

UDK 621.91.01:621.9.025.7:539.53

Proces obrabe pri rezalnih ploščicah iz karbidnih trdin

POLDE LESKOVAR — JANEZ GRUM

1. UVOD

Hiter razvoj obdelovalnih strojev v zadnjih desetletjih je narekoval tudi pospešen razvoj materialov za orodja. Posebno široko področje tehnologije predelave pomeni tehnologija oblikovanja z odrezavanjem, ki je še posebej močno odvisna od kakovostnih materialov za orodja. Glede na osnovni material lahko razvrstimo materiale za rezalna orodja v štiri glavne skupine:

— Prvo in najstarejšo skupino sestavljajo materiali za orodja na osnovi železa. V to skupino štejemo ogljikova in hitrorezna jekla, ki so se jim pridružila v zadnji dobi še posebna sintrana hitrorezna jekla in hitrorezna jekla s poznejšo površinsko obdelavo. Pri sintranih hitroreznih jeklih dobimo finostrnato strukturo z enakomerno porazdelitvijo karbidov, kar povzroča enakomerno trdoto po prerezu orodja in večjo žilavost. Taka jekla so tudi manj občutljiva za napake pri toplotni obdelavi. Zaradi tega se sintranim hitroreznim jeklom povečajo tudi rezalne sposobnosti.

Nekateri proizvajalci izboljšujejo kakovost hitroreznih jekel tudi s povečano količino ogljika in legirnih elementov (W, Mo, V in Co). S tem povečajo delež karbidov, ki povečujejo odpornost proti obrabi.

— V drugo skupino prištevamo karbidne trdine. To so lite in sintrane karbidne trdine, ki imajo lahko še dodatno ojačan rezalni rob s plastjo kovinskih karbidov, nitridov, boridov ali celo večkristalnih diamantov.

Konvencionalne karbidne trdine so razvrščene po ISO v tri skupine: P, K in M s precej različnimi mehanskimi lastnostmi. To so: trdota, odpornost proti obrabi, žilavost, temperaturna obstojnost ipd. Karbidne trdine na osnovi volframovega karbida z dodatki titanovega in tantalovega karbida popolnoma izboljšujejo žilavost in odpornost proti obrabi pri zvišanih temperaturah.

Karbidne trdine na osnovi čistega titanovega karbida z vezivom Ni in Mo se odlikujejo predvsem s povečano trdoto in obstojnostjo proti obrabi ter preprečujejo nastajanje nalepka na rezalnem robu. Uporabljamo jih predvsem za obdelavo malo

in srednje legiranih konstrukcijskih jekel. Pri obdelavi močno legiranih jekel pa zelo narašča adhezivna obraba.

Največji napredek v tej skupini pomenijo prav gotovo karbidne trdine z ojačanim rezalnim robom, ki ima poleg večje trdote še boljše temperaturno obstojnost, večjo odpornost proti obrabi, manjši koeficient trenja in s tem tudi manjšo možnost za tvorbo nalepkov.

— V tretji skupini je keramika. Iz te skupine poznamo oksidno, kovinsko ali mešano keramiko. Oksidna keramika je sestavljena predvsem iz čistega Al_2O_3 (99 %) z dodatkom magnezijevega in kromovega oksida. Dodatki omogočajo predvsem zadrževanje finostrnate strukture med procesom sintranja. Kovinska keramika pa vsebuje le okrog 60 % Al_2O_3 , preostalo so karbidi volframa, molibdena in titana (WC, MoC in TiC). Osnovni in bistveni prednosti keramike v primerjavi s karbidnimi trdinami sta večja trdota in večja odpornost proti obrabi.

V zadnjem času gre razvoj v smeri zmanjšanja velikosti kristalnih zrn pri kovinski keramiki. Taka orodja uporabljamo potem za obdelavo vseh konstrukcijskih jekel, sive litine, trde litine, težje neželezne zlitine in nekovine.

— Četrta skupina obsega ogljik. To sta predvsem naravni in umetni diamant, ki so se jima pridružila v novejši dobi še posebna večkristalna diamantna rezila in kubični borov nitrid.

Večkristalen sintetičen diamant daje izenačene mehanske lastnosti po celotni prostornini in večjo žilavost od naravnega diamanta. Zaradi tega ga lahko uporabljamo za grobo pa tudi za fino obdelavo.

Kubični borov nitrid pridobivamo na podoben način kakor umetni diamant, odlikujeta pa ga velika trdota in temperaturna obstojnost celo do temperature 1300 °C. Obe dobri lastnosti pa omogočata uspešnejšo obdelavo jekla, sive litine in drugih težko obdelovalnih materialov. Kemijsko ne reagira, kar preprečuje nastajanje nalepkov in s tem spremembo geometrije rezalnega roba. To pa je vzrok tudi za konstantne odpore pri rezanju ob zelo dobri kakovosti in natančnosti obdelave [1, 2].

Večino rezalnega orodja, ki ga uporabljamo na sedanji stopnji razvoja pri odrezavanju kovin, pomenijo še vedno rezalne ploščice iz sintranih karbidnih trdin. To potrjuje tudi statistična analiza o uporabnosti rezalnih materialov glede na odrezano prostornino materiala. S karbidnimi trdinami pokrivamo okrog 68 %, s hitroreznim jeklom 28 % in preostalimi materiali 4 % vseh potreb.

Za ocenjevanje kakovosti rezalnega orodja uporabljamo predvsem dva splošna pojma — odpornost proti obrabi in žilavost. Za nobenega od obeh pa ne poznamo natančno določene definicije. Odpornost proti obrabi je pojem, ki je pomemben za obrabo, medtem ko ima žilavost rezalnega roba velik pomen, posebno kadar deluje v težkih razmerah rezanja.

Na rezalni rob vplivajo med rezanjem sile rezanja, temperatura, kemični in električni vplivi ipd. Danes menimo da so najpomembnejše lastnosti rezalnega roba in s tem materiala, iz katerega je le-ta, trdota, natezna in tlačna trdnost, žilavost, odpornost proti obrabi in utrujanju ter toplotna prevodnost. Na te lastnosti pa lahko v znatni meri vplivajo še sestava materiala, njegova struktura, geometrija rezalnega orodja, razdelitev napetosti na rezalnem robu ipd., torej vrsta vplivov, ki jih je treba spoznati in vrednotiti njihove vplive [3].

2. POMEN RAZISKAV OBRABE

V obdelovalnem procesu je najpomembnejši podatek velikost rezalnih sil. Le-te se pojavljajo zaradi rezalnih pogojev, kontaktnega trenja med orodjem in obdelovancem in elasto-plastične deformacije v rezalni coni. Zaradi tega se pojavlja toplota, ki vpliva v največji meri na orodje. Vpliv toplote na odrezek je znatno manjši, še manjši pa na obdelovanec. Kakor je bilo že rečeno, imamo danes na voljo vrsto materialov, ki jih uporabljamo za rezalna orodja. Vsak od omenjenih materialov ima drugačno temperaturno trdoto, ki se v določenem temperaturnem območju močno zmanjša. S tem pa se zmanjša tudi rezalna sposobnost materiala. Za razmere na rezalnem robu so pomembne tudi napetostne razmere, ki so zaradi močnih temperaturnih sprememb izrazite predvsem pri orodjih iz karbidnih trdin. Pri višjih temperaturah lahko te napetosti narastejo do tolikšne mere, da povzročajo na površini orodja fine razpoke. Ta pojav je izrazit predvsem na cepilni ploskvi, ki se še stopnjuje zaradi dinamičnega delovanja rezalnih sil.

Iz znanih študij o toplotnih razmerah lahko ugotovimo, da se ne pojavijo najvišje temperature na rezalni konici, temveč so nekoliko odmaknjene v smeri cepilne ploskve. Enako pomembni pa so izredno zapleteni fizikalno kemični procesi, ki potekajo med praktično popolnoma čistimi kontaktnimi površinami orodja in obdelovanca.

V našem primeru smo dosegli pri grobi obdelavi obrabo na prosti ploskvi $VB = 0,4 \dots 0,6$ mm in dobili tudi na cepilni ploskvi bolj ali manj izrazito kotanjasto obrabo. Pri karbidnih trdinah je zelo pomembna tudi obraba zaradi difuzije. Temperatura, ki se pojavlja pri rezanju, še ne povzroča prevelikega zmanjšanja trdote karbidov. Pojavljajo pa se difuzijski procesi med obdelovancem, orodjem in odrezkom, ki povzročajo v končni fazi razpad volframovega karbida. Pri karbidnih trdinah, ki vsebujejo poleg volframa še titan in tantal, potekajo difuzijski procesi znatno počasneje. Difuzijski produkti so za obrabo neugodni, saj imajo nižje tališče od karbidne trdine [4]. Zaradi tega se zmehčajo in nastajajoči odrezek povzroča pri rezanju kotanjasto obrabo. Poleg tega pa se pojavljajo pri razmeroma visokih delovnih temperaturah zaradi kisika iz okolice kompleksni oksidi volframa, kobalta in železa. Zaradi večje prostornine nastajajočih oksidov pride do nabrekovanja površinskih predelov orodja in s tem tudi do luščenja. Oksidacijski proces se začne pri temperaturah od 700 do 800 °C in je posebno izrazit pri karbidnih trdinah na osnovi volframovega karbida, manj pa pri karbidnih trdinah, v katerih so tudi titanovi, tantalovi in drugi karbidi. Mehanski in fizikalno-kemični vplivi povzročajo namreč obrabo na površinah rezalnih orodij. Glede na mesto, kjer se pojavlja obraba, razlikujemo obrabo na prosti ploskvi in obrabo na cepilni ploskvi. Na prosti ploskvi se pojavlja obraba, ki jo ocenimo tako, da ugotovimo integrirano povprečno širino obrabnega pasu. Čeravno je tako ocenjevanje precej subjektivno, je za hitro oceno zadovoljivo. Zaradi obrabe na prosti ploskvi se premakne rezalni rob orodja nazaj. Iz tega izhaja, da obraba ploskve ni geometrično pravilna in nima jasno določene spodnje meje. Spodnji rob na prosti ploskvi je nazobčan, pogosto pa se pojavljajo na njem tudi globlje in daljše zareze. Izrazita zareza se najpogosteje pojavlja še celo zunaj rezalnega področja. Širina obrabe na prosti ploskvi VB pogostokrat rabi za kriterij stanja rezalnega orodja; pove pa, kdaj je treba orodje naostriti ali zamenjati. Na podlagi opazovanj je bilo dogovorjeno, da je orodje iz karbidne trdine ali hitroreznega jekla dovolj izrabljeno takrat, ko je dosegla širina obrabljenega pasu $VB = 0,4 \dots 0,5$ mm. Obraba na cepilni ploskvi ima lahko različne oblike; je lahko kotanjasta, ravna in v obliki zaokrožitve rezalnega roba. Obraba orodja vpliva tako na mikrogeometrijo obdelovanca kakor tudi na nastanek samega odrezka.

Mnogi avtorji v zadnjem času ne uporabljajo več osnovnih raziskovalnih postopkov za opis obdelovalnih procesov temveč raziskujejo v smeri splošnega opazovanja pojavov med orodjem, odrezkom in obdelovancem. Obnašanje tehničnih površin, ki opravljajo določene funkcije, so odvisne

v veliki meri od kakovosti površine. Kakovost površine zajema makro- in mikrogeometrijo ter fizikalno kemične spremembe, ki so vezane predvsem na vrsto obdelovalnega procesa. Številne spremembe na površinah in tik pod površino obdelovanca so posledica skupnega delovanja posameznih dejavnikov, ki sodelujejo v obdelovalnem procesu. Predstavljamo jih z integriteto površine. Izkušnje kažejo, da nastane kljub naglemu napredku obdelovalne tehnologije na obdelovancih mnogo okvar, ki močno vplivajo na njihove obratovalne dobe.

Vzroke za te napake lahko iščemo le v fizikalno-kemičnih spremembah mejnih plasti tehničnih površin, iz katerih izhajajo posledice obdelave. Temu so v veliki meri prispevala sredstva za natančno analitično obdelavo posameznih razultirajočih pojavov v obdelovalnem procesu. Za ugotavljanje takih fizikalno-kemičnih sprememb uporabljamo rasterski elektronski mikroskop, elektronsko mikrosondo, analizatorje na osnovi rentgenskih žarkov ipd., za ugotavljanje mikrogeometrijskih sprememb na obdelovancu pa merilnike hrapavosti s prigrinjeno računalniško enoto.

3. EKSPERIMENTALNA ZASNOVA

Namen naloge je bil, raziskati razmere na rezalnem robu pri obdelavi jekla ATJ 100 Pb in različnih razmerah pri rezanju. To jeklo je primerno za delo na avtomatih, kjer se od njega zahtevajo določene posebne lastnosti, ki jih dajeta predvsem žveplo in svinec. Tabela 1 prinaša najpomembnejše podatke za jeklo ATJ 100 Pb.

Pri raziskavah smo izbrali naslednje pogoje obdelave:

hitrost rezanja $v_1 = 250$ m/min

$v_2 = 375$ m/min

$v_3 = 500$ m/min

podajanje $s_1 = 0,132$ mm/vrt

$s_2 = 0,222$ mm/vrt

globina rezanja $a = 2$ mm

Pri raziskavah smo uporabljali standardne ploščice iz sintranih karbidnih trdin z označbo P 10 in štirimi rezalnimi robovi. Po priporočilih ISO uporabljamo te ploščice za obdelavo jekla pri velikih hitrostih in manjših podajanjih. Karbidne trdine z označbo P vsebujejo poleg volframa, kobalta in ogljika še titan in tantal.

Geometrija orodja je bila:

prosti kot $\alpha = 6^\circ$

cepilni kot $\gamma = 0^\circ$

kot nagiba $\lambda = 6^\circ$

nastavni kot $\kappa = 75^\circ$

kot konice $\varepsilon = 90^\circ$

radij zaokrožitve $r = 0,8$ mm

Merilni stavek za merjenje kriterijev obdelovalnosti je bil sestavljen iz naslednjih elementov:

— tahometra za uravnavanje hitrosti rezanja na hitrotekoči stružnici z brezstopenjsko regulacijo vrtilne hitrosti;

— merilnika časa, ki je rabil za opazovanje obratovalne dobe oziroma dobe do določene stopnje obrabe;

— optičnega merilnega mikroskopa z merilno mizico in z dvema mikrometrskima vijakoma za natančno nastavljanje in merjenje obrabe na prosti ploskvi ter opazovanje kotanje in nalepkov na cepilni ploskvi rezalne ploščice;

— piezoelektričnega trokomponentnega dinamometra z ojačevalnikom, digitalnimi voltmetri in pisalnikom za opazovanje spreminjanja glavne, podajalne in odzivne sile;

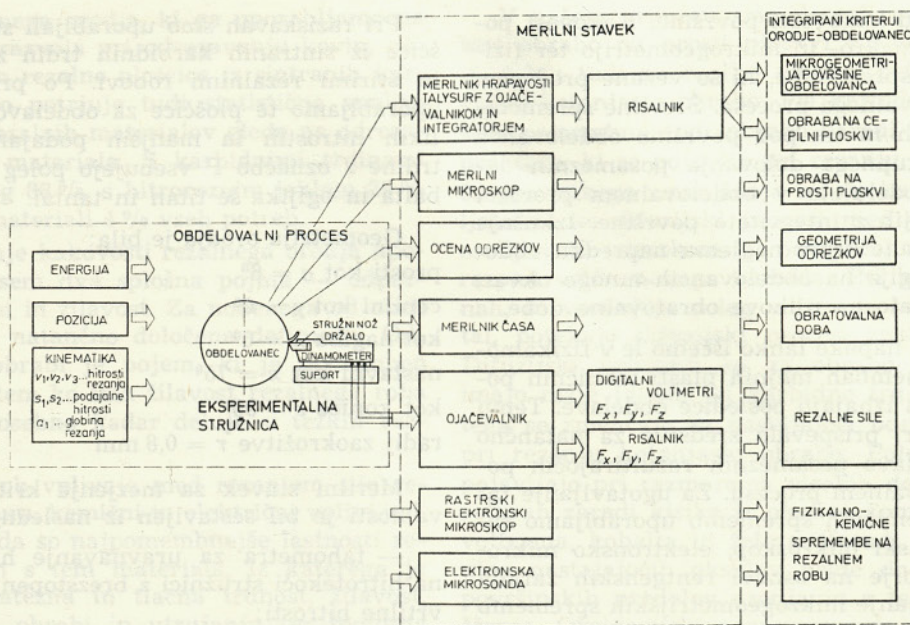
— merilnika hrapavosti Talysurf 4 za merjenje hrapavosti obdelovanca in kotanjaste obrabe rezalne ploščice na cepilni ploskvi (za natančno pozicioniranje rezalnega robu je bila namenjena koordinatna mizica z nivelirnim podstavkom);

— rastrskega elektronskega mikroskopa za proučevanje kotanjaste obrabe oziroma najrazličnejših fizikalnih sprememb na rezalnem robu;

— elektronskega mikroanalizatorja — mikrosonde za kakovostno in količinsko analizo nanosenih slojev na površini kotanje na cepilni ploskvi.

Tabela 1

Označba	Kemijska sestava						Mehanske lastnosti			
	C %	Mn %	Si %	S %	P %	Pb %	$\sigma_{0,2}$ N/mm ²	σ_M N/mm ²	δ_5 %	HB
ATJ 100 Pb	0,08	0,8		0,26			320	470		
	do	do	0,05	do	0,02	0,15	do	do	8	275
	0,14	0,1		0,32			380	770		

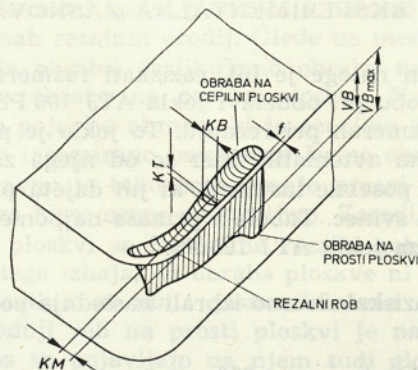


Sl. 1. Shema merilnega stavka za opazovanje procesov med orodjem — odrezkom — obdelovancem

Tako smo lahko sproti opazovali:

- spremembo rezalnih sil pri 6 pogojih rezanja;
- spreminjanje mikrogeometrije obdelovanca z naraščajočo obrabo rezalnega robu;
- časovno spreminjanje obrabe na prosti ploskvi rezalne ploščice;
- časovno spreminjanje in nastajanje kotanja ste obrabe na cepilni ploskvi rezalne ploščice.

Slika 1 prikazuje merilni stavek za opazovanje procesov, ki potekajo pri rezanju med orodjem — obdelovancem in odrezkom.



Sl. 2. Značilne veličine obrabe na rezalnem robu

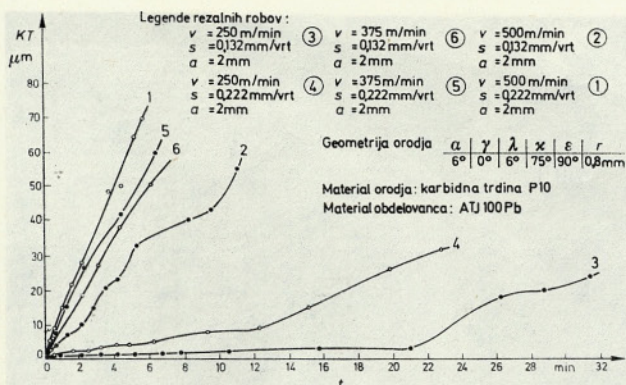
4. EKSPERIMENTALNI REZULTATI IN ANALIZA

4.1. Značilne veličine obrabe

Slika 2 prikazuje značilne veličine, ki opisujejo obrabo rezalnega robu na prosti in cepilni ploskvi. Znano je, da se pojavlja kotanjasta obraba na cepilni ploskvi v oddaljenosti f od rezalnega robu. Medtem ko narašča obraba, se približuje kotanja rezalnemu robu. To pomeni, da se zmanjšuje vrednost f in se povečuje širina kotanje KB in njena globina KT . Sredina kotanje je odmaknjena od rezalnega robu za vrednost KM in je prav na mestu, kjer se pojavljajo najvišje temperature. Ko se rob kotanje približa rezalnemu robu, se navadno orodje iz karbidne trdine poruši.

Zanimivo je tudi spreminjanje oddaljenosti najgloblje točke kotanje na posameznem rezalnem robu. Iz raziskav lahko ugotovimo, da je pri večjih podajanjih večja tudi oddaljenost kotanje od rezalnega robu. Hitrost rezanja ima na mikrogeometrijske spremembe orodja le majhen vpliv. Iz časovnih opazovanj kotanjaste obrabe lahko ugotovimo, da vrednost KM v začetku narašča hitro, pozneje pa le komaj zaznavno. Največjo oddaljenost kotanje od rezalnega robu smo dobili pri rezalni hitrosti $v_1 = 250$ m/min in pri podajanju $s_2 = 0,222$ mm/vrt.

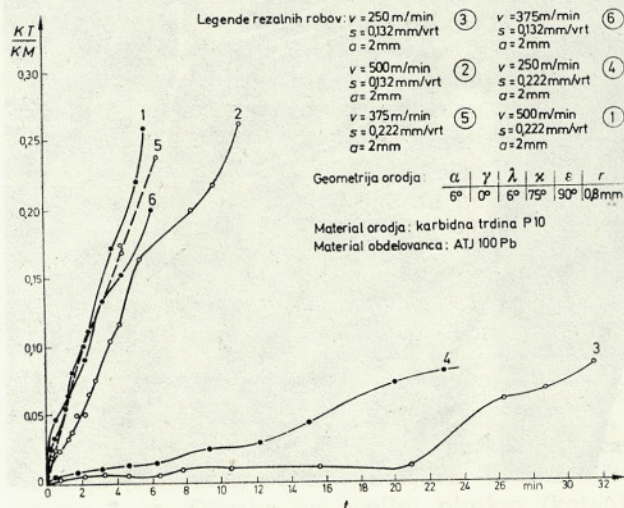
Slika 3 prikazuje časovno spreminjanje globine kotanje pri različnih rezalnih razmerah. Iz diagrama lahko razberemo, da globina kotanje pri hitrosti 250 m/min narašča izredno počasi, medtem ko je časovni potek strmejši pri hitrostih 375 m/min in 500 m/min. Na globino kotanje vpliva v največji meri hitrost rezanja, manj pa podajanje.



Sl. 3. Spreminjanje globine kotanje v odvisnosti od časa rezanja

Razmerje $KT:KM$ je značilno za spremembo globine kotanje nasproti spreminjanju oddaljenosti najgloblje točke kotanjaste obrabe na rezalnem robu. To razmerje je prikazano v odvisnosti od časa t na sliki 4. Potek odvisnosti je podoben kakor na sliki 3, torej pri majhnih hitrostih rezanja je potek krivulje zelo položen, pri večjih pa razmerje narašča bolj strmo.

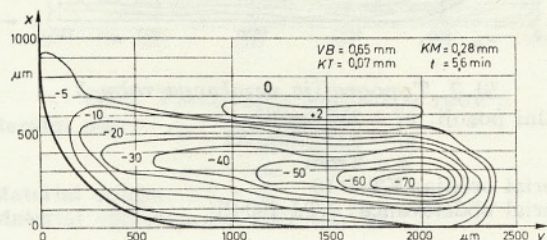
Prav tako lahko ugotovimo, da dobimo pri večjih podajanjih v enakem času in pri enakih hitrostih rezanja večje globine kotanje. Enako je tudi pri opazovanju značilnega razmerja kotanje $KT:KM$ — globina kotanje proti oddaljenosti najgloblje točke od rezalnega roba. To pomeni, da je med njima podoben faktor povečave, kar potrjujejo tudi krivulje na slikah 3 in 4.



Sl. 4. Značilno razmerje kotanje v odvisnosti od časa rezanja

4.2. Topografija obrabe na cepilni ploskvi

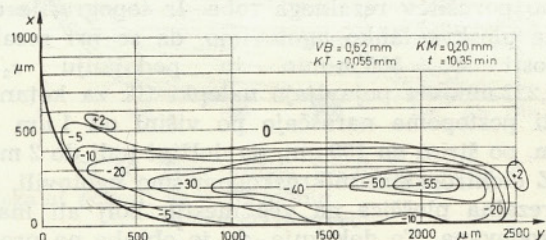
Iz posameznih posnetkov prereзов rezalnega roba smo sestavili topografske posnetke obrabe na cepilnih ploskvah za vse rezalne robove. Slike 5, 6 in 7 prikazujejo tri značilne posnetke za rezalne robove 1, 2 in 4.



Sl. 5. Topografija rezalnega roba 1

Rezalni pogoji: $v_3 = 500$ m/min
 $s_2 = 0,222$ mm/vrt
 $a = 2$ mm

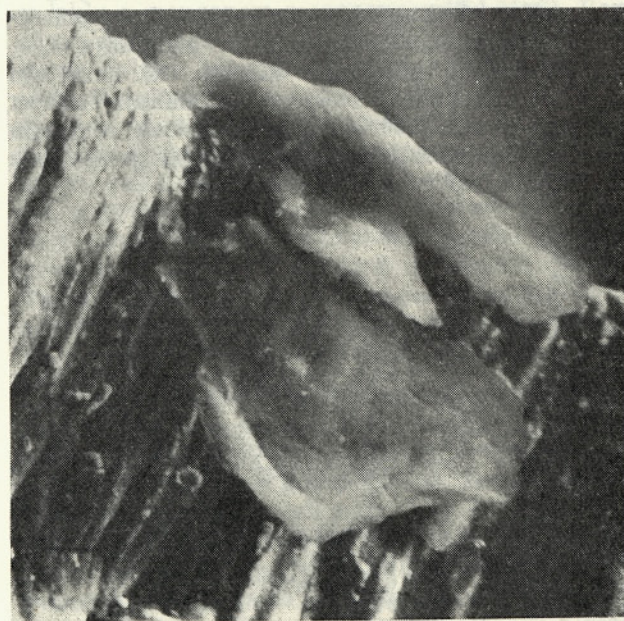
Material orodja: KT P 10
 Material obdelovanca: ATJ 100 Pb



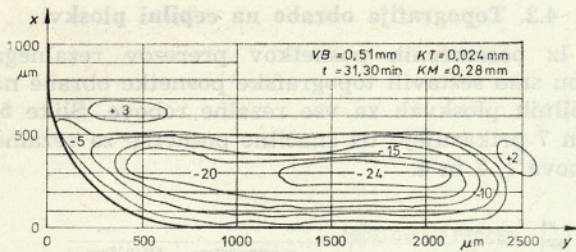
Sl. 6 a. Topografija rezalnega roba 2

Rezalni pogoji: $v_3 = 500$ m/min
 $s_1 = 0,132$ mm/vrt
 $a = 2$ mm

Material orodja: KT P 10
 Material obdelovanca: ATJ 100 Pb



Sl. 6 b. Detajl na rezalnem robu 2 (1000 : 1)



Sl. 7. Topografija rezalnega robu 3

Rezalni pogoji: $v_1 = 250$ m/min
 $s_1 = 0,132$ mm/vrt
 $a = 2$ mm

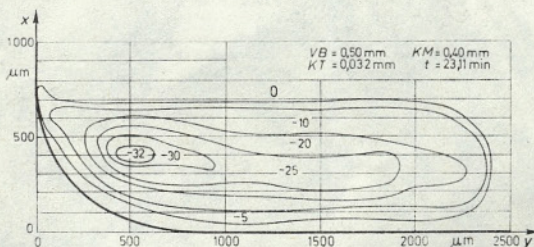
Material orodja: KT P 10

Material obdelovanca: ATJ 100 Pb

Rezalni rob 1: Najglobljo kotanjo $70 \mu\text{m}$ smo dosegli po 5,6 minutah rezanja pri obrabi na prosti ploskvi $VB = 0,65$ mm (sl. 5). S tem rezalnim robom smo prenehali rezati tik pred porušitvijo, saj smo že z navadnim optičnim mikroskopom opazili delno porušitev rezalnega roba. Iz topografije cepilne ploskve lahko ugotovimo, da se pri rezalni hitrosti $v_s = 500$ m/min in podajanju $s_2 = 0,222$ mm/vrt pojavljajo nalepki tik za kotanjo. Le-ti postopoma naraščajo po višini od $1 \mu\text{m}$ do $3 \mu\text{m}$, po širini do $100 \mu\text{m}$, na dolžini tudi do 2 mm.

Z elektronskim mikroskopom smo ugotovili, da je rezalna ploščica na več mestih bolj ali manj poškodovana. To dokazuje, da je obraba na prosti ploskvi $VB = 0,4 \dots 0,6$ mm pri grobi obdelavi res kritična stopnja, pri kateri prihaja do delnih lomov rezalnega roba.

Rezalni rob 2: Najglobljo kotanjo $55 \mu\text{m}$ smo dosegli po 10,35 minutah struženja pri obrabi na prosti ploskvi $VB = 0,62$ mm (sl. 6 a). Iz topografije cepilne ploskve lahko razberemo, da se pri rezalni hitrosti $v_s = 500$ m/min in podajanju $s_1 = 0,132$ mm/vrt pojavljajo nalepki, ki naraščajo v vse tri smeri vse do časa $t = 7,82$ minut. Velikost nalepka je bila 100 % večja kakor na rezalnem robu 1. Pri nadaljnjem struženju se je kotanja razširila, nalepki pa so izginili.

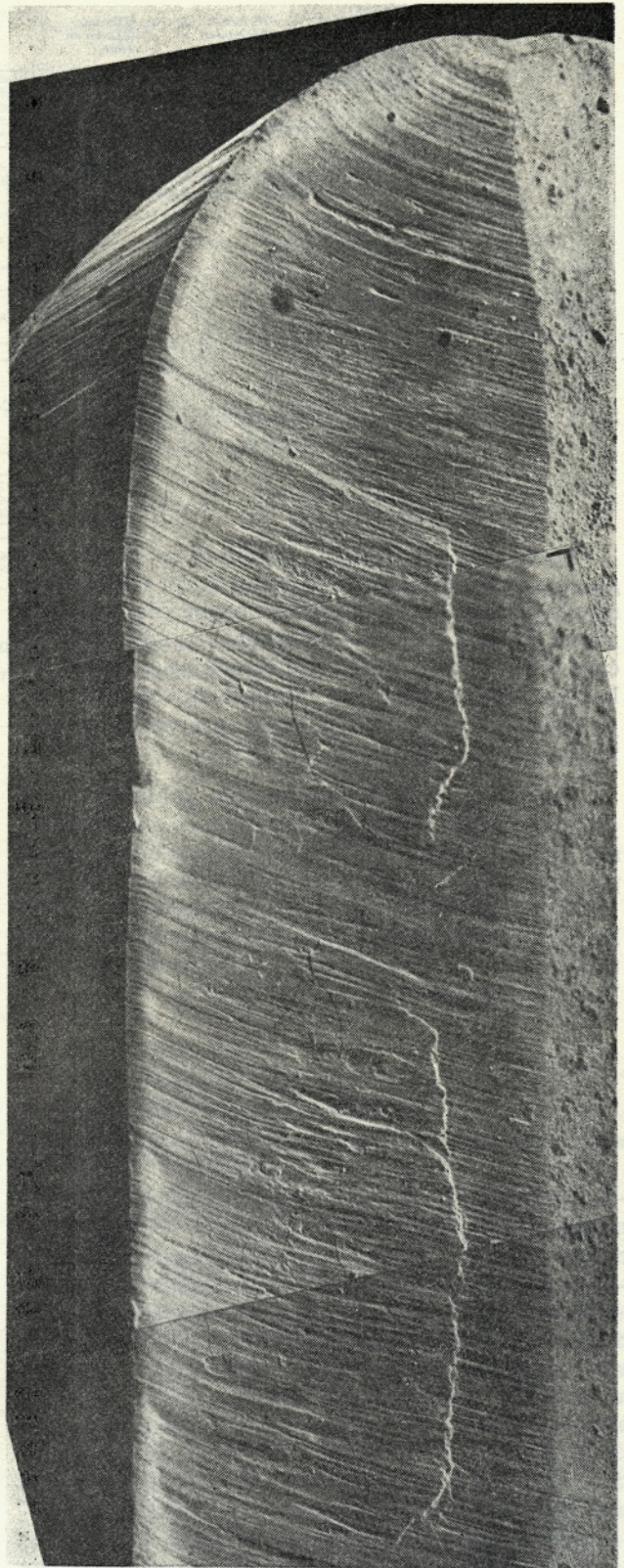


Sl. 8 a. Topografija rezalnega robu 4

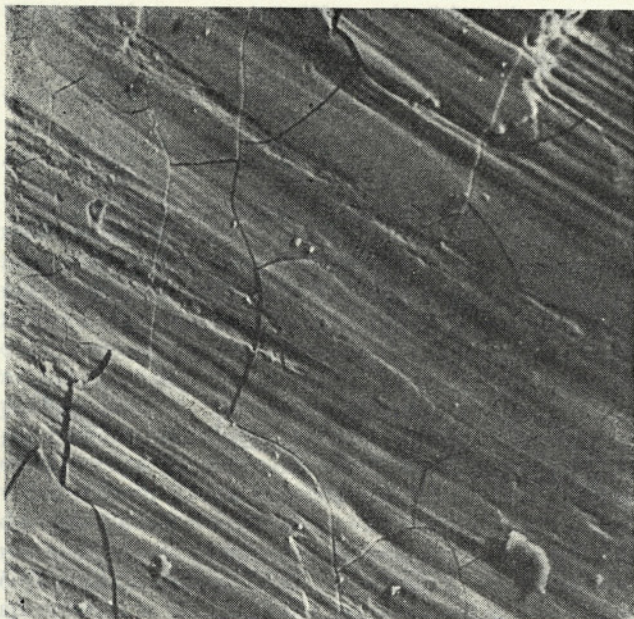
Rezalni pogoji: $v_1 = 250$ m/min
 $s_2 = 0,222$ mm/vrt
 $a = 2$ mm

Material orodja: KT P 10

Material obdelovanca: ATJ 100 Pb



Sl. 8 b. Posnetek kotanjaste obrabe rezalnega robu 4 na rastrskem elektronskem mikroskopu (100 : 1)



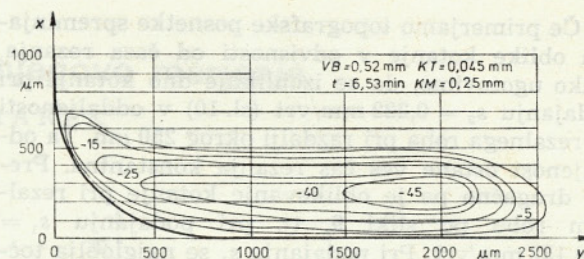
Sl. 8 c. Detajl na rezalnem robu 4 z vidnimi mrežastimi razpokami (300 : 1)

Pri rezalnem robu 2 je prišlo tudi do krušenja. To se je pojavilo zaradi zmanjševanja razdalje KM , to je razdalje kotanje do rezalnega roba. Tudi v tem primeru smo dosegli na prosti ploskvi zgornjo mejo obrabe. Zaradi tega so se prav tako pojavile lokalne poškodbe na rezalnem robu. Na sliki 6 b je prikazan detajl odkrušenega rezalnega roba.

Rezalni rob 3: Globino kotanje $24\ \mu\text{m}$ smo dosegli po 22,85 minutah struženja pri obrabi na prosti ploskvi $VB = 0,50\ \text{mm}$ (sl. 7). Po opazovanju topografskih posnetkov cepilne ploskve v nekaj časovnih intervalih lahko sklepamo, da se pri hitrosti rezanja $v_1 = 250\ \text{m/min}$ in podajanju $s_1 = 0,132\ \text{mm/vrt}$ pojavljajo vseskozi nalepki. Le-ti so največji takoj ob začetku struženja na ostrem rezalnem robu in se postopoma zmanjšujejo.

Na posnetku z elektronskim mikroskopom je razvidno, da je kotanja na rezalnem robu plitva, pri tem pa so se kljub temu še pojavili lokalni lomi, ki dajo slutiti o razmeroma veliki obrabi na prosti ploskvi.

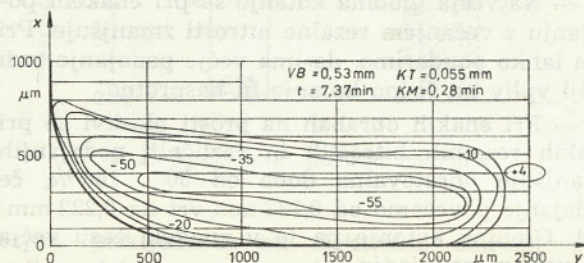
Rezalni rob 4: Globino kotanje $32\ \mu\text{m}$ smo dosegli po 23,11 minutah rezanja pri obrabi na prosti ploskvi $VB = 0,5\ \text{mm}$. Iz topografskega posnetka cepilne ploskve (sl. 8 a) lahko vidimo, da se pri rezalni hitrosti $v_1 = 250\ \text{m/min}$ in podajanju $s_2 = 0,222\ \text{mm/vrt}$ pojavi že po izredno kratkem času rezanja (0,47 min) obsežen nalepek, ki ima višino okrog $3\ \mu\text{m}$. Obraba na cepilni ploskvi (kotanja) postaja znatno širša medtem ko narašča globina veliko počasneje. Pri podrobnejši analizi smo opazili na dnu kotanjaste obrabe tudi mrežaste raz-



Sl. 9. Topografija rezalnega roba 5

Rezalni pogoji: $v_2 = 375\ \text{m/min}$
 $s_1 = 0,132\ \text{mm/vrt}$
 $a = 2\ \text{mm}$

Material orodja: KT P 10
 Material obdelovanca: ATJ 100 Pb



Sl. 10. Topografija rezalnega roba 6

Rezalni pogoji: $v_2 = 375\ \text{m/min}$
 $s_2 = 0,222\ \text{mm/vrt}$
 $a = 2\ \text{mm}$

Material orodja: KT P 10
 Material obdelovanca: ATJ 100 Pb

poke (sl. 8 b in 8 c). Oblika razpok spominja na značilne mrežaste razpoke (žveplo tvori namreč v jeklu z manganom manganov sulfid MnS). Razi-skave rezalnega roba oziroma kotanje so pokazale, da se na dnu kotanje nalepi MnS tudi v več plasteh. Rezultati mikroanalize kažejo, da je sestavljena ta plast pretežno iz MnS . MnS pa ima lahko različne vplive na rezalno orodje: je namreč krhek in rad poka, ima pa tudi mazalne sposobnosti. Razen tega ima slabo toplotno prevodnost, ki preprečuje odvod toplote z odrezkom in tako povzroča povečanje toplotnih napetosti na cepilni ploskvi. To pa seveda terja podrobno posebno raziskavo, ki naj da odgovor, katere lastnosti MnS na rezalnem robu vplivajo pozitivno oziroma negativno.

Rezalna robova 5 in 6: Obe kotanji sta nastali pri hitrosti rezanja $v_3 = 375\ \text{m/min}$ in pri podajanju $s_1 = 0,132\ \text{mm/vrt}$ oziroma $s_2 = 0,222\ \text{mm/vrt}$. Pri prvem manjšem podajanju (sl. 9) smo po 6,53 minutah rezanja dosegli najglobljo kotanje $45\ \mu\text{m}$ pri obrabi na prosti ploskvi $VB = 0,52\ \text{mm}$. Pri drugem, večjem podajanju (sl. 10) dosežemo po 7,37 minutah rezanja za $60\ \mu\text{m}$ širšo kotanje in največjo globino kotanje $55\ \mu\text{m}$ pri obrabi na prosti ploskvi $VB = 0,53\ \text{mm}$.

Če primerjamo topografske posnetke spreminjanja oblike kotanje v odvisnosti od časa rezanja, lahko ugotovimo, da se izoblikuje dno kotanje pri podajanju $s_2 = 0,222$ mm/vrt (sl. 10) v oddaljenosti od rezalnega roba pri razdalji okrog $250 \mu\text{m}$. Ta oddaljenost ostane ves čas rezanja konstantna. Precej drugačno pa je oblikovanje kotanje pri rezalnem robu po sliki 9, tj. pri podajanju $s_1 = 0,132$ mm/vrt. Pri podajanju s_1 se najgloblja točka kotanje (dno kotanje) odmika od rezalnega roba, tj. v času 0,5 min rezanja do 6,02 min se dno kotanje odmakne za razdaljo od 150 do $250 \mu\text{m}$.

Iz časovnega spreminjanja največje globine kotanje KT in oddaljenosti le-te od rezalnega roba lahko s primerjanjem topografskih posnetkov sklepamo:

— Največja globina kotanje se pri enakem podajanju z večanjem rezalne hitrosti zmanjšuje. Pri tem lahko poudarimo, da ima večje podajanje tudi večji vpliv na širino kotanje in nasprotno.

— Pri enakih obrabah na prosti ploskvi se pri enakih rezalnih hitrostih in različnih podajanjih zmanjšuje obratovalna doba od 50...100 %, če podajanje povečamo od 0,132 mm/vrt na 0,222 mm/vrt. Globina kotanje pa je v enakem času večja pri večjem podajanju.

4.3. Časovni potek obrabe na prosti ploskvi

Pri analizi procesa obrabe smo poleg topografije, ki se je nanašala na obrabo na cepilni ploskvi, opazovali tudi obrabo na prosti ploskvi VB .

Pri opazovanju obrabe na prosti ploskvi opazimo, da ta v začetni fazi rezanja močno narašča. Slika 11 prikazuje krivulje naraščanja obrabe VB na prosti ploskvi v odvisnosti od časa rezanja. Iz njih lahko razberemo vplivne hitrosti rezanja in podajanja na potek obrabe. Pri vseh krivuljah opazimo določeno sorodnost, tj. hitro naraščanje obrabe v prvi fazi rezanja, nato umirjanje — krivulje postanejo znatno položnejše — nato pa v končni fazi rezanja zopet močno naraščanje širine pasu obrabe VB , ki lahko pripelje do zloma rezalnega roba. Iz posameznih krivulj lahko sklepamo, da ima največji vpliv na obratovalno dobo orodja prav hitrost rezanja, saj je čas rezanja do enake obrabe VB pri hitrosti rezanja 250 m/min nekajkrat večji od časa rezanja pri hitrosti rezanja 500 m/min.

5. SKLEPI

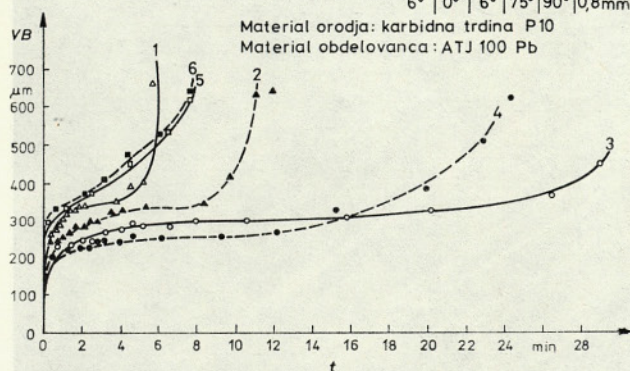
Iz raziskav lahko povzamemo naslednje:

— obraba na prosti ploskvi ne daje zadosti podatkov o procesu obrabe pri rezalnih orodjih;

Legende rezalnih robov: $v = 250$ m/min
 $s = 0,132$ mm/vrt
 $a = 2$ mm (3)
 $v = 375$ m/min
 $s = 0,132$ mm/vrt
 $a = 2$ mm (6)
 $v = 500$ m/min
 $s = 0,132$ mm/vrt
 $a = 2$ mm (2)
 $v = 250$ m/min
 $s = 0,222$ mm/vrt
 $a = 2$ mm (4)
 $v = 375$ m/min
 $s = 0,222$ mm/vrt
 $a = 2$ mm (5)
 $v = 500$ m/min
 $s = 0,222$ mm/vrt
 $a = 2$ mm (1)

Geometrija orodja: α γ λ κ ϵ r
 6° 0° 6° 75° 90° $0,8$ mm

Material orodja: karbidna trdina P10
 Material obdelovanca: ATJ 100 Pb



Sl. 11. Časovno spreminjanje obrabe na prosti ploskvi pri posameznih rezalnih robovih

Material orodja: KT P10

Material obdelovanca: ATJ 100 Pb

— oblika kotanjaste obrabe na cepilni ploskvi je močno odvisna od razmer pri rezanju, predvsem hitrosti in podajanja;

— pri določenih hitrostih rezanja se pojavljajo na cepilni ploskvi nalepki materiala, ki pa so odvisni tudi od velikosti podajanja;

— pri jeklih za avtomate, ki vsebujejo večje količine žvepla, se tvori manganov sulfid MnS , ki se nalepi na cepilno ploskev;

— vpliv MnS na cepilni ploskvi še ni pojasnjen v zadostni meri.

LITERATURA

[1] König, W.; Essel, K.: New Tool Materials — Wear Mechanism and Application. CIRP ANNALS 1975, Vol 24/1, p 1—5.

[2] Bellmann, B.; Sach, W.: Schneidstoffe-Entwicklungsstand und Anwendung, Werkstatt und Betrieb, Carl Hanser Verlag, München, 1975, Heft 5, Seite 257—271.

[3] Leskovar, P.: Materiali za rezalna orodja in razmere na rezalnem robu pri odrezavanju, Strojniški vestnik, Ljubljana 1976/11—12, stran 315—324.

[4] Trent, E. M.: Evaluation of Tool Materials for Metal Cutting, Engineers Digest, Vol. 38/2, p. 15—21.

Naslov avtorjev: prof. dr. ing. Polde Leskovar in
 doc. dr. ing. Janez Grum
 Fakulteta za strojništvo
 Ljubljana