odrezka na cepilni ploskvi.



Sl. 2. Shematični prikaz ortogonalnega odrezavanja

Kritični cepilni kot je treba določiti ločeno za vsako plastiko. Pomembno je, da uporabljamo rezalno orodje, ki ima kritični ali večji cepilni kot.

Tehnika ostrenja rezalnega orodja je zelo pomembna, ker se velikost in smer rezultante rezalne sile spreminjata glede na zaokroženje rezalnega robu in z napredovanjem obrabe orodja. Kolikor narašča obraba, toliko se povečuje tudi rezalni odpor.

Obraba orodja bo na splošno manjša, kjer je cepilni kot primeren in je rezalni rob oster. Tako bo prav pri kritičnem cepilnem kotu obraba orodja najmanjša.

DRUGI PARAMETRI OBDELOVALNOSTI POLIETILENA PRI ODREZAVANJU Z ENIM REZALNIM ROBOM

Doslej smo obravnavali le geometrijo rezalnega orodja in njen vpliv na oblikovanje odrezka, rezalne sile pri deformaciji obdelovanega materiala. Omejili smo se na ortogonalno rezanje, kjer je rezalni rob v stalnem dotiku z obdelovancem.

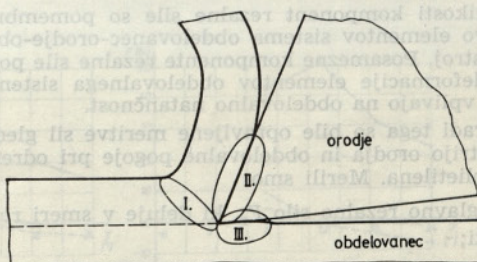
Zelo pomembno je, če upoštevamo posebnosti, ki so značilne za obdelavo plastike. Vrsta odrezka, oblika rezalnega orodja, obdelovalni pogoji, mehanske lastnosti plastike in njene spremembe s temperaturo, kakor tudi toplotne lastnosti plastike vplivajo na rezultate, ki jih dobimo pri obdelavi.

Izbira obdelovalnih pogojev je zelo pomembna, posebno še debelina odrezka, ki je določena s podajalno hitrostjo. Kakor hitro imamo preveliko podajanje, lahko dobimo razpoke na obdelani površini. Nasprotno pri premajhnem podajanju lahko dobimo ožgano površino in nalepljanje na obdelani površini. Izbrati moramo take razmere za obdelavo, da dobimo za odrezavanje primerno globino rezanja.

Čezmerno nastajanje toplote med obdelavo ni zaželeno, ker lahko povzroča ožiganje ali cmarjenje in nalepljanje na obdelani površini. Pri obdelavi sta dva vira toplote. Prvi je v strižni coni zaradi porušitja molekularne zveze obdelovanega materiala. Drugi vir toplote pa je na stičnih ploskvah odrezka s cepilno ploskvijo ter med površino obdelovanca in prosto ploskvijo obdelovanca (slika 3).

Toplota, ki nastane pri razdvajanju materiala, bo v veliki meri odvisna od globine rezanja. S povečano globino rezanja se hitro manjša specifična rezalna sila. Specifična rezalna sila je sorazmerna toploti, ki nastane na enoto odrezanega materiala na obdelovancu.

Drugi vir toplote pri rezanju je torna toplota med odrezkom in cepilno ploskvijo orodja. Da bi zmanjšali tako nastajanje toplote, moramo cepilno ploskev kolikor mogoče gladko polirati. Torna toplota, ki nastane med prosto ploskvijo orodja in obdelovancem je posebno značilna za plastične materiale. Material se za rezalnim robom elastično vrača in pritiska na prosto ploskev



Sl. 3. Viri toplote na rezalnem robu orodja

orodja. Zaradi segretja se plastika še dodatno močno razširi. Tudi prosta ploskev orodja naj bo čim bolj gladka, da bi zmanjšali torno toploto. Orodje naj bo brušeno na kritični cepilni kot in velik prosti kot.

Torna toplota lahko dvigne temperaturo rezalnega robu orodja do take stopnje, da lahko pride do popuščanja trdote na rezalnem robu in s tem zmanjšanja obstojnosti orodja.

Povišana temperatura pri obdelavi plastike vpliva škodljivo. Zato je primerno, da orodje in obdelovanec v takem primeru med obdelavo hladimo. S prilagajanjem hitrosti in konstrukcije orodja ne moremo povsem izločiti povišanja temperature na obdelani površini. Uporabljamo lahko sistem hlajenja s stisnjenim zrakom ali s hladilno tekočino. Učinkovitost hlajenja lahko ocenjujemo z vrsto odrezka, ki smo ga dobili v takih razmerah. Če je hlajenje učinkovito, bodo odrezki razdvojeni, ne zlepljeni. Pri pregrevanju bodo odrezki mehki in se bodo zlepljali.

Polietilen je dobro obdelovalen in ga lahko obdelujemo z običajnimi orodji. Upoštevati je treba vpliv med odrezavanjem nastale toplote.

Pri odrezavanju polietilena dobimo vedno neprekinjen odrezek. Nprekinjeni strižni odrezek je oblikovan pri višjih rezalnih hitrostih, neprekinjeni tekoči odrezek pa je oblikovan pri manjših rezalnih hitrostih. Velikost rezalnih sil je razmeroma majhna v primerjavi z drugimi plastikami. Sila rezanja v smeri rezanja F_s je premosorazmerna z globino rezanja ter narašča, če se cepilni kot γ zmanjšuje od pozitivne do negativne vrednosti. Nasprotno je podajalna sila F_r lahko premo ali obratno sorazmerna glede na globino rezanja, kar je odvisno od cepilnega kota rezalnega orodja. Sila F_r narašča z globino rezanja, če uporabljamo negativni cepilni kot in se zmanjšuje z večanjem globine rezanja, če uporabljamo negativni cepilni kot. Zmanjšuje se tudi z večanjem globine rezanja pri orodjih s pozitivnim cepilnim kotom. Pri orodjih s cepilnim kotom nič stopinj sila F_r ni odvisna od globine rezanja. To velja za radialni primik orodja.

Take vrednosti in druge izkušnje kažejo na obstoj kritičnega cepilnega kota, ki naj ga uporabljamo pri konstrukciji rezalnega orodja za obdelavo polietilena. Posebno pomembno je, da so orodja za odrezavanje polietilena s primernim ali kritičnim cepilnim kotom, ker je material zelo elastičen. Zaradi velike elastičnosti plastike bo pri odrezavanju s cepilnim kotom, ki odstopa od kritičnega, večje dimenzijsko odstopanje na obdelovancu.

RAZISKAVA VPLIVA GEOMETRIJE ORODJA IN OBDELOVALNIH POGOJEV NA REZALNE SILE PRI OBDELAVI POLIETILENA

Za ocenjevanje obdelovalnosti materiala so rezalne sile zelo pomembne. Sile pri obdelovalnem procesu dajejo osnovo za ugotavljanje potrebne moči obdelovalnega stroja in za zasnovno pogona obdelovalnega stroja.

Velikosti komponent rezalne sile so pomembne za zasnovno elementov sistema obdelovanec-orodje-obdelovalni stroj. Posamezne komponente rezalne sile povzročajo deformacije elementov obdelovalnega sistema in s tem vplivajo na obdelovalno natančnost.

Zaradi tega so bile opravljene meritve sil glede na geometrijo orodja in obdelovalne pogoje pri odrezavanju polietilena. Merili smo:

- glavno rezalno silo F_s , ki deluje v smeri rezalne hitrosti;
- podajalno silo F_v , ki deluje nasproti pristavitvi orodja.

Na posamezne komponente rezalne sile vplivajo naslednje vplivne veličine:

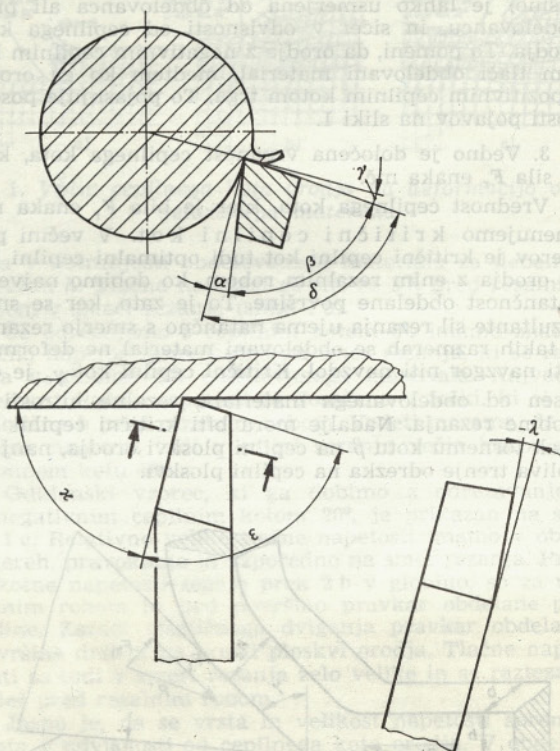
- trdnost in žilavost obdelovanega materiala,
- oblika rezalnega robu orodja in njegova obrabljenost,
- velikost in oblika prereza odrezka ter s tem podajanje in globina rezanja,
- hitrost rezanja ter
- hlajenje in mazanje.

S povečano trdnostjo obdelovanega materiala se praviloma poveča tudi rezalni odpor. Povečanje rezalnega odpora je odvisno predvsem od transformacijskega procesa na rezalnem robu orodja. Zato ne moremo glede na trdnost ali žilavost materiala vnaprej določati tudi rezalnega odpora, pač pa so potrebne meritve.

Geometrija orodja ima znaten vpliv na rezalne sile. Pri povečanem cepilnem kotu se rezalni odpor zmanjša. Vendar cepilnega kota ne moremo čezmerno povečevati, ker se s tem klin orodja zmanjšuje in tako se zmanjšuje tudi mehanska odpornost orodja. Majhen prosti kot povečuje trenje med obdelovancem in orodjem, čezmerno povečevanje pa pomeni oslabitev klina, s čimer se poveča nevarnost za lom orodja. Z obrabo rezalnega robu se spreminja velikost rezalne sile tudi do 50 %. Zato je sproti ostrenje orodja pri obdelavi plastike nujno.

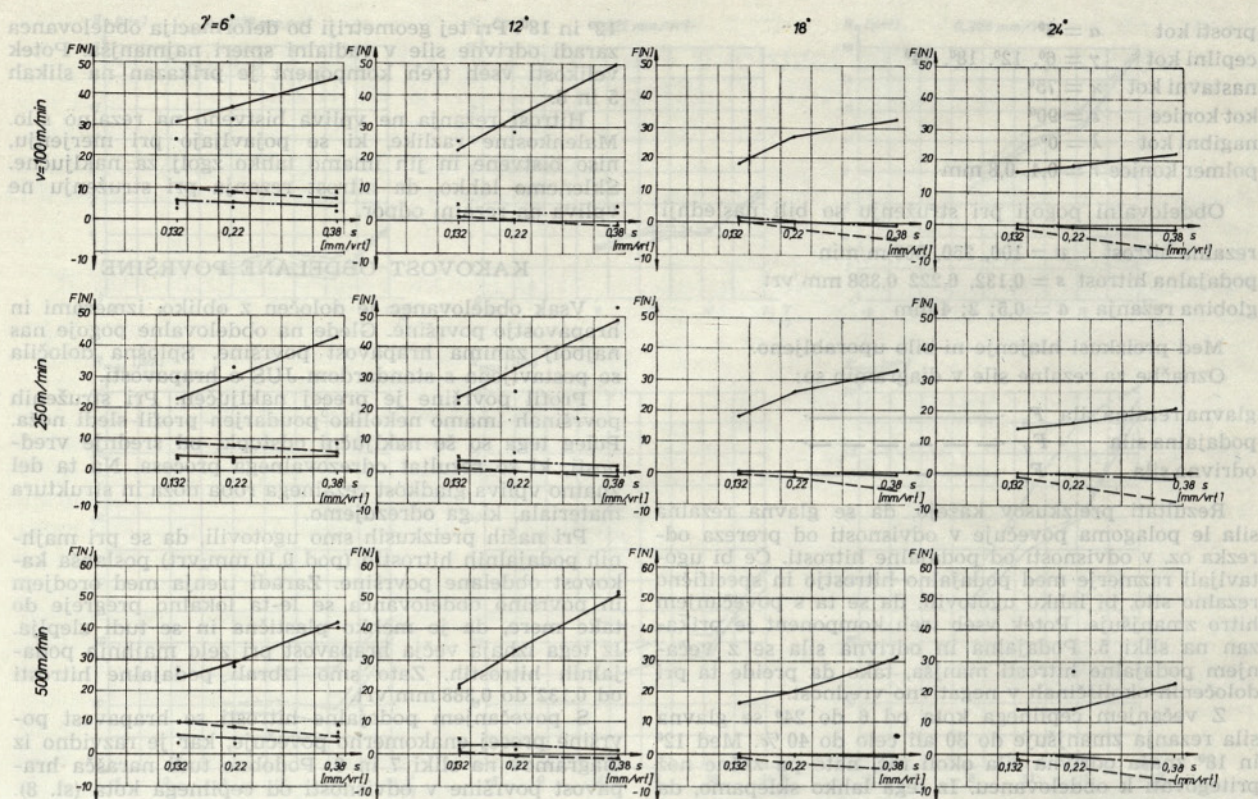
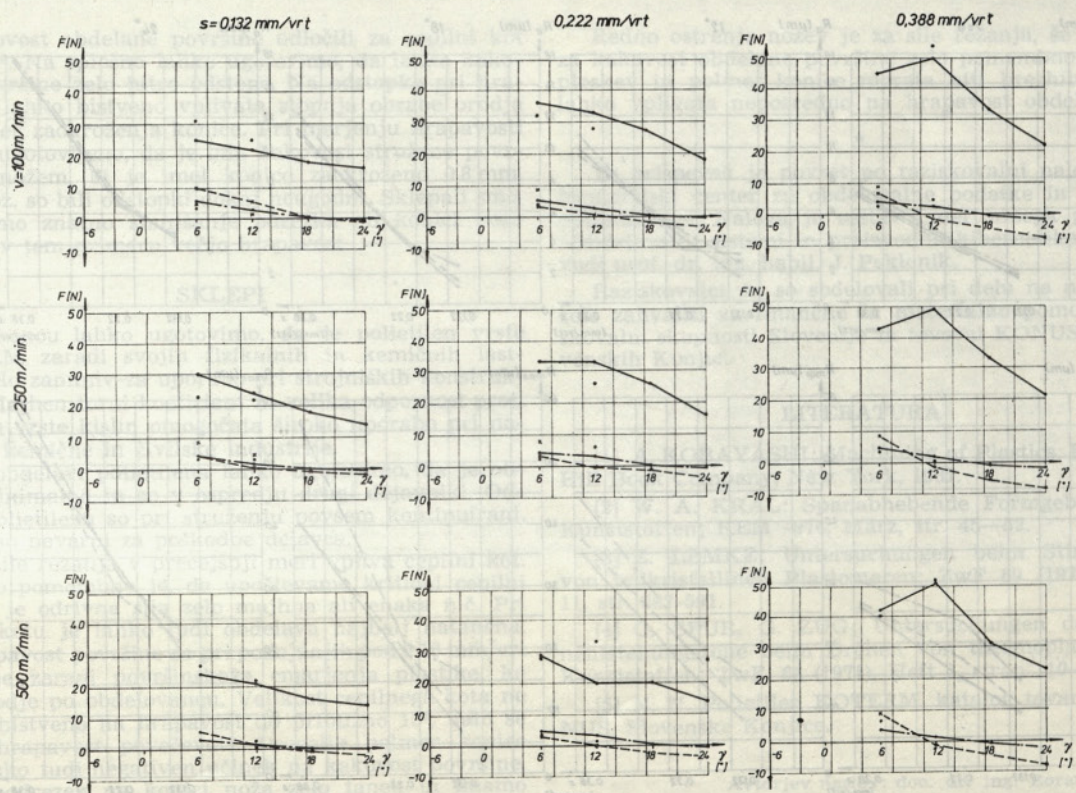
Hitrost rezanja ima majhen vpliv na rezalni odpor. Sila rezanja se pri povečavi hitrosti nekoliko zmanjša. Temperatura se na rezalnem robu poviša in s tem je zmanjšan rezalni odpor termoplasta.

Za preizkuse struženja polietilena smo uporabljali stružne nože iz hitroreznega jekla z naslednjo geometrijo (slika 4):



Sl. 4. Geometrija orodja pri struženju

- α — prosti kot
- γ — cepilni kot
- δ — nastavni kot

Sl. 5. Prikaz odvisnosti rezalnih sil F od podajanja s ($a = 2 \text{ mm}$, $r = 0,4 \text{ mm}$)Sl. 6. Prikaz odvisnosti rezalnih sil F od cepilnega kota γ ($a = 2 \text{ mm}$, $r = 0,4 \text{ mm}$)

prosti kot $\alpha = 6^\circ$
 cepilni kot $\gamma = 6^\circ, 12^\circ, 18^\circ, 24^\circ$
 nastavni kot $\kappa = 75^\circ$
 kot konice $\varepsilon = 90^\circ$
 nagibni kot $\lambda = 0^\circ$
 polmer konice $r = 0,4, 0,8 \text{ mm}$

Obdelovalni pogoji pri struženju so bili naslednji:

rezalna hitrost $v = 100, 250, 500 \text{ m/min}$
 podajalna hitrost $s = 0,132, 0,222, 0,388 \text{ mm/vrt}$
 globina rezanja $a = 0,5; 2; 4 \text{ mm}$

Med preizkusi hlajenje ni bilo uporabljeno.

Označbe za rezalne sile v diagramih so:

glavna rezalna sila F_s —————
 podajalna sila F_v - - - - -
 odzivna sila F_r

Rezultati preizkusov kažejo, da se glavna rezalna sila le polagoma povečuje v odvisnosti od prereza odrezka oz. v odvisnosti od podajalne hitrosti. Če bi ugotavljali razmerje med podajalno hitrostjo in specifično rezalno silo, bi lahko ugotovili, da se ta s povečanjem hitro zmanjšuje. Potek vseh treh komponent je prikazan na sliki 5. Podajalna in odzivna sila se z večanjem podajalne hitrosti manjša, tako da preide ta pri določenih okoliščinah v negativno vrednost.

Z večanjem cepilnega kota od 6° do 24° se glavna sila rezanja zmanjšuje do 30 ali celo do 40 %. Med 12° in 18° znaša odzivna sila okoli nič, nato pa začne nož pritegovati k obdelovancu. Iz tega lahko sklepamo, da je za obdelavo polietilena najugodnejši cepilni kot med

12° in 18° . Pri tej geometriji bo deformacija obdelovanca zaradi odzivne sile v radialni smeri najmanjša. Potek velikosti vseh treh komponent je prikazan na slikah 5 in 6.

Hitrost rezanja ne vpliva bistveno na rezalno silo. Malenkostne razlike, ki se pojavljajo pri merjenju, niso bistvene in jih imamo lahko zgolj za naključne. Sklenemo lahko, da hitrost rezanja pri struženju ne vpliva na rezalni odpor.

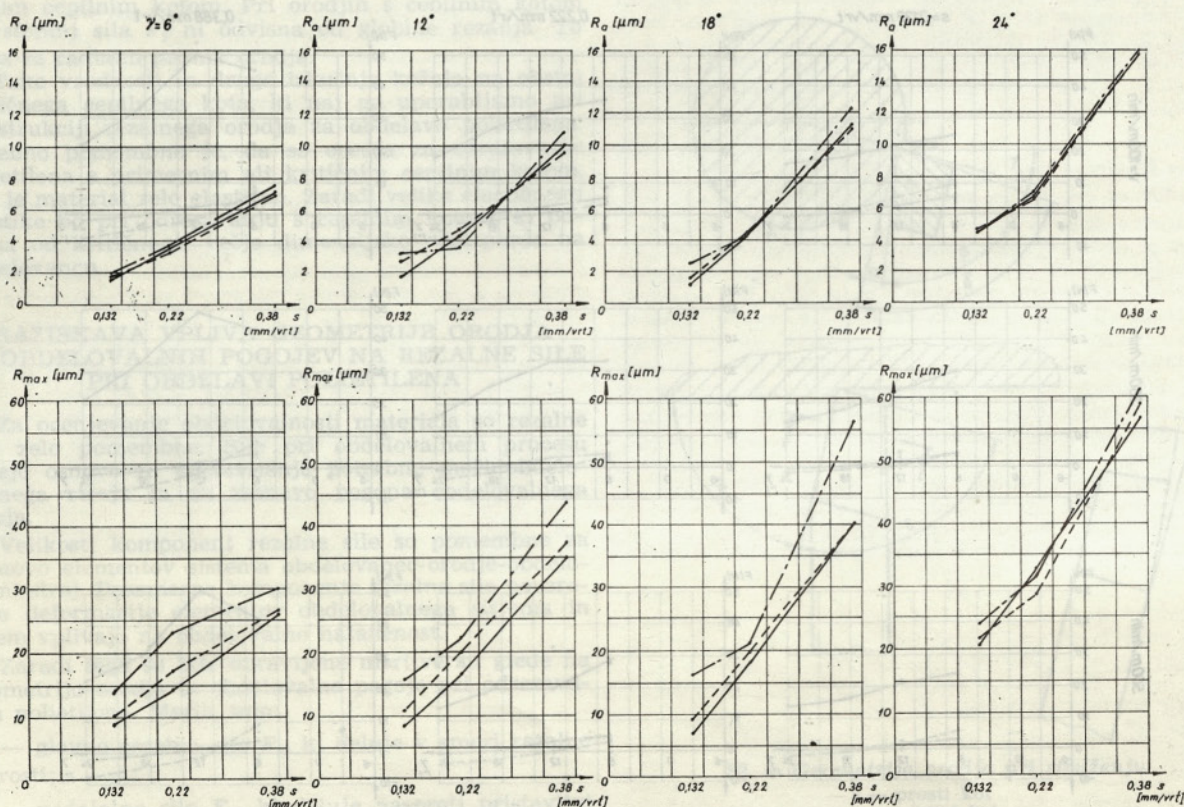
KAKOVOST OBDELANE POVRŠINE

Vsak obdelovanec je določen z obliko, izmerami in hrapavostjo površine. Glede na obdelovalne pogoje nas najbolj zanima hrapavost površine. Splošna določila so postavljena s standardom JUS o hrapavosti.

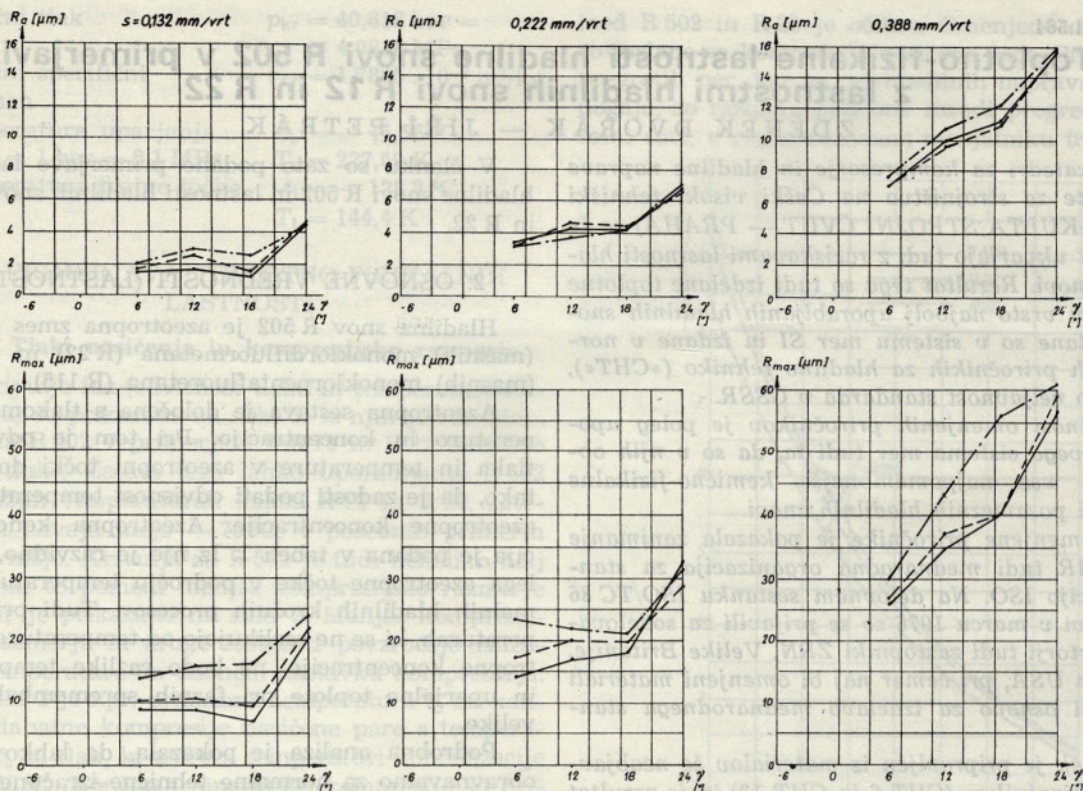
Profil površine je precej naključen. Pri struženih površinah imamo nekoliko poudarjen profil sledi noža. Poleg tega so še naključni odstopki od srednje vrednosti, ki so rezultat odrezovalnega procesa. Na ta del znatno vpliva gladkost rezalnega roba noža in struktura materiala, ki ga odrezujemo.

Pri naših preizkusih smo ugotovili, da se pri majhnih podajalnih hitrostih (pod $0,10 \text{ mm/vrt}$) poslabša kakovost obdelane površine. Zaradi trenja med orodjem in površino obdelovanca se le-ta lokalno pregreje do take mere, da je mehko plastična in se tudi zleplja. Iz tega izhaja večja hrapavost pri zelo majhnih podajalnih hitrostih. Zato smo izbrali podajalne hitrosti od $0,132$ do $0,388 \text{ mm/vrt}$.

S povečanjem podajalne hitrosti se hrapavost površine precej enakomerno povečuje, kar je razvidno iz diagramov na sliki 7 in 8. Podobno tudi narašča hrapavost površine v odvisnosti od cepilnega kota (sl. 8). Zaradi tega bi se pri določanju geometrije orodja glede



Sl. 7. Hrapavost obdelane površine R v odvisnosti od podajanja s ($a = 2 \text{ mm}$, $r = 0,4 \text{ mm}$)



Sl. 8. Hrapavost obdelane površine R v odvisnosti od cepilnega kota γ ($a = 2 \text{ mm}$, $r = 0,4 \text{ mm}$)

na kakovost obdelane površine odločili za cepilni kot okoli 12° . Na splošno lahko ugotovimo, da lahko kakovost površine zelo hitro odstopa. Na odstopke pri hrapavosti lahko bistveno vplivata stopnja obrabe orodja in polmer zaokroženja konice. Pri merjenju hrapavosti je bilo ugotovljeno, da je bila kakovost stružene površine z nožem, ki je imel konico zaokroženo $0,8 \text{ mm}$, slabša oz. so bili odstopki dokaj neugodni. Sklepali smo, da imamo znatno stanjšanje odrezka ob konici noža in zato v tem primeru večjo hrapavost.

SKLEPI

Na koncu lahko ugotovimo, da je polietilen vrste KOTERM zaradi svojih fizikalnih in kemičnih lastnosti zelo zanimiv za uporabo pri strojniških konstrukcijah. Majhen torni koeficient in velika odpornost proti vplivom vrste kislin omogočata široko uporabo pri napravah kemične in živilske industrije.

Pri obdelavi polietilena lahko ugotovimo, da je obraba minimalna in so v ospredju drugi dejavniki. Odrezki polietilena so pri struženju povsem kontinuirani, toda niso nevarni za poškodbe delavca.

Na sile rezanja v precejšnji meri vpliva cepilni kot. Posebno pomembno je, da upoštevamo kritični cepilni kot, ko je odzivna sila zelo majhna ali enaka nič. Pri takem kotu je lahko tudi obdelava najbolj natančna.

Hrapavost površine se pri podajanjih pod $0,10 \text{ mm/vrt}$ povečuje zaradi površinskega cmarjenja plastike, ko drsi orodje po obdelovancu. Velikost cepilnega kota ne vpliva bistveno na hrapavost do približno 15° , nato se začne hrapavost povečevati. Prevelik polmer konice ima lahko tudi negativen učinek na kakovost površine, ker je odrezek na konici noža zelo tanek in imamo enak pojav trenja orodja po površini obdelovanca, kakor pri majhnem podajanju.

Redno ostrenje nožev je za sile rezanja, še bolj pa za kakovost obdelane površine zelo pomembno. Prosta ploskev in polmer konice morata biti brezhibna, ker lahko vplivata neposredno na hrapavost obdelovanca.

*

Ta prispevek je povzet po raziskovalni nalogi »Informacijski center za obdelovalne podatke in njihovo optimiranje«. Naloga je sestavni del širšega projekta »Obdelovalni sistemi in proizvodna kibernetika«, ki ga vodi prof. dr. ing. habil. J. Peklenik.

Raziskovalci, ki so sodelovali pri delu na nalogi se že zahvaliti za finančno in materialno pomoč Raziskovalni skupnosti Slovenije in tovarni KONUS iz Slovenskih Konjic.

LITERATURA

- [1] A. KOBAYASHI: Machining of Plastics, McGraw Hill Book Company, New York, 1967.
- [2] W. A. KRAL: Spanabhebende Formgebung bei Kunststoffen; KEM -974, März, str. 45—52.
- [3] E. LEMKE: Untersuchungen beim Stirnfräsen von teilkristallinen Plastomeren; ZwF 69 (1972), Heft 11, str. 587-591.
- [4] G. SPUR, G. ZUG: Untersuchungen der Spanentstehungszone beim Drehen von thermoplastischen Kunststoffen; ZwF, 66 (1971), Heft 3, stran 110—114.
- [5] N. N. Polietilen KOTERM, katalog tovarne KONUS, Slovenske Konjice.

Avtorjev naslov: doc. dr. ing. Zoran Seljak,
Fakulteta za strojništvo,
Univerze v Ljubljani