

DK 621.9.011

Obdelovalnost materialov*

ZORAN SELJAK

Uvod

V tehniki odrezavanja so bili v zadnjih 60 letih storjeni izredni napor, da bi izboljšali produktivnost, kvaliteto in natančnost obdelave. Znanstveniki različnih dežel in raziskovalnih laboratorijev so skušali utemeljiti znanstvene metode za določanje kotov na orodju, rezalnih sil na orodju in najugodnejših hitrosti rezanja. Te vrednosti niso več le izkustvene vrednosti ali odvisne od delavčeve izkušnosti, ko nastavlja vrtilne hitrosti stroja in prišavlja stružni nož k brusilni plošči, pač pa so ugotovljene optimalne vrednosti in podane tabelarično v priročnikih.

Neugodno je pri ugotavljanju obdelovalnosti nekega materiala le, da ni kake medsebojne zveze med trdnostjo ali trdoto materiala in njegovo obdelovalnostjo. Zato je treba neogibno s poizkusi ugotavljati obdelovalnost posameznih materialov. Taki podatki so lahko potem dragoceni za tehnologa, ko določa oblike rezalnih orodij, podajanja in rezalne hitrosti.

Pred časom sta bila Ernst in Merchant (1, 2) trdno prepričana, da bosta z analizo tvorbe odrezka in razdelitve sil na rezalnem robu pomagala pri ugotavljanju trajnosti orodja. Na žalost njune hipoteze ne dajejo primernih rezultatov oz. se rezultati poizkusov ne ujemajo povsem s teoretičnimi predpostavkami. Poznejši avtorji (3, 4, 5, 6) so se postopoma približevali stvarnosti, ni pa še analiza geometrije med tvorbo odrezka pomagala pri ugotavljanju trajnosti orodja.

Dobra stran teh raziskav je v tem, da ugotovitve pomagajo razumeti mehanizem tvorbe odrezka. Z dobrim poznavanjem tvorbe odrezka pa nam je že v veliki meri pomagano pri nadaljnjih raziskavah problema odrezavanja.

Poglaviten in stalen je problem trajnosti orodja. Ta faktor neposredno vpliva na ekonomiko obdelave jekel in drugih materialov. Potek strižne ravnine in oblika odrezka nista tako važna, zato pa je tu posebno važen pojav nastavka in lepljenje materiala na rezalni rob. Kemične reakcije med orodjem in materialom obdelovanca lahko izredno vplivajo na obrabo rezalnega roba. Od temperature na cepilni ploskvi in od hitrosti rezanja je predvsem odvisna trajnost orodja (to naj bi bilo obdelano

v prihodnjem delu). Vibracije na orodju in obdelovalnem stroju imajo znaten vpliv na kvaliteto obdelave in trajnost — kolikšen je ta vpliv, bodo pokazale prihodnje raziskave.

Splošno o obdelovalnosti materialov

Beseda obdelovalnost ne pomeni nekega definiranega pojma, ki bi bil za vsakogar enako sprejemljiv. Za večino tehnologov je obdelovalnost kombinacija raznih karakteristik, npr.:

1. trajnost orodja v odvisnosti od hitrosti rezanja in fizikalnih lastnosti materialov orodja in obdelovanca;
2. kvaliteta obdelane površine in natančnost obdelave;
3. rezalne sile in delo, ki je potrebno za odrezavanje določene količine odrezkov;
4. stopnja proizvodnje in cena proizvodnje.

Vsak od aspektov, ki smo jih našli, pomeni pomembno okoliščino, ko razpravljamo o obdelovalnosti. Napravljenih je bilo nešteto poizkusov, da bi pripravili stalne vrednosti ali določili parametre, s katerimi bi lahko ugotavljali obdelovalnost posameznih materialov. Uporabljena naj bi bila samo ena od gornjih vrednosti, ki bi prikazovala obdelovalnost določenega materiala. Kolikor gornje vrednosti ne bi ustrezale, naj bi jih potem določali na primer z merjenjem temperature na rezalnem robu ali merjenjem sil na orodju. Vendar doslej ni uspelo določiti zakonitosti medsebojnih vplivov materialov orodja in obdelovanca pri obrabi orodja. Različni faktorji in njihove reakcije na obrabo, ki so včasih kumulativnega, včasih pa vzajemnega, vzporednega pomena (1, 2) preprečujejo izdelavo enotnih analiz in uporabo enotnih parametrov.

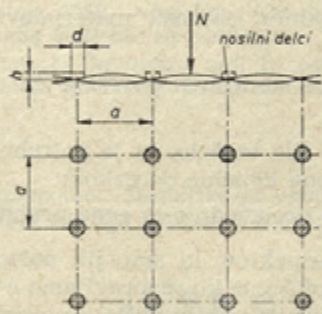
Poizkusi, da bi poenostavili in razčistili problem obdelovalnosti, so zmeraj na novo zadevali na kompleksnost problema. Če upoštevamo vse vrste obdelave z vsemi spremenljivkami, ki se pojavljajo pri obdelavi, z enako vrednostjo, bo rezultat samo zmešnjava. Kadar pa je problem poenostavljen na eno samo važno spremenljivko, bo odgovor enostranski. V primeru, da bi obstajala splošna matematična oblika o obrabi orodja, bi morali vzeti v zakup zapleteno razmerje v obliki polinoma višje stopnje. Tak primer se sicer da rešiti z elektronskim računalnikom, ni pa za uporabo v delavnici ali pa v planerskem oddelku.

* Članek izhaja iz teze in eksperimentalnega dela avtorja na podiplomskem študiju v Angliji (College of Aeronautics Cranfield).

Obraba orodja

V večini primerov med dosedanjimi preizkusi se nanaša trajnost orodja na volumen odrezanega materiala. Pri tem nastaja vprašanje, ali je primerno, da je merilo za trajnost orodja obraba proste ploskve. Smotrnejše je, če raziskujemo naravo in razvoj obrabe, zlasti posebnosti, ki vplivajo na pravilno obdelavo in ekonomičnost obdelave (lom rezalnega roba, nabrušenje).

Oglejmo si najprej geometrijo mehanizma pri obrabi orodja (3)! Kadar koli drsi neka kovina po drugi, se dotikata le na najvišjih točkah in na stikih se pojavlja odpor ali trenje. Končno se vezi v materialu na mestu teh stikov porušijo, material pa prehaja z ene površine na drugo (lokalni zvari). Če je neka površina trdnjša (orodje) od druge, je verjetnost, da bi se delci odtrgali od nje, manjša. Podoben pojav imamo v primeru, če sestavimo dve čisti, gladki površini normalno eno na drugo brez drsenja. Po določenem času jih ločimo in ugotovili bomo lahko, da so kovinski delci prešli z mehkejša na tršo površino.



Sl. 1. Shematičen prikaz dotikalnih točk

Na sliki 1 imamo razporeditev dotikalnišč, kjer so: d — srednji premer dotikalnih površin, a — razdalja med dotikalnimi površinami, n — število dotikalnišč na določeni razdalji.

Srednji premer dotikalne površine je:

$$d \approx \frac{1}{n} \cdot \sqrt{\frac{A_R}{A}}$$

kjer pomenita: A_R — dejansko dotikalno površino in A — navidežno dotikalno površino. Nadalje označujejo: h — višino nosilnega delca, k — verjetnost, da je kontaktni delec odtrgan, ΔV — prostornino nosilnega delca:

$$\Delta V \approx d^2 \cdot h = \left(\frac{A_R}{A \cdot n^2} \right) \cdot h \quad (1)$$

Skupno število dotikalnih točk je $n^2 A$, celotna prostornina delcev, ki preidejo z ene površine na drugo ob ločitvi, je

$$V_0 = k \cdot n^2 \cdot A \cdot \Delta V = k \cdot A_R \cdot h \quad (2)$$

Iz te enačbe izhajajo naslednja ugotovitve: kadar neka kovinska površina drsi po drugi na razda-

lji l , bomo zadeli na gornji pojav $n l$ krat. Celotna obrabna prostornina znaša:

$$V = k(n \cdot h) A_R \cdot l \quad (3)$$

Iz gornje enačbe bi lahko zaključili, da je obraba pri dobro obdelani površini z večjim številom dotikalnih točk (n) večja kakor pri površini, ki je le obrušena z vsemi preostalimi vrhovi in dolinami. V mnogih primerih je bilo ugotovljeno, da imajo orodja, ki so obdelana na superfiniš, manjšo obrabo kakor razmeroma grobo obdelana orodja. Razlagamo si to lahko tako, da je primer ek s superfinišno obdelavo relativno manj raskav v primerjavi z brušenim (število k se zmanjša pri superfinišu). Razen manjšega k je tudi višina h manjša, ker je raskavost površine manjša.

Večja trajnost pri finejši obdelavi je v glavnem samo posledica primernejše geometrične oblike cepilne ploskve. V primeru, da orodje iz hitroreznega jekla poliramo, se površina precej segreje. Zato lahko nastane sprememba metalografske strukture. S podrobnimi raziskavami je bilo ugotovljeno, da se pojavlja na površini avstenit. Avstenitna struktura pa ima večje nagnjenje k medsebojnemu zvarjanju in tako je možnost večjega prehoda materiala s cepilne ploskve večja.

Vrednost k iz enačb (2) in (3) je:

- manjša za trši in trdnjši material pri dveh materialih, ki se dotikata; kolikor razlika v trdoti narašča, se vrednost k za trši material povečuje, za mehkejši material pa ostane stalna;

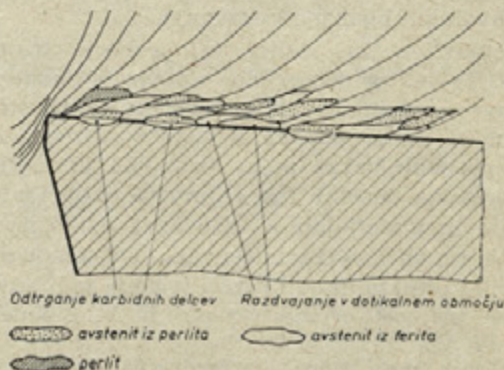
- večja za kovinski par, ki ima večjo medsebojno afiniteto ali dobro varivost;

- narašča s temperaturo; neznatno v območju temperature okolice in občutneje pri višjih temperaturah;

- narašča, če so stične ploskve dalj časa v dotiku; vpliv spremembe hitrosti je močnejši pri majhnih hitrostih kakor pri velikih;

- manjša je pri tvorbi oksidov, sulfidov in kloridov med kontaktnimi ploskvami zaradi vpliva hladilne tekočine ali kisika iz zraka.

To so splošne ugotovitve odnosov med kovinskimi ploskvami. Pozneje bomo prešli na podrobno obravnavanje obrabe orodja in takrat bodo vplivi bolj pojasnjeni.



Sl. 2. Obraba na cepilni ploskvi

Metalografski, kemični, fizikalni in mehanični vplivi na obrabo orodja

V zadnjih desetletjih je bilo opravljenih nešteto poizkusov in študij o obrabi orodja. Nerešenih problemov je še mnogo. Ne obstaja še splošna zakonitost o obrabi orodja. Obraba je kompleksen pojav, ki vključuje metalografske, kemične, fizikalne in mehanične vplive (4). Neštetokrat mora biti obravnavanje teorije, še bolj pa zbiranje eksperimentalnih podatkov precej poenostavljeno.

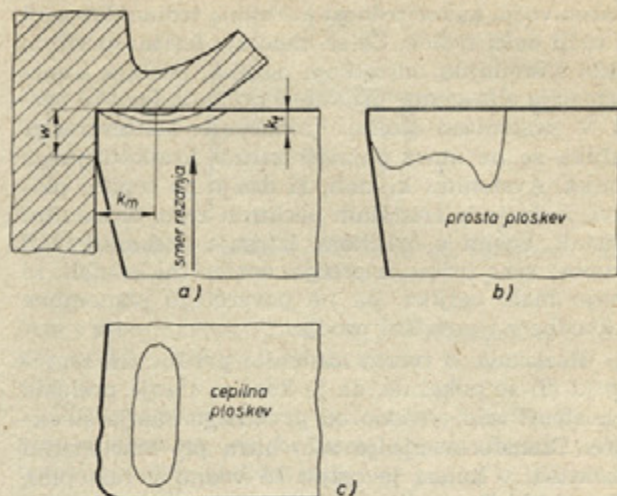
Pri veliki drsni hitrosti odrezka po nožu se ne pojavlja samo visoka temperatura na dotikalnem mestu, pač pa se ustvarja zelo strm temperaturni gradient pravokotno na smer drsenja. Posledica tega je manjša strižna trdnost vmesnega sloja (sl. 2), ki je manjša od obeh osnovnih materialov. Zaradi tega je striženje najlažje ravno na tem vmesnem sloju in obraba je le posledica prehoda mikro delcev. V takih razmerah je difuzija prvenstvenega pomena pri prehodu kovinskih delcev in obraba je nedvomno odvisna od temperature.

Preden preidemo na nekoliko podrobnejšo analizo gornjih predpostavk, je dobro, če si na kratko ogledamo obrabo na rezalnem robu (sl. 3). Na sliki lahko razvidimo, da se orodje obrablja na dveh območjih. Drsenje vročega odrezka po cepilni ploskvi ustvarja vdolbino na tej ploskvi, ki je za določeno vrednost za rezalnim robom. Na prosti ploskvi je tudi opazna obraba, ki je posledica drsenja te ploskve po obdelani površini obdelovanca. Površina obdelovanca ima lahko vtisnjene ostanke nastavka, ki lahko kvarno vplivajo na prosto ploskev. Na kratko bi lahko ugotovili, da sta dve vrsti obrabe — adhezivna in abrazivna (razenje, brušenje, trošenje).

Pri adhezivni obrabi prihaja do porušitev v izredno tankem sloju med cepilno ploskvijo in odrezkom zaradi difundiranja ogljika in tvorbe nove zlitine. Za določeno kemično sestavo in mikrostrukturo obdelovanca in orodja sta posebnega pomena temperatura in njeno odvajanje. Trganje materialnih delcev poteka v presledkih.

Abrazivna obraba ali razenje površine je druga vrsta obrabe. Dotikanje ali boljše zatikanje vrhov hrapavih površin ne ustvarja samo odpora pri drsenju odrezka po cepilni ploskvi, pač pa tudi obrabo. Taka obraba je prvenstveno odvisna od relativne trdote materiala obdelovanca in orodja med obdelavo, količine in razdelitve trdih delcev (vključkov) v materialu obdelovanca, stopnje otrjevanja pri obdelavi itd. Ker smo predpostavili, da se obraba cepilne ploskve pojavlja po gornjih dveh načinih, lahko pričakujemo, da bo določen medsebojni vpliv.

Pri poizkusih z radioaktivnim orodjem za hitro ugotavljanje trajnosti orodja je bilo ugotovljeno (5), da večino iztrganih delcev odnesejo odrezki (za jeklo AISI 95,8 %). Potemtakem lahko logično zaključimo, da je obraba orodja predvsem adhezivne narave (prehod materiala orodja na odrezke) in le v manjši meri obstajajo prosti delci, ki bi odpadali.



Sl. 3. Obraba proste in cepilne ploskve

Kovina prehaja na stični ploskvi zaradi gibanja atomov, kar je v odvisnosti od temperature stičnega območja med orodjem in odrezkom. Ta pojav lahko ocenjujemo le kot difuzijo v trdnem stanju (solid-state diffusion), ki je odvisna od temperature in časa. Da bi lahko uporabili splošno teorijo difuzije pri obrabi orodja, moramo približno proučiti, kako so prešli delci orodja na odrezek.

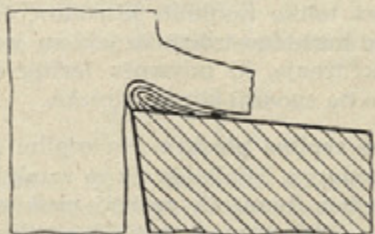
Na določeni točki za rezalnim robom je temperatura spodnje strani odrezka zaradi trenja tako visoka, da se pojavlja feritno-avstenitna transformacija. Pojav te spremembe bi se dal razlagati z izredno fino strukturo na spodnji strani odrezka in v vdolbini stružnega noža. Čas dotika med odrezkom in orodjem je izredno kratek in zato je ogrevanje izredno hitro, stopnja ogrevanja znaša do 10^7 K/s (stopinj v sekundi). Število avstenitnih kristalov narašča s hitrostjo ogrevanja, kar naj bi bil razlog, zakaj se pri obratnem procesu (pri ohlajanju) tvori toliko majhnih kristalov. Pri razlagi reakcij med karbidno trdino in jeklom je važno, da upoštevamo trenje, ki povzroča feritno-avstenitno spremembo na spodnji strani odrezka.

Obraba cepilne ploskve. Na cepilni ploskvi se pojavlja predvsem izdolbitev tik za rezalnim robom, ki je posledica kemičnih reakcij med materialom odrezka oz. obdelovanca in karbidno trdino. Obraba ni tolikšna zaradi direktnega prehoda materiala, npr. prehoda ogljika iz karbidne trdine v jeklo, pač pa zaradi trdnosti sloja, v katerem poteka ta prehod ali difuzija. Difuzija je med avstenitno fazo jekla in trdine. Pri jeklu z malo ogljika dobimo difuzijski sloj zelo majhne trdnosti, zato pa nastaja znatno trdnější difuzijski sloj pri močno ogljičenih ali evtektoidnih jeklih. Kadar je trdina v dotiku z jeklom z majhnim odstotkom ogljika, je razdvajanje zvarnih mest v zelo tankem zunanjem difuzijskem sloju, ki je slaboten. Pri močnejše ogljičenem jeklu pa nastaja razdvajanje na strani trdine, ker je trdnost osnovnega materiala in difuzijskega sloja

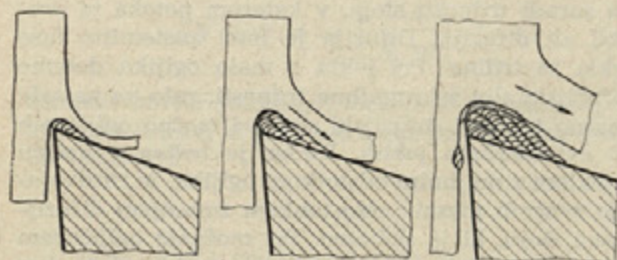
znatno večja kakor trdnost karbidne trdine. Iztrgani so večji delci trdine. Če se obdeluje feritno-perlitno jeklo s srednjim odstotkom ogljika, nastaja transformacija alfa-gama, pri kateri preideta ferit in perlit v avstenitno stanje. Izenačenje koncentracije ogljika se ne more pojaviti zaradi kratkotrajnega dotika. Avstenitni kristali, ki drsijo po cepilni ploskvi, izvirajo iz kristalnih perlitnih zrn. Avstenitni kristali, bogati z ogljikom, iztrgajo pošamezna ali skupine zrn trdine iz orodja, avstenitni kristali, ki imajo malo ogljika, pa ne povzročajo pomembne poškodbe na površini orodja.

Raziskave o tvorbi avstenita pri hitrem segrevanju (6) so pokazale, da je končno stanje prehoda v avstenit zelo odvisno od prvotnega stanja strukture. Transformacija je zelo hitra pri martenzitni strukturi, v kateri je ogljik še vedno v raztopini, ali v obliki fino porazdeljenega cementita. Izenačenje koncentracije ni potrebno in difuzijska mesta so izredno kratka zaradi fine porazdelitve karbidov. V tem primeru dobimo pravilno oblikovani avstenit.

Pri perlitni strukturi je ravnotežje doseženo zelo hitro. Avstenit, ki je nastal iz perlita, je še vedno odvisen od razmika med lamelami. Izenačenje strukture je hitrejše, če so perlitni sloji finejši. Izenačenje koncentracije med posameznimi kristali poteka dosti počasneje. Večja feritna zrna dajo manj homogen avstenit ob istem času transformiranja in enaki temperaturi. Posebno počasno raztopino dobimo v feritni strukturi z granuliranim ogljikom. Tudi v primeru, če naraste temperatura nad transformacijsko, ostane zaostali ogljik neraztopljen za dalj časa. Pri raziskavi obrabe cepilne ploskve lahko ugotovimo, da dobimo v primeru, če so feritni in perlitni kristali daleč narazen ali se počasi pojavlja transformacija alfa-gama, večjo trajnost orodja. Hkrati pa velja, da dobimo v primeru, če se ogljik hitro raztopi v avstenitu, večjo izdolbitev in manjšo trajnost orodja.



Sl. 4. Prikaz odvajanja delcev nastavka z odrezki



Sl. 5. Prehod nastavka preko rezalnega robu

To naj bi pomagalo pojasniti, zakaj fazna transformacija jekla, posebno na spodnji strani odrezka, tako vpliva na izdolbenje karbidnih trdin. Transformacija jekla v avstenit je odvisna od odstotka ogljika v jeklu, kar vpliva tudi na obrabo orodja, na lokalne zware in difuzijo ogljika.

Obraba proste ploskve. V poprejšnjih odstavkih sta bila v obravnavi samo obraba in trenje na cepilni ploskvi. Na drugi ploskvi, na prosti ploskvi nastajajo podobni pogoji. Orodje drsi po površini obdelovanca. Temperature in tlaki niso tako visoki kakor pri cepilni ploskvi.

Na splošno se z večjo hitrostjo rezanja poveča tudi obraba na prosti ploskvi. Vpliv povečanega podajanja je zelo različen in ni možno odrediti nekega trdnega pravila za obrabo (1). Kadar režemo čisto kovino, je obrabna površina rahlo razena, vendar obraba precej stalna. Dostikrat imamo grobo obliko ali kovano površino in pojavljajo se izredne spremembe pri obrabi. Peščeni vključki na ulitku lahko povzročajo v nekaj minutah tolikšno obrabo orodja, kakršna bi se sicer pojavila v nekaj urah. Ravno tako lahko poveča obrabo orodja površinski sloj ulitka ali okujina na izkovku.

Vpliv utrjevanja površine zaradi obdelave je na obrabo proste ploskve kar znaten. Pri tem bi bilo interesantno ugotoviti, kateri faktor je odločilen. Ali nastaja na obdelani površini trši sloj zaradi napetosti, ki nastajajo med odrezavanjem, ali pa se morda pojavlja rekristalizacija strukture zaradi povišane temperature na rezalnem robu — pravzaprav na konici noža. Analiza tega problema je težavna in združena z znatnim raziskovalnim delom.

Tvorba nastavka. Pri majhnih rezalnih hitrostih lahko opazujemo tvorbo nastavnega roba. Pri takih hitrostih je časovni interval, v katerem prihaja do zvarjenja obeh materialov, razmeroma velik. Na cepilni ploskvi nastajajo v neposredni bližini rezalnega roba celi skladi zlepljenih plasti materiala. Ta tvorba nastavnega roba se med odrezavanjem stalno veča in dosega kmalu take dimenzije, da prihaja zaradi povečane obremenitve do porušitve. Del fragmentov (sl. 4, 5) preide preko rezalnega roba in se naleplja na površino obdelovanca, del pa odnašajo odrezki s seboj. Te porušitve ali prehodi fragmentov potekajo v precej stalnih intervalih. Nekateri avtorji trdijo, da prihaja tudi do 50 porušitev na sekundo (7).

Nastavni rob ima znaten vpliv na trajnost orodja oz. na obrabo rezalnega roba. Ena od posledic tvorbe in porušitve nastavnega roba je pojav vibracij. Drugo pa je vprašanje trajnosti ali tvorba izdolbine. S tem, da se zadrži ozir. prilepi material na cepilno ploskev za določen časovni interval, je omogočena tudi difuzija ogljika in intenzivna obraba cepilne ploskve, kakor je bilo že poprej opisano.

Težava pri raziskavi nastavnega roba, njegovega nastanka in vpliva na obrabo je v tem, da ni nekih stalnih pogojev za opazovanje. Nastavni rob

obstaja le takrat, ko se predmet obdeluje med rezanjem ali premikanjem noža. Pri spremenjenih pogojih rezanja (hitrosti, podajanju in globini) se spremeni tudi oblika nastavka. Eno možnost opazovanja imamo s snemanjem območja rezanja z zelo hitro kamero, druga možnost pa je s trenutno zastavitvijo rezanja. S snemanjem lahko opazujemo samo zunanje dogajanje, ki že v znatni meri odkrije tvorbo nastavka. Za notranjo analizo nastavka pa mora biti na voljo posebna naprava za trenutno »zamrzovanje« območja odrezavanja. Postopek je sicer malo zapleten, vendar kar izvedljiv.

Razpoke na rezalnem robu nastajajo zaradi lokalnih napetosti, ki so posledica hitrega spreminjanja temperature na rezalnem robu. Pojavljajo se lahko kratke razpoke, ki potekajo od rezalnega roba. Navadno take kratke razpoke ne zmanjšujejo trajnosti orodja, lahko pa bi se pojavile težave v primeru, če bi bile obremenitve večje in bi prišlo do koncentracije napetosti. V takem primeru prihaja do loma, orodje se krha.

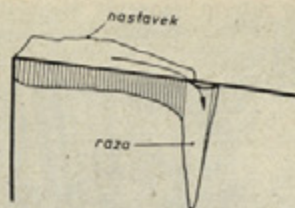
Razpoke so precej stalen pojav pri velikih globinah rezanja (večjih od 8 mm) ali pri relativno dolgem rezalnem robu. Pojavljajo se tudi pri frezalnih nožih (za frezalne glave), kjer se zaradi pogostnih prekinitev rezanja spreminja temperatura na rezalnem robu. Relativno malo je znanega o tej vrsti okvar.

Krhanje rezalnega roba je prav pogosten vzrok za okvaro orodja. Orodje se lahko skrha zaradi pogostne obremenitve in razbremenitve ali pa zaradi vpliva ostružkov. Če so ostružki žilavi, ki se zapletejo med nož in vrteči se obdelovanec, se kaj lahko zgodi, da je rezalni rob zelo hitro skrhan. Najpreprosteje se lahko orodje skrha pri nepazljivi uporabi.

Kjer je rezalni rob odkrhnjen, prihaja do zelo hitre obrabe. Na takih mestih se naredi poseben nastavek in trenje se poveča, neposredna posledica pa je hitrejša obraba orodja.

Tvorba raze je poseben primer pri obrabi orodja oz. rezalnega roba. Del rezalnega roba, ki je v dotiku s površino obdelovanca — zunanji del rezalnega roba — dobiva postopoma vdolbino. Ta pojav so že dalj časa proučevali in ga različno razlagali. Askinazi razlaga izvor vdolbine ali raze na prosti ploskvi z »mejnimi pojavom«. Drugi avtorji pa utemeljujejo ta pojav kot rezultat vpliva preostalih delcev nastavnega roba na površini obdelovanca, ki razijo po rezalnem robu. Taki delci so znatno trši kakor osnovni material, ki ga nož reže, in zato je to lahko povod za tvorbo raze na prosti ploskvi. Hoverkamp in Van Emden predpostavljata, da je utrjevanje vrhnje obdelane plasti na obdelovancu razlog za tvorbo raze. Med odrezavanjem prihaja pred rezalnim robom do lokalnih napetosti v materialu in material se zaradi tega utrdi. Ta utrditev materiala naj bi povzročala tvorbo raze.

Do določene meje nastavek narašča, nato pa pride do porušitve. Znatno del teh delcev odna-



Sl. 6. Premikanje delcev nastavka ob rezalnem robu in tvorba raze

šajo s seboj odrezki (Zlatin in Merchant). Del delcev gre preko rezalnega roba, kakor je prikazano na sliki 5.

Interesantna je razlaga P. Albrechta (8). On zanika možnost, da bi nastala raza zaradi večje trdote površine obdelovanca, pač pa naj bi bili pravi in edini razlog delci nastavka. Nastavek je sestavljen iz majhnih delcev in je pod vplivom velikih pritiskov ter visoke temperature, ki prevladuje neposredno za rezalnim robom. Pritisk na nastavek je izredno velik in z visoko temperaturo se delci »sintrajo« v precej kompaktno maso. Obseg nastavka se stalno povečuje z novimi delci, zaradi velikega pritiska pa se del teh delcev pomika proti zunanjemu delu rezalnega roba (sl. 6).

Razlaga je čisto v redu, če pojav ocenjujemo samo na skicah. Pri laboratorijskih poskusih pa prihajamo do drugačnih rezultatov. Avtorji, ki so bili vključeni v raziskave o mehaniki rezanja, se v celoti strinjajo, da je tvorba nastavka v zvezi s hitrostjo rezanja. Kadar se hitrost rezanja zmanjšuje, se povečuje nastavek, zato bi se morala povečevati tudi raza na prosti ploskvi. Žal pri poskusih, ki jih je opravil avtor, ni bilo tako. Z zmanjšano hitrostjo se je zmanjševala tudi raza na prosti ploskvi (Slike 7 do 10).

Laboratorijski poskusi

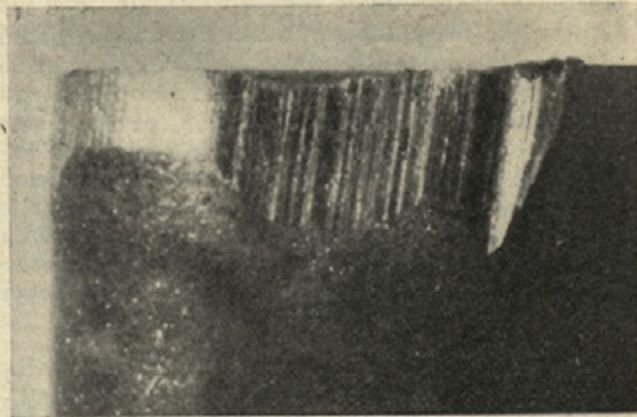
Z laboratorijskimi poskusi je bilo treba ugotoviti obdelovalnost materialov EN8 in EN9 (brit. standard). Predvsem je bilo treba ugotoviti konstanto C in eksponent n za Taylorjevo enačbo

$$vt^n = C$$

Poskuse so opravljali na težki strožnici z brezstopenskim menjavanjem vrtilne hitrosti. Z brezstopenskim menjavanjem hitrosti vrtenja je bilo možno nastavljanje stalno obodno hitrost, čeprav se je spreminjal premer obdelovanca. Relativno težka izvedba strožnice je omogočala stalne obratovalne pogoje — ni bilo velikega vpliva sile rezanja na elastično podajanje orodja ali drugih delov stroja. S tem je uspelo izključiti nekaj negativnih vplivov na pogoje rezanja. Vrtilno hitrost obdelovanca so nastavljali ročno na Ward-Leonardovem agregatu, obodno hitrost pa ugotavljali s tahometrom v navadni izvedbi. Za merjenje obrabe na prosti ploskvi rezalnega orodja je bil v rabi merilni mikroskop. Vzporedno z merjenjem so v presledkih tudi slikali obliko rezalnega roba. V fotografskih povečavah je



Sl. 7. Obraba na prosti ploskvi ploščice iz karbidne trdine. Material obdelovanca: EN9. Hitrost rezanja $v = 328$ m/min, globina rezanja $a = 2$ mm, podajanje $s = 0,127$ mm/vrt., čas rezanja $t = 9$ min. Opazna sta izdolbenje in deformacija rezalnega roba. (Povečava 35:1.)

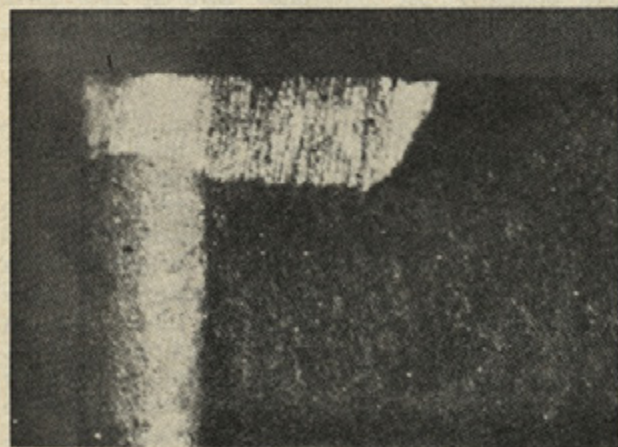


Sl. 8. Obraba na prosti ploskvi ploščice iz karbidne trdine. Material obdelovanca: EN9. Hitrost rezanja $v = 246$ m/min, globina rezanja $a = 2$ mm, podajanje $s = 0,127$ mm/vrt., čas rezanja $t = 25$ min. Izdolbenje je manjše kakor pri prejšnjem poizkusu. (Povečava 35:1.)

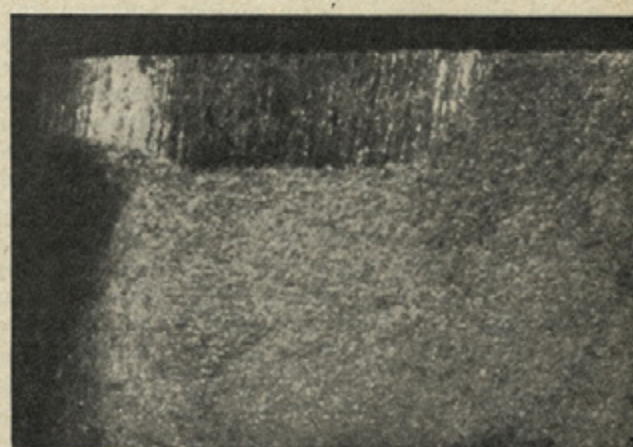
bilo lahko razločno ugotavljati potek obrabe pri raznih materialih in različnih hitrostih. Hrapavost so merili z aparatom Talysurf M3.

Način meritev. Pri vseh poskusih so odrezavali čisto jeklo, brez hlajenja. Ker so površinski sloji valjanega jekla zelo abrazivni (trošijo in obrablajo orodje), so odstržili tudi vrhni sloj. Ves čas so pazili na to, da so bili pogoji obdelave kolikor mogoče konstantni. Redno so ugotavljali trdoto materiala, ki so ga odrezavali.

Za poskuse so uporabljali ploščice iz karbidne trdine vrste »Throw-away tip« (po obrabi jo zavrzijo). Ploščice so bile prizmatične oblike in je bilo možno poskušati na vseh osmih robovih prizme. Pri uporabi ploščic niso dodatno obrusili ali polirali, pač pa so jemali take, kakršne so prejeli iz tovarne. Težili so za tem, da bi ustvarili pogoje, čim podobnejše praktični uporabi.



Sl. 9. Obraba na prosti ploskvi ploščice iz karbidne trdine. Hitrost rezanja $v = 164$ m/min, globina rezanja $a = 2$ mm, podajanje $s = 0,127$ mm/vrt., čas rezanja $t = 34$ min. Raza na prosti ploskvi je komaj opazna. (Povečava 28:1.)



Sl. 10. Obraba na prosti ploskvi ploščice iz karbidne trdine. Hitrost rezanja $v = 131$ m/min, globina rezanja $a = 2$ mm, podajanje $s = 0,127$ mm/vrt., čas rezanja $t = 33$ min. Raza na prosti ploskvi je povsem izginila. (Povečava 30:1.)

Globina rezanja je bila približno 2 mm (stalna), podajanje pa od 0,125 do 0,38 mm. Hitrost rezanja je variirala med 90 in 380 m/min. Intervali med merjenji obrabe so bili v začetku poskusa po 1 minuto, nato pa so jih postopoma večali na 5 minut struženja. Ob vsaki taki prekinitvi so natančno izmerili obrabo na prosti ploskvi in opazovali obliko izdolbitve na cepilni ploskvi. V odrejenih presledkih so rezalni rob tudi slikali (slike 7 do 10).

Hrapavosti obdelane površine ni bilo mogoče meriti na stružnici, zato so bili napravljeni odtisi iz epoksilne smole, nakar so v laboratoriju ugotavljali hrapavost površine.

Rezultate meritev so prenašali v diagrame. Meja obrabe na prosti ploskvi je bila 0,8 mm. Ko je bila ta meja dosežena, so nanegli čas obrabe v dvojni logaritmični diagram. Na abscisi je bil podan čas, na ordinati pa hitrost rezanja (diagram 1).

Pri večini poskusov je krivulja nanesenih točk sestavljala premo črto pod določenim naklonom. Če z izmero naklona ali pa hitrosti za 1 minuto rezanja bi lahko ugotovili eksponent n ali pa konstanto C . Z računskim primerom pa lahko popolnoma natančno ugotovimo obe vrednosti za določeno vrsto jekla ali določeno vrsto orodnega materiala (primer 1).

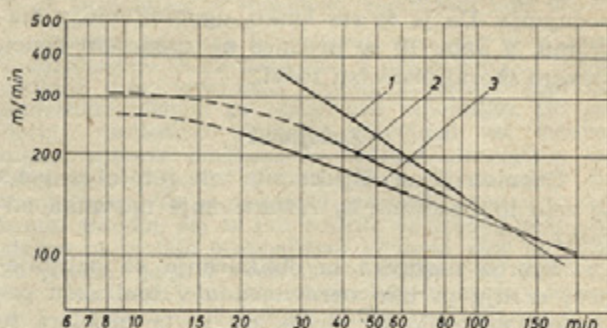
Po opravljenih poskusih je bilo treba analizirati tudi obliko obrabe cepilne in proste ploskve. Na mikro posnetkih, ki so bili napravljeni v določenih časovnih intervalih in pri različnih hitrostih rezanja, je bilo razločno videti potek obrabe. Na slikovnih prilogah je viden jasen potek tvorbe raze. Slika 7 kaže zelo intenzivno obrabo proste ploskve pri hitrosti rezanja 305 m/min. Najbolj izrazita je pri tem tudi raza na koncu obrabnega območja. Pri vseh nadaljnjih primerih (sl. 8 do 10) se raza postopoma zmanjšuje, ker se tudi hitrosti zmanjšujejo. Ta ugotovitev pa nasprotuje hipotezam P. Albrechta (8). Rezultati poskusov so posebno pri materialu EN9 pokazali jasno, da se obraba zmanjšuje z zmanjšanjem hitrosti. Hkrati pa vemo, da se z zmanjšano hitrostjo poveča nastavek na rezalnem robu. To bi imelo tudi za neogibno posledico večje odtekanje delcev nastavka vzdolž rezalnega roba in vzporedno tudi večjo razo.

Na materialu EN8 ni bilo tako intenzivnega niti tako karakterističnega oblikovanja raze, kakršnega lahko opazujemo pri materialu EN9, ki ima večji odstotek ogljika.

Potek obrabe proste ploskve v precejšnji meri potrjuje domnevo, da je tvorba raze na prosti ploskvi odvisna od površinskega sloja na obdelovancu. Kateri je odločilni faktor za utrditev materiala zaradi napetosti v coni odrezavanja ali pa morda zaradi lokalne termične spremembe v strukturi, se še ne da odrediti. Material se pred rezalnim robom pri odrezavanju zelo močno segreje. Zaradi velikega temperaturnega gradienta nasproti notranjosti obdelovanca prihaja do zelo hitre ohladike površinskega sloja, kar dopušča možnost, da bi se ta sloj kalil. V poprejšnjih poglavjih pa smo že spoznali, da finejša struktura vpliva na hitrejšo obrabo ploščic.

Dokončna ugotovitev, od kod izvira finejša struktura, najsi bo od napetosti v coni odrezavanja ali od kaljenja, je zelo težavna in bi bilo treba zanjo dolgotrajnih poskusov. Dosedanji poskusi niso prinesli kakšnih dokončnih zaključkov ali globlje analize. Zaključiti pa se je dalo, da je bilo prej omenjeno poročilo (8) oprto samo na določeno hitrost in eno samo vrsto materiala, pri tem pa izključevalo vse druge vplivne količine, razen delcev nastavnega roba; slednjič so bili napravljeni zelo splošni zaključki z eno samo vrsto materiala in rezalne hitrosti. Tako preuranjeno oblikovanje zaključkov pa je lahko škodljivo.

Diagram 1. Odvisnost trajnosti orodja od rezalnih hitrosti za material EN 8



Stalba obraba 0,8 mm na prosti ploskvi, globina rezanja 2 mm, podajanja: 1 — 0,127 mm/vrt., 2 — 0,254 mm/vrt., 3 — 0,381 mm/vrt.

Primer:

Hitrost rezanja ima največji vpliv na trajnost (obstoječnost) orodja in ekonomiko rezalnega postopka (9). Po Taylorju je razmerje med trajnostjo orodja in hitrostjo rezanja prikazano z znano empirično enačbo

$$vt^n = C$$

pri čemer so:

- v — hitrost rezanja,
- t — trajanje orodja do obrabe, npr. 0,8 mm ali med nabrušenji oz. ostrenji orodja,
- n — eksponent, ki se spreminja v odvisnosti od materiala in nekaterih drugih spremenljivk na stroju,
- C — konstanta, ki je odvisna od spremenljivk na stroju in materialu.

Iz gornje enačbe lahko dobimo vrednost za n , če jo pretvorimo v logaritmično obliko.

Če je

$$v_1 t_1^n = v_2 t_2^n = C$$

tedaj bo iz tega izhajala naslednja enačba v logaritmični obliki:

$$\lg v_1 + n \lg t_1 = \lg v_2 + n \lg t_2$$

in dalje

$$n = \frac{\lg v_2 - \lg v_1}{\lg t_1 - \lg t_2}$$

Za material EN8 B (angl. standard) lahko ugotovimo naslednje razmere

globina rezanja: 2 mm,
podajanje: 0,125 mm,

$v_1 = 150$ m/min

$t_1 = 90$ min

$v_2 = 267$ m/min

$t_2 = 39$ min

$$n = \frac{\lg v_2 - \lg v_1}{\lg t_1 - \lg t_2} = \frac{2,42651 - 2,17609}{1,95424 - 1,59106} = 0,69$$

Potemtakem je za dane pogoje eksponent $n = 0,69$ in velja za krivuljo (1) v diagramu. Takih eksponentov bi lahko ugotovili več; za vsako podajanje drugega. Dodati bi bilo mogoče še ugotovi-

tev, da so tudi te spremembe v določenem zaporedju in se spreminjajo v čisto določeni odvisnosti od podajanja. Da je to res lahko, ugotavljamo v diagramu, v katerem se premice na spodnjem koncu stekajo skoraj proti isti točki.

Zaključki

Geometrija orodij in sile na rezalnem robu so zelo interesantne za razumevanje nastanka odrezka.

Tvorba nastavka in oblikovanje na obrabljenem orodju ni bilo obravnavano v tem delu poskusov, pokazalo pa se je, da je ta problem še nerazčiščen in bi se ga kazalo lotiti. Raziskave pa bi seveda terjale znatno opremo.

Zaradi trenja med odrezkom in cepilno ploščo orodja se odrezek segreje do tolikšne mere, da prihaja do faznih sprememb v materialu. Feritno-avstenitna transformacija olajšuje difuzijo med orodjem in odrezkom ali med karbidno trdino in jeklom.

Difuzija od karbidov na jeklo ne pomeni tolikšnega trošenja, pač pa je važen sekundarni pojav, ker se zmanjšuje trdnost kontaktne cone in prihaja do iztrganja delcev orodnega materiala.

Obraba orodja je v odvisnosti od hitrosti rezanja, razmerja pa ustrezajo Taylorjevi enačbi.

S kratkotrajnimi poskusi ni mogoče ustvariti rezultatov za praktične namene. V prvih minutah odrezavanja z orodjem obraba tolikanj variira, da niso dosegljivi zanesljivi rezultati.

Vsako posploševanje in poenostavljanje raznih pojavov pri odrezavanju je nevarno, ker lahko privaja do napačnih zaključkov. Za prihodnje raziskave bi bile pri odrezavanju priporočljive raziskave naslednjih problemov:

a) sistematično raziskovanje pojava nastavka, njegove tvorbe in vpliva — predvsem pri obrabljenem orodju;

b) merjenje dinamičnih pojavov na rezalnem robu z dinamometrom, ki ima visoko lastno frekvenco;

c) raziskave obrabe orodja in pogojev odrezavanja pri zelo velikih hitrostih, npr. 400 do 2000 m/min.

Preskuse naj bi zaradi primerjave rezultatov opravljali samo po preizkusnih standardih.

Literatura:

1. M. E. Trent: Tool Wear and Machinability; Prod. Eng. Journal Vol. 38, 1959.
2. B. N. Colding: Machinability of Metals and Machining Costs. Intern. J. Machine Tool Design and Research, 1961.
3. M. C. Shaw & S. O. Dirke: On the Wear of Cutting Tools; Microteknik, Vol. X, 1956.
4. H. Opitz & Gappisch: Recent Research on Wear Behaviour of Carbide Cutting Tools; Journal of Int. Machine Tool Design and Research, 1961.
5. K. J. Trigger & B. T. Chao: The Mechanism of Crater Wear of Cemented Carbide Tools; Transactions ASME, Vol. 78, 1956.
6. A. Rose: Der Austenitisierungsprozess bei schnelllaufenden Erwärmungsvorgängen; Industrie-Blatt, Vol. 58, 1958.
7. W. B. Heginbotham & S. L. Gogia: Metal Cutting and the Built-up Nose; Reprint of the Institution of Mechanical Engineers, 1961.
8. P. Albrecht: An Explanation of the Formation of Groove Wear on Cutting Tools; Microteknik, 1956.
9. J. Cherry: Economics of Cutting Processes; The Production Engineer, February 1961.
10. Z. Seljak: Machinability Investigations Using Throwaway Tip Tools; Thesis of the College of Aeronautics Cranfield, 1963. (Neobjavljena teza podiplomskega študija.)

Avtorjev naslov: ing. Zoran Seljak,
Fakulteta za strojništvo
univerze v Ljubljani

DK 651.53:338.45

0 vlogi številčnih sistemov v (kovinski) industriji

MAKS MILANEZ

(Nadaljevanje in konec)

III.

Iz dosedanje vsebine je razvidno, da številčenje (šifriranje) prinaša skladno povezanost tehniških metod z administrativnimi, zlasti tam, kjer naj poglobljeno pomoč pri tem dajejo evidenčni sistemi. Našteti so vidnejši primeri, v katerih vloga številčenja dobiva čisto konkreten pomen, se pravi, v okoliščinah, kjer primanjkuje dosežkov večinoma zaradi motenj, ki se brez nekega skupnega imenovalca ne dajo odpraviti. S tem seveda ni izčrpano vse, vendar že to zadostuje kot priporočilo za odločitev v prid načrtnega sestavljanja ustreznega številčnega sistema.

Naj opozorimo, da ta problematika ni samo naša, ampak evropska, skratka, splošno industrijska. V Nemčiji čedalje bolj ugibajo, kako bi rešili številčenje, da

bo v korist celotnemu gospodarstvu. Praktiki predlagajo marsikaj, saj je končno vendarle že treba obvladati nepregledno množico dragocenih podatkov iz znanosti, tehnike, medicine itd. Kajti številčno naraščajočemu človeštvu vzlic brezmejnemu številu izumov preti nevarnost, da iz te kopice ne bo moglo več najti onih najpreprostejših »formul« za vzpon tehnike, ko napoči čas za neodložljive reforme. Vendar je nemški odbor za standardizacijo doslej predložil šele ustrezno izrazoslovje kot podlago za šifriranje (DIN-Mitteilungen št. 5/63). Ureditev vsega, kar je človek že dosegel, postaja čedalje težavnejše.

Obravnavali bomo primer številčenja, kakršno bi v naši industriji ustrezalo sodobnim potrebam, ne samo za obrate, marveč tudi za druge oddelke, obenem