Pri tem je prijemna dolžina l_e pri krožnem brušenju

$$l_e = k_{str}\, d_z \frac{v_o}{v_b} + \sqrt{\frac{a\, d_b}{1 + d_b/d_o}} \qquad (13)$$

Za ravno brušenje velja ista enačba, le vzeti moramo, da je premer obdelovanca d_o neskončno velik

$$l_e = k_{str}\, d_z \frac{v_o}{v_b} + \sqrt{a\, d_b} \qquad (14)$$

S podatkom za koeficient strukture k_{str} po enačbi (8) je mogoče izračunati tudi tu dokončno vrednost za srednjo debelino h_{sr}.

Pri določanju dopustne globine brušenja (primika brusa) a bi morali načeloma izhajati iz največje globine odrezka h_{max}, ki je odvisna predvsem od trdnosti brusa, v manjši meri pa tudi od togosti obdelovalnega sistema in zahtevane kakovosti površine. Potrebne smernice za izbiro h_{max} bi bilo vsekakor šele treba določiti eksperimentalno, saj so sedaj dosegljivi podatki silno pomanjkljivi. Ker sta enačbi (9) in (10) kvadratični glede na globino brušenja, je neposreden račun globine a za prakso preveč težaven in bi bilo treba za izbrano vrednost a samo preverjati z vstavljanjem v enačbo (9) oziroma (10), če ni presežena dopustna vrednost h_{max}.

Enačbe (11) do (14) za računanje srednje debeline odrezka je mogoče uspešno uporabiti tudi za natančnejše računanje velikosti rezalnih sil in potrebne moči. Tako lahko za glavno silo pri brušenju pišemo

$$F_h = h_{sr}\, s\, f_{s,\,sr} \qquad (15)$$

Podajanje s je pri krožnem brušenju podajanje v vzdolžni smeri obdelovanca pri enem njegovem vrtljaju, pri ravnem brušenju pa premik v prečni smeri pri enem gibu obdelovanca.

Potrebna moč za pogon brusa je

$$P_{B,\,b} = \frac{F_h\, v_b}{\eta_b} = \frac{h_{sr}\, s\, v_b\, f_{s,\,sr}}{\eta_b} \qquad (16)$$

Za vzdolžno gibanje obdelovanca pri ravnem brušenju in za vrtenje obdelovanca pri krožnem brušenju potrebujemo moč

$$P_{B,\,o} = \frac{F_h\, v_o}{\eta_o} = \frac{h_{sr}\, s\, v_o\, f_{s,\,sr}}{\eta_o} \qquad (17)$$

Uvedba označevanja strukture na predloženi način bi omogočala znatno zanesljivejše računanje nekaterih podatkov, ki jih potrebuje tehnolog pri predpisovanju delovnih režimov, ne da bi se morali naslanjati v tolikšni meri kakor doslej na izkustvene enačbe in smernice, ki so pogosto zelo dvomljivega izvora. Nekoliko bolj natančna raziskava geometrijske oblike zrn, o kateri naj bi osnovne podatke (V_z/V_v, k_{geom}) dal izdelovalec brusov, bi pomenila najmanjši strošek v primerjavi s koristjo, ki bi jo imel od tega tehnolog. V prehodnem času, dokler to priporočilo ne bi bilo sprejeto, ostaja seveda še vedno možnost na dokaj preprost način izmeriti strukturo na opisani način.

LITERATURA

[1] H. Muren: Odrezavanje, Tehniška založba Slovenije, Ljubljana, 1976.

[2] J. Peklenik: Beitrag zur Bestimmung der Spandicke beim Schleifen, Untersuchungen beim Schleifen, 8. Forschungsbericht, TH Aachen, Girardet, Essen, 1958.

Avtorjev naslov: prof. dr. ing. Hinko Muren
Fakulteta za strojništvo Univerze
v Ljubljani

UDK 669.14.018.252

Materiali za rezalna orodja in razmere na rezalnem robu pri odrezovanju

POLDE LESKOVAR

1. Uvod

Industrijski razvoj zadnjih nekaj desetletij je prinesel na področje obdelave materialov obilico novosti. Vzporedno z razvojem obdelovalnih postopkov (NC, DNC, CNC ipd.) so se razvijali tudi materiali za orodja, saj so sestavni del obdelovalnega procesa.

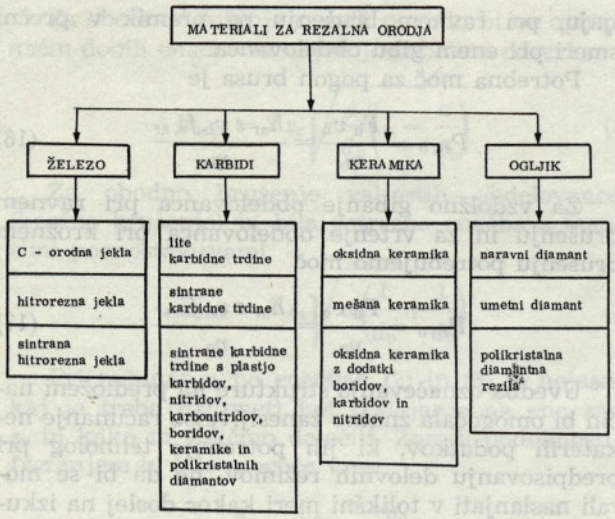
Ves ta razvoj in napredek pa terjata tudi bolj urejeno tehnologijo. To pomeni, da je treba intenzivno raziskovati tako procese obdelave in obdelovalne stroje kakor tudi materiale, ki so namenjeni za orodja in obdelave. Zato tudi ni čudno, da organizirajo v vseh tehnično razvitih deželah posebne informacijske centre, kjer zbirajo podatke o materialih za orodja in za obdelovance, o strojih in postopkih obdelave. Ti informacijski centri, ki jim pogosto pravimo preprosto *banke tehnoloških podatkov*, postajajo tako dragocen vir podatkov, ki pomenijo osnovo za vso moderno tehnologijo.

Organizacija tehnoloških informacij tako v znatni meri vpliva tudi na možnost uvajanja novih tehnoloških in konstrukcijskih prijemov, kakor je uvajanje avtomatiziranih numerično krmiljenih obdelovalnih sistemov vplivalo na uvajanje avtomatizacije in uvajanje skupinske tehnologije.

2. Materiali za rezalna orodja

Značilne lastnosti materiala, kakor so natezna trdnost, trdota, žilavost, odpornost proti obrabi ali odpornost proti visokim temperaturam, koroziji ipd., so se spreminjale z razvojem industrije oziroma tehnologije in z razvojem postopkov in materialov. Tudi postopki za obdelavo z odvzemanjem so v proizvodnji izredno pomembni. Zaradi tega je tudi razumljivo, da so raziskave le-teh vedno intenzivnejše. Pri tem pa ne smemo pozabiti na zvezo med postopkom in materialom, ki ga uporabljamo.

Materiali za rezalna orodja so se v zadnjih nekaj desetletjih razvili do neslutenih zmogljivosti. Ne samo, da so postale zmogljivosti posameznih skupin vse večje, pojavila se je tudi vrsta novih materialov. Tako po-



Sl. 1. *Skupine materialov za rezalna orodja*

znamo na današnji stopnji razvoja najrazličnejše vrste materiala za orodja. V glavnem jih lahko razvrstimo v štiri osnovne skupine, ki so na osnovi železa, kovinskih karbidov, keramike in ogljika. Slika 1 prikazuje shematičen prikaz različnih vrst materialov za rezalna orodja po naštetih osnovnih skupinah.

Najstarejša in tudi najobširnejša skupina je skupina na osnovi železa. To so navadna ogljikova in hitrorezna jekla. Tej skupini se je pridružila še posebna skupina sintranih hitroreznih jekel. Ti imajo v bistvu karbidnim trdinam podobne sestave, imajo pa znatno večjo žilavost od klasičnih sintranih karbidnih trdin. Vsebujejo dodatke niobija (Nb-30 Ti-20 W). Tako pridobljena rezila nato še nitriramo in dobimo izredno trdo površino — notranjost pa ostaja bolj žilava kakor pri klasičnih karbidnih trdinah. Ploščice in druge vrste rezil teh vrst z uspehom zamenjujejo klasične karbidne trdine.

Izredno obširna postaja tudi druga skupina rezalnega orodja. To so orodni materiali, ki so znani pod imenom karbidne trdine. Poleg najstarejših — litih karbidnih trdin, poznamo še sintrane karbidne trdine, ki so že standardizirane po ISO (in skladno pri nas po JUS) in razvrščene po sestavi in uporabi. Tem sintranim karbidnim trdinam, ki jih dandanes imenujemo že klasične sintrane karbidne trdine, se je v zadnjem obdobju pridružila vrsta oplaščenih ploščic iz karbidnih trdin. To so v bistvu ploščice iz sintranih karbidnih trdin, ki imajo naneseno tanko, nekaj mikronov debelo plast iz titanovega karbida (TiC), titanovega nitrida (TiN) ali titanovega karbonitrida (Ti (C, N)), boridov in celo polikristalnih diamantov.

Če opazujemo razvoj rezalnih ploščic iz karbidnih trdin, ki so oplaščene, razlikujemo v glavnem tri generacije. Prvi generaciji pred približno 7 leti pripadajo ploščice iz sintranih karbidnih trdin z naneseno plastjo titanovega karbida TiC. Druga generacija so ploščice s plastjo titanovega nitrida TiN. Tretja, zadnja in najmlajša generacija pa so tako imenovane multi oplaščene rezalne ploščice z naneseno plastjo titanovega karbonitrida Ti (C, N), ki prehaja iz skoraj čistega TiC prek karbonitrida do skoraj čistega TiN. Tako lahko dobimo zelo zanesljivo in izredno trdo plast, ki se ne lušči in zdrži tudi v najtežjih rezalnih razmerah. Razvoj zadnjih nekaj let kaže, da se uporabljajo v praksi vedno več oplaščene rezalne ploščice. Nekateri podatki izdelovalcev potrjujejo to trditev, saj je izdelava oplaščenih rezalnih ploščic ponekod dosegla že 65 % takih, ki imajo naneseno to ali ono plast na osnovni ploščici iz karbidne trdine.

V zadnjem obdobju se pojavljajo tudi rezalne ploščice iz karbidnih trdin, ki imajo nanesene plasti še iz drugih trdih gradiv. Pri tem so zbudile veliko pozornost predvsem ploščice s plastjo boridov ali keramike.

V letu 1973 so se pojavile rezalne ploščice z diamantnim rezalnim robom. Pri njih je na osnovo iz sintrane karbidne trdine nanesena polkristalna diamantna plast, ki sestoji iz množice različno orientiranih diamantnih kristalov oziroma kristalnih zrn, vloženih v kobaltovo ali volframovo osnovo. Taka plast je nanesena na ploščico iz karbidne trdine v sloju z debelino od 0,35 do 0,7 mm. Na ta način dosegajo izredno trdoto rezalnega roba. Ploščice te vrste so posebno ugodne za odrezavanje aluminijevih, bakrovih in cinkovih zlitin, stekla, keramike in grafita.

Tudi tretja skupina, ki jo sestavljajo keramične ploščice, se širi z najstarejših znanih keramičnih ploščic še na kombinirana gradiva, ki izboljšujejo njihove rezalne lastnosti in kemične reakcije med orodjem in obdelovancem. Iz najstarejših in najbolj razširjenih keramičnih ploščic na osnovi oksidne keramike (Al_2O_3) so se z dodatkom kovinskih karbidov (TiC, WC) razvile keramične ploščice, ki so znane pod imenom kovinska ali mešana keramika. Slaba stran teh rezalnih ploščic je v glavnem v tem, da so izredno krhke in neodporne proti udarcem. Večjo žilavost dosegamo v zadnjem obdobju z izpopolnjenim postopkom pridobivanja in z dodajanjem trdih tvarin, kakršne so karbidi, nitridi in boridi.

Četrto skupino obsegajo rezalni materiali na osnovi ogljika. To je naravni ali umetni diamant. Seveda poznamo tudi v tej skupini več vrst orodij oziroma rezil. Monokristalna rezila izdelujemo navadno iz naravnih diamantov. Zaradi tega je velikost rezalnega roba takih rezil tudi omejena. Če pa izdelujemo rezila iz umetnih diamantov, so rezila še znatno manjša, saj naraščajo stroški pridobivanja nesorazmerno z velikostjo diamantov.

Znatno večjo uporabo imajo že prej omenjena rezila iz polikristalnih diamantov. Tudi tu poznamo več vrst oziroma več različnih skupin. Najbolj znano vrsto diamantnih rezil dobimo s sintranjem ogljika z dodatkom kovin kot katalizatorjev. Tako dobimo zmes fino razporejenih diamantnih kristalov ter grafita in karbidov teh kovin v obliki ploščice z debelino okrog 1,6 mm. Ploščice potem nalotamo na držalo orodja. Te vrste rezalnih ploščic namreč ne izdelujemo v oblikah, ki bi jih bilo mogoče mehanično vpenjati v orodja. Znan je tudi postopek, pri katerem uporabljamo naravne diamante, ki jih sintramo pri visokih temperaturah v rezalne ploščice in lotamo na držala orodja.

V zadnjem času je uspelo pridobiti pri visokih temperaturah in visokih tlakih tudi kubični borov nitrid BN in ga predelati v kompakten rezalni material. Z borovim nitridom je uspelo doseči izredne uspehe pri obdelavi kovin z odrezavanjem [1, 2, 3].

Že ta kratek in razmeroma površen pregled dovolj nazorno pove, kakšen napredek je bil dosežen pri pridobivanju novih orodnih materialov. Mnogi novi materiali so že prevzeli pomembna mesta pri praktični uporabi, nekateri od njih pa so še v fazi preizkušanja in izpopolnjevanja.

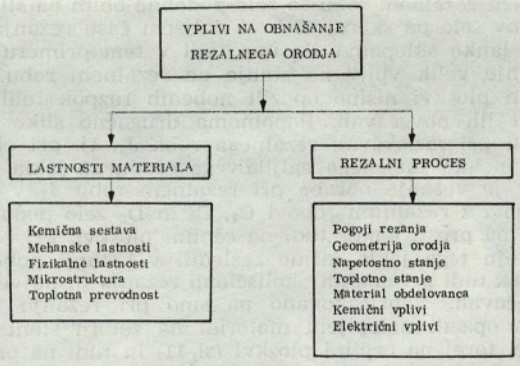
3. Razmere na rezalnem robu

Večina rezalnega orodja, ki ga uporabljamo dandanes pri odrezavanju, je iz sintranih karbidnih trdin. Pri obdelovanju uporabljamo najpogosteje mehansko vpete rezalne ploščice. Za ocenjevanje kakovosti rezalnih ploščic uporabljamo navadno dva splošna pojma, tj. odpornost proti obrabi in žilavost. Za nobenega od teh pojmov 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 rezalni rob v težkih razmerah rezanja.

Obnašanje rezalnega roba je pri rezanju bolj kompleksno in je odvisno od lastnosti karbidne trdine, tj. od njenih fizikalnih in kemičnih lastnosti ter geometričnih oblik rezalnega roba. Na rezalni rob pa vplivajo med rezanjem tudi sile rezanja, temperatura, kemični in električni vplivi ipd. Danes menimo, da so glavne lastnosti rezalnega roba in s tem seveda materiala, iz katerega je le-ta trdota, natezna in tlačna trdnost, odpornost proti utrujanju, toplotna prevodnost, odpornost proti obrabi ipd. Da bi dosegli ugodne naštete lastnosti, ne smemo zanemariti strukture trdine, geometrije rezalnega roba in razdelitve napetosti po njem.

Porazdelitev napetosti na konici rezalnega orodja je zelo pomembna. Napetosti niso namreč odvisne samo od mehanskih obremenitev rezalnega roba temveč v znatni meri tudi od temperaturnih napetosti. Razni raziskovalci prihajajo pri svojih raziskavah do enakih sklepov [4]. Z raziskavami je bilo dokazano, da so pri obrabi orodja odločujoče prav temperaturne napetosti,



Sl. 2. *Dejavniki, ki vplivajo na obnašanje rezalnega orodja*

saj vplivajo na krušenje rezalnega roba. Rezultati raziskav kažejo, da lahko temperaturne napetosti dosegajo ali celo presegajo trdnost materiala orodja. To pa vodi do krušenja (krhanja) rezalnega roba [5].

Pri temperaturnih napetostih je zelo pomembna toplotna prevodnost materiala. Raziskave potrjujejo, da je lahko material, ki ima sicer nizko mejo elastičnosti in majhno temperaturno razteznost, pri ugodni prevodnosti bolj odporen proti temperaturnim obremenitvam. S tem pa je tudi njegova odpornost proti obrabi predvsem pa proti krušenju oziroma krhanju večja kakor pa pri rezalnem materialu z boljšimi mehanskimi lastnostmi in slabšo prevodnostjo [4].

Slika 2 prikazuje v shematični obliki vplive na obnašanje rezalnega roba, in sicer tako glede materiala in njegovih lastnosti kakor tudi glede vplivov pri rezalnem procesu.

4. Raziskave obrabe na rezalnem robu

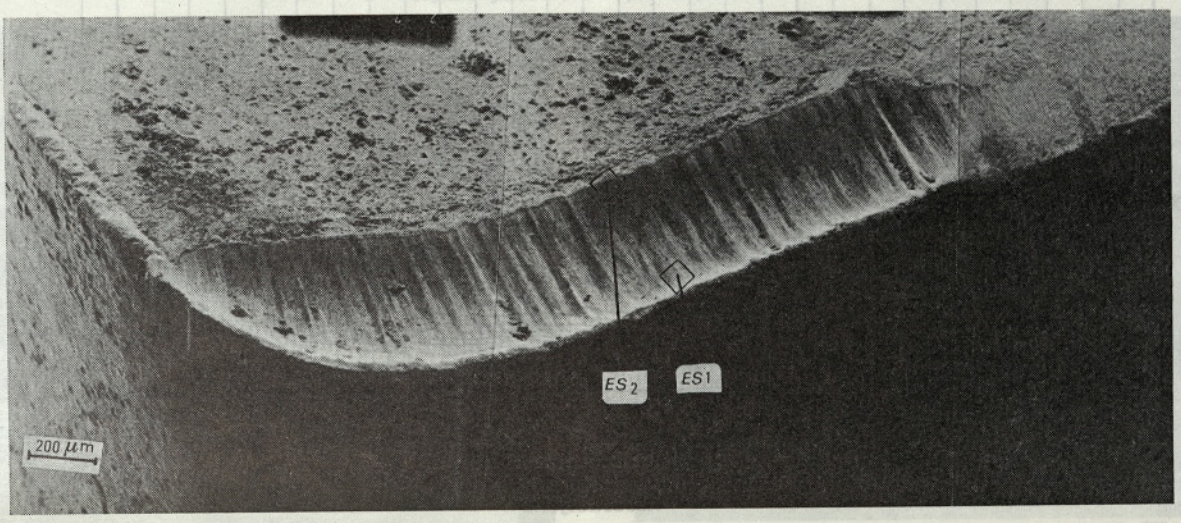
Namen raziskav je bil raziskati obrabo na rezalnem robu rezalnih ploščic iz sintranih karbidnih trdin v odvisnosti od okoliščin pri rezanju in materiala obdelovanca. Pri tem smo posvetili znatno pozornost tudi cepilni in prosti ploskvi [7].

4.1. *Rezalno orodje*

Pri raziskavah smo uporabljali standardne ploščice za mehansko vpetje iz sintrane karbidne trdine z označbo P 10 s štirimi rezalnimi robovi. Karbidne trdine P 10 uporabljamo, kakor priporoča ISO, za rezanje jekla pri manjših podajanjih in velikih hitrostih rezanja. Karbidne trdine P vsebujejo razen W, Co in C še Ti in Ta. Titanov karbid povečuje odpornost proti obrabi pri visokih temperaturah, zmanjšuje pa žilavost, medtem ko povečuje tantalov karbid poleg odpornosti proti obrabi pri visokih temperaturah tudi še žilavost in trdnost rezalnega roba.

Geometrija rezalnih ploščic:

prosti kot	$\alpha = 6^0$	kot konice $\varepsilon = 90^0$
cepilni kot	$\gamma = 6^0$	kot nagiba $\lambda = -6^0$
nastavni kot	$\varkappa = 75^0$	radij zaokrožitve $r = 0{,}8$ mm



Sl. 3. *Posnetek rezalnega roba C_2* 60 : 1

4.2. *Material obdelovanca*

Za izvedbo preizkusov smo uporabili dve vrsti jekla, tj. jeklo A TJ 100 Pb, ki ustreza približno jeklu po DIN WN 1.0722, in ogljikovo orodno jeklo Č. 1941, ki ustreza jeklu WN 1.2833. Jeklo ATJ 100 Pb je jeklo za avtomate z dodatki Pb in S in ima trdoto 275 HV, jeklo Č. 1941 pa je ogljikovo orodno jeklo z 1 % C v mehko žarjenem stanju s trdoto 215 HV.

4.3. *Rezalni pogoji in obraba na prosti ploskvi VB*

Rezalne robove na posameznih ploščicah smo označili z označbami C, D in J četrti rezalni rob pa je ostal neobrabljen za primerjavo. Pri posameznih preizkusih so veljali naslednji rezalni pogoji:

Rezalni rob C_1:

hitrost rezanja	v	= 500 m/min
podajanje	s	= 0,22 mm/vrt
globina rezanja	a	= 2 mm
obraba	VB	= 0,37 mm
porabljen čas rezanja	t	= 1 min 16 s

Rezalni rob C_2:	Rezalni rob D_2:
v = 500 m/min	v = 500 m/min
s = 0,22 mm/vrt	s = 0,132 mm/vrt
a = 2 mm	a = 2 mm
VB = 0,51 mm	VB = 0,31 mm
t = 3 min 48 s	t = 16 min 48 s

Za rezalne robove C_1, C_2 in D_2 smo uporabljali jeklo ATJ 100 Pb, pri rezalnem robu J_7 pa jeklo Č. 1941.

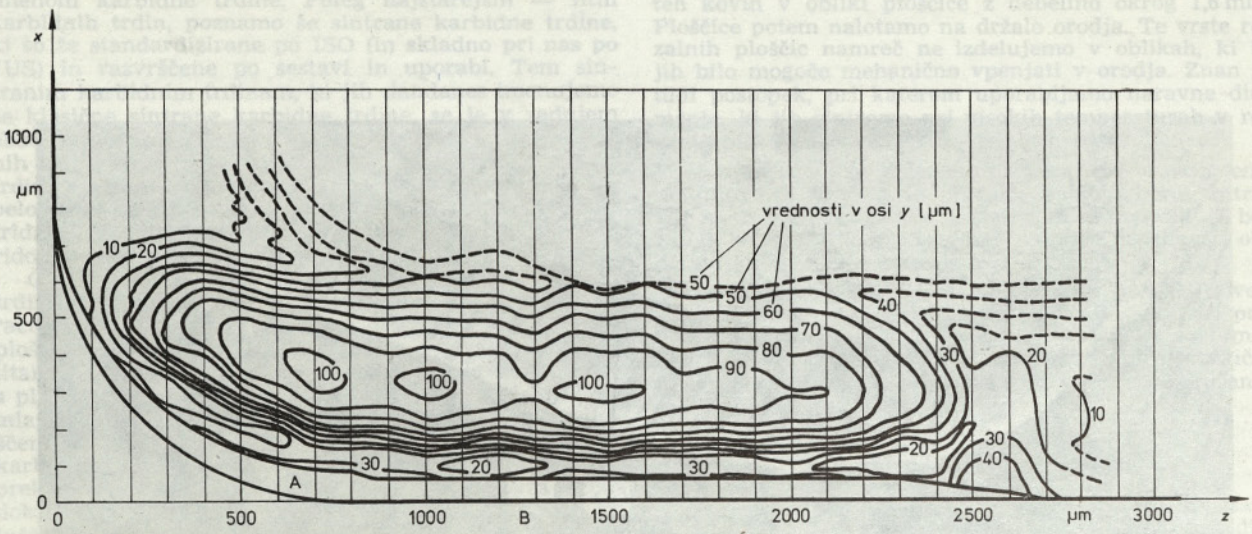
4.4. *Raziskave obrabe*

Največjo obrabo na prosti ploskvi VB = 0,51 mm smo zaznamovali na rezalnem robu C_2. Da bi dobili globlji vpogled smo natančneje analizirali obrabo na tem rezalnem robu. Slika 3 prikazuje posnetek rezalnega robu C_2, slika 4 pa podrobno analizo globine obrabe na cepilni ploskvi. S slike 4 je zelo lepo razvidno, da sega obrabna kotanja, ki nastane na cepilni ploskvi rezalne ploščice, najgloblje vzdolž rezalnega roba in se zmanjšuje v smeri koordinate z. Obraba na samem rezalnem robu znaša pretežno 30 μm, nato pa se močno veča in doseže v smeri odtekanja odrezka do 100 μm. Znatno bolj položen je zadnji rob kotanje, ki preide v posebej oblikovan žleb. S slike je tudi razvidna obraba na prosti ploskvi. Meritve so pokazale, da se je rezalni rob zaradi obrabe premaknil za 65 μm.

Slike 5, 6 in 7 kažejo obrabo na rezalnih robovih C_1, C_2 in D_2. Iz njih lahko povzamemo, kakšno spremembo v obrabi ustvarja zmanjšanje podajanja s. Pri rezalnih robovih po slikah 5 in 6 znaša podajanje s = = 0,22 mm/vrt, po sliki 7 pa s = 0,132 mm/vrt.

Pri raziskovanju obrabnih področij rezalnega roba C_1 smo opazili zanimive rezultate. Pri raziskovanju obrabnega področja na cepilni ploskvi smo z elektronskim mikroskopom *scanning* ugotovili, da je pri velikih povečavah mogoče opaziti komaj vidne razpoke značilnih oblik (sl. 8).

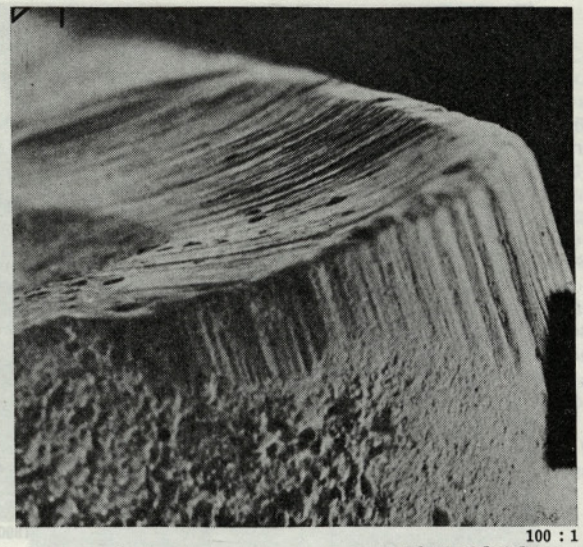
Pozneje smo raziskali tudi obrabna področja na rezalnih robovih C_2 in D_2. Sliki 9 in 10 kažeta razpoke na dnu kotanje na cepilni ploskvi. Na sliki 9, ki prikazuje kotanjo na rezalnem robu C_2, so razpoke začrtane zelo razločno in ostro. Slika 10 kaže mikrorazpoke na cepilni ploskvi rezalnega roba D_2. Razpoke na tem rezalnem robu so zelo podobne onim na sliki 8, čeprav šele po skoraj 13-krat daljšem času rezanja. Iz tega lahko sklepamo, da ima tudi v tem primeru podajanje velik vpliv na stanje na rezalnem robu. Na prosti ploskvi nismo opazili nobenih razpok tudi pri največjih povečavah. Popolnoma drugačno sliko smo dobili pri raziskavah rezalnega roba J_7, tj. pri obdelavi mehko žarjenega ogljikovega orodnega jekla. Čeprav je večanje obrabe pri rezalnem robu J_7 v primerjavi z rezalnimi robovi C_1, C_2 in D_2 zelo podobno, tako na prosti kakor tudi na cepilni ploskvi. Pri odrezavanju tega jekla nismo zasledili v kotanji nobenih razpok tudi pri enakih okoliščinah rezanja in največjih povečavah. Nepričakovano pa smo pri rezanju tega jekla opazili nalepljeni material na zadnji steni kotanje, torej na cepilni ploskvi (sl. 11) in tudi na prosti ploskvi (sl. 12). Analize so pokazale, da ima navarjeni material enako sestavo kakor material obdelovanca.



A obrabljen rob
B neobrabljen rob
— obrabljeno
- - - neobrabljeno

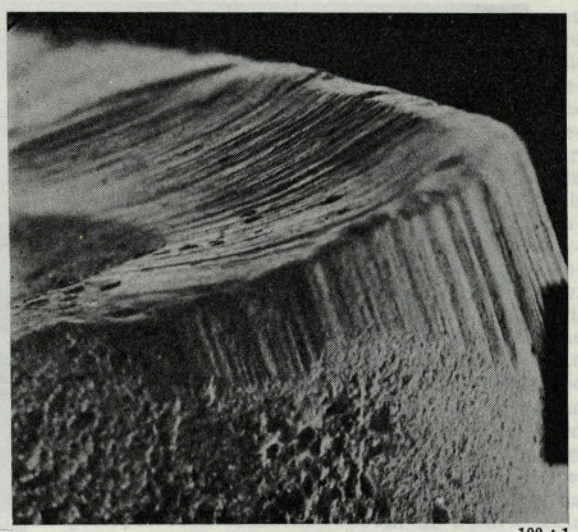
Sl. 4. *Analiza obrabe na cepilni ploskvi rezalnega roba* C_2
(Vse označbe na sliki so podane v μm)

a



100 : 1

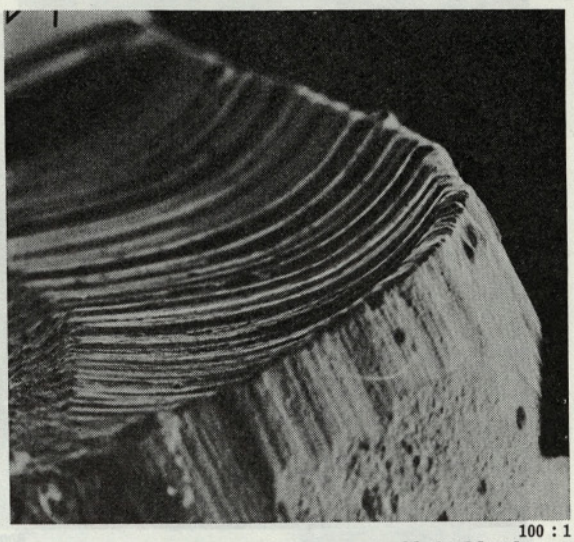
b



100 : 1

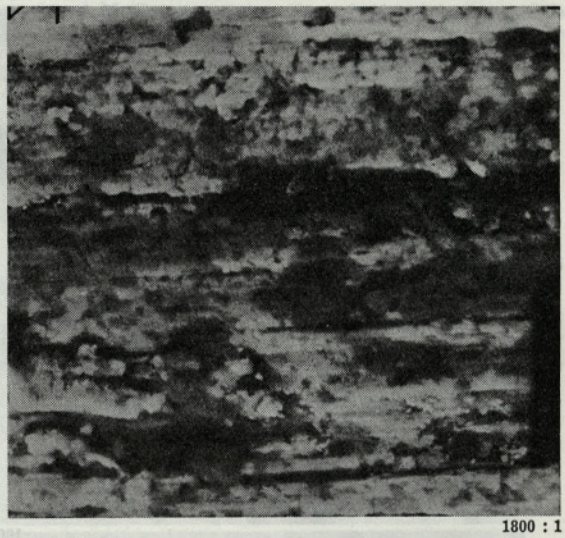
Sl. 5. *Obraba na rezalnem robu* C_1

a



100 : 1

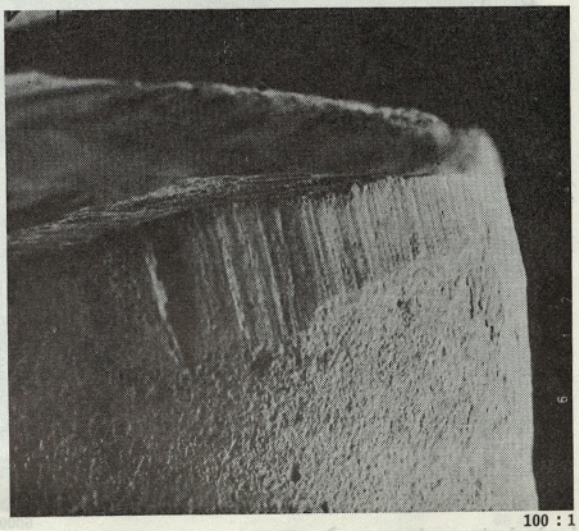
b



1800 : 1

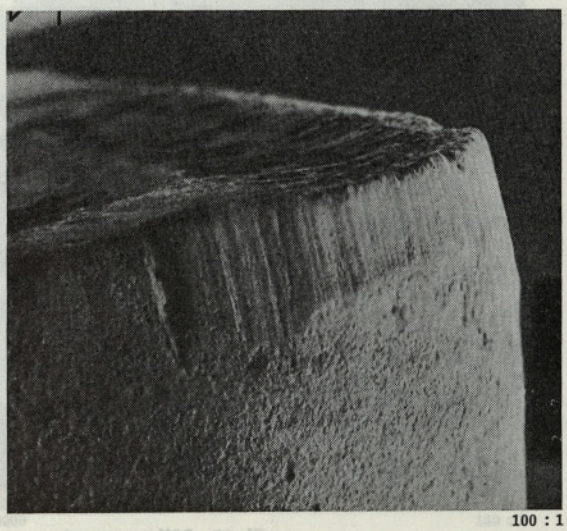
Sl. 6. *Obraba na rezalnem robu* C_2
a — cepilna ploskev, b — prosta ploskev

a



100 : 1

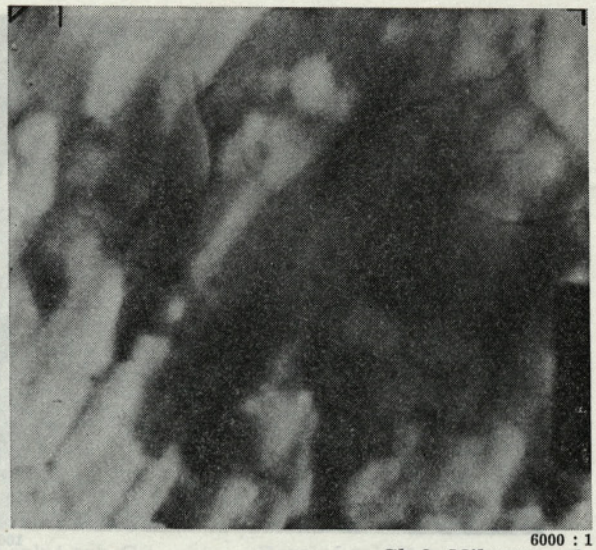
b



100 : 1

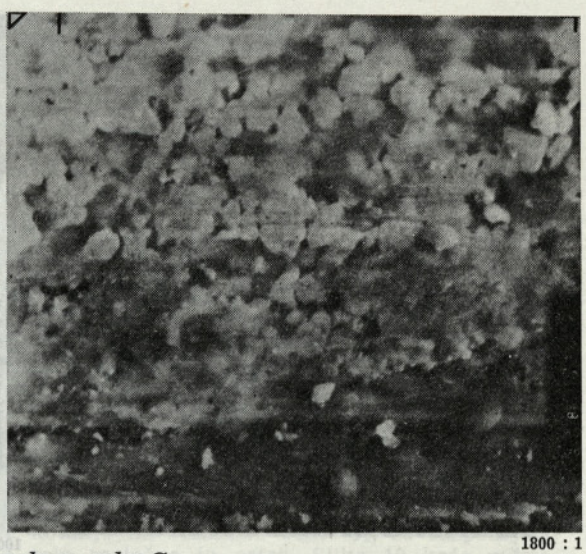
Sl. 7. *Obraba na rezalnem robu* D_2

a



6000 : 1

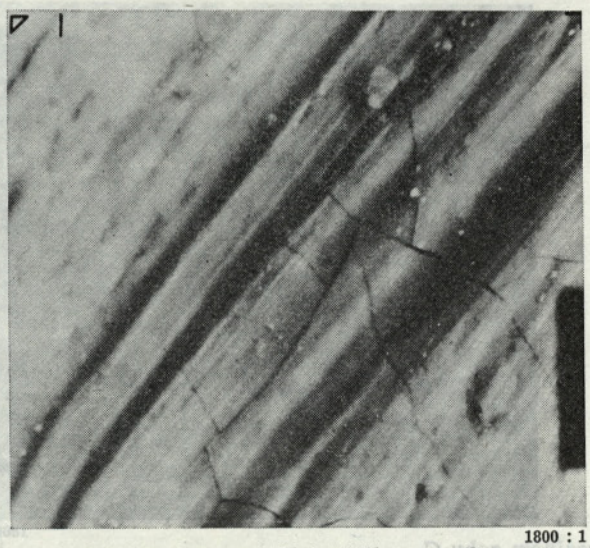
b



1800 : 1

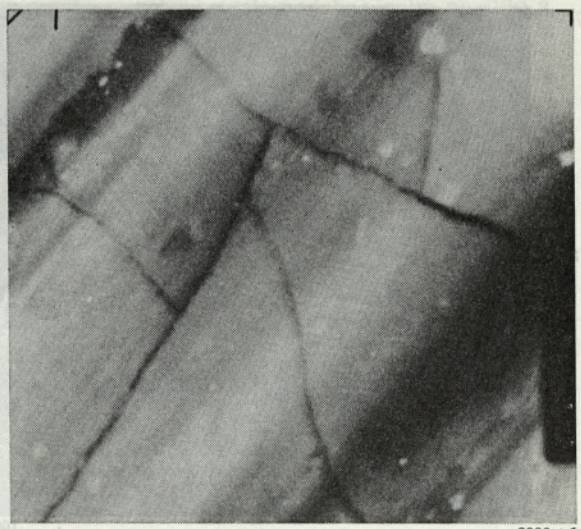
Sl. 8. *Mikrorazpoke na rezalnem robu* C_1
a — cepilna ploskev, b — prosta ploskev

a



1800 : 1

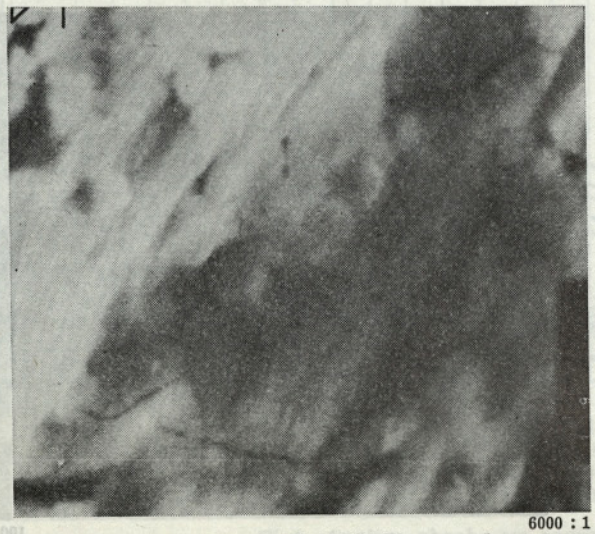
b



6000 : 1

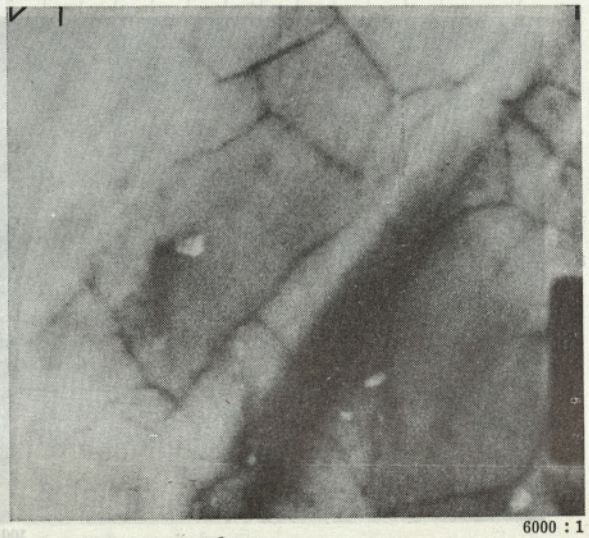
Sl. 9. *Mikrorazpoke na cepilni ploskvi rezalnega roba* C_2

a



6000 : 1

b



6000 : 1

Sl. 10. *Mikrorazpoke na cepilni ploskvi rezalnega roba* D_2

5. Analiza rezultatov

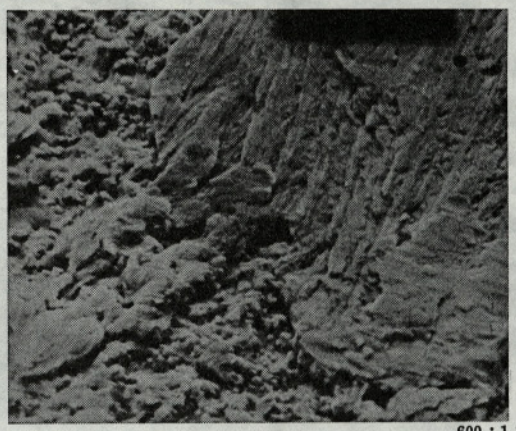
Slike 5, 6 in 7 prikazujejo rezalne robove C_1, C_2 in D_2 pri enakih pogojih rezanja razen podajanja, ki se je spremenilo pri rezalnem robu D_2 od 0,22 na 0,132 mm/vrt. Če primerjamo posnetka na slikah 5 in 6, lahko ugotovimo popolno podobnost obrabe na cepilni in na prosti ploskvi. Tudi obraba pri rezalnem robu D_2 je podobna obema opisanima, čeprav je tukaj le-ta najmanjša pri znatno daljšem času rezanja. Iz tega lahko ugotovimo, da ima podajanje velik vpliv na obrabo in s tem na obratovalno dobo orodja. S slike 4, ki prikazuje obliko in globino kotanje na cepilni ploskvi, pa lahko povzamemo, da je kotanja zaprta in odmaknjena od rezalnega roba. To potrjujeta tudi oba posnetka rezalnih robov C_1 in C_2 (sl. 13 in 14). Zelo podobno sliko daje tudi posnetek rezalnega roba D_2. Obraba kotanje oblikuje žlebove, ki potekajo pravokotno na rezalni rob (sl. 5, 6 in 7).

Če primerjamo fotografske posnetke na slikah 8, 9 in 10, lahko opazimo, da kažejo vse tri posebne vrste razpok na dnu kotanje. Oblike razpok spominjajo na značilne mrežaste razpoke, ki so znane pri brušenju zakaljenega jekla. To so razpoke, ki nastajajo zaradi prevelikih temperaturnih napetosti kot posledice rezanja. Razpoke take vrste nastajajo pri lokalnih preobemenitvah, ki povzročajo hitro spreminjanje temperatur na cepilni ploskvi. Značilne so prav za trde in krhke materiale. Popolnoma drugačno sliko dobimo, če analiziramo rezalni rob J_7. Namesto razpok smo našli v tem primeru na kotanji nalepljen obdelovalni material. Iz tega lahko sklepamo, da je za razmere na rezalnem robu bistveno pomemben tudi material obdelovanca. Jeklo, ki smo ga obdelovali z rezalnimi robovi C_1, C_2 in D_2, je posebno jeklo za avtomate. Zaradi ugodnih oblik odrezkov ima to jeklo določene količine žvepla in svinca. Žveplo tvori v železu z manganom manganov sulfid MnS. Pogostost vključkov MnS je v takem jeklu zelo velika. Zaradi tega je pri rezanju, ko drsi odrezek po cepilni ploskvi, tudi pogost stik med vključki MnS in obrabno površino cepilne ploskve. Pri tem se vključki MnS tarejo ob cepilno ploskev in nalepljajo nanjo. Raziskave so zelo razločno pokazale, da dobimo pri vseh treh rezalnih robovih do 2 μm debelo plast MnS. S plastjo MnS se znatno zmanjša odvod toplote s cepilne ploskve, saj je znano, da je toplotna prevodnost MnS mnogo manjša kakor pri že tako slabo prevodnih rezalnih ploščicah iz karbidne trdine. Poleg

a

180 : 1

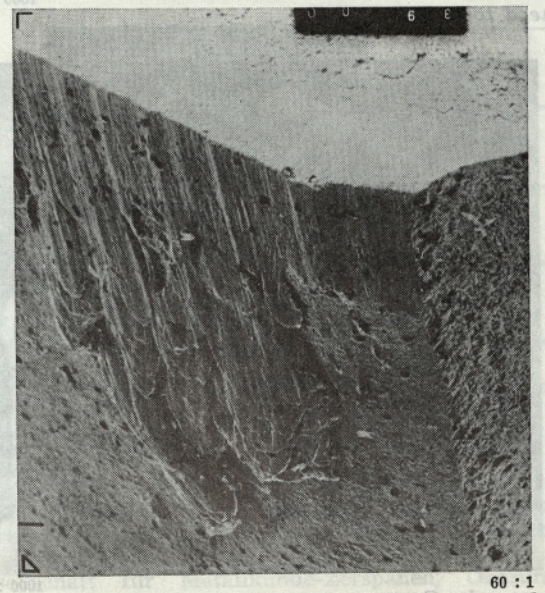
b



600 : 1

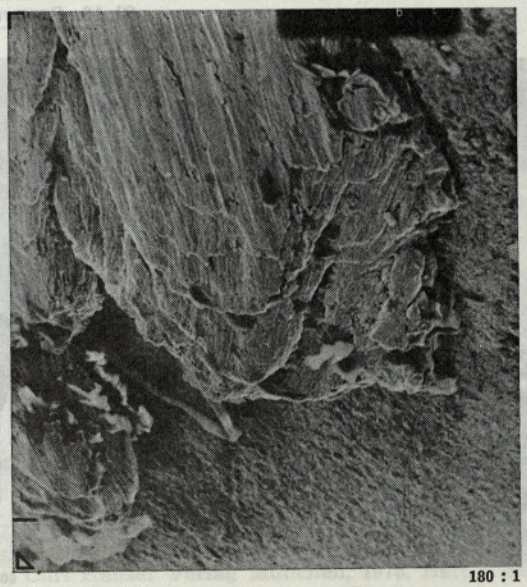
Sl. 11. *Nalepljeni material na zadnjem delu obrabne kotanje na rezalnem robu J_7*

a



60 : 1

b



180 : 1

Sl. 12. *Nalepljeni material na prosti ploskvi rezalnega roba J_7*

tega se zaradi MnS zmanjša tudi prevodnost obdelovanega jekla. Posledica tega je naglo naraščanje temperature na cepilni ploskvi, ki povzroča temperaturne napetosti. S slik 15 in 16 lahko razberemo vse legirne elemente, ki so bili prisotni na robu kotanje. To so legirni elementi, ki sestavljajo rezalno ploščico (W, Co, C, Ti in Ta), ter elementi Fe, Mn, S in Al, ki so prišli sem z odrezki, torej z materialom obdelovanca.

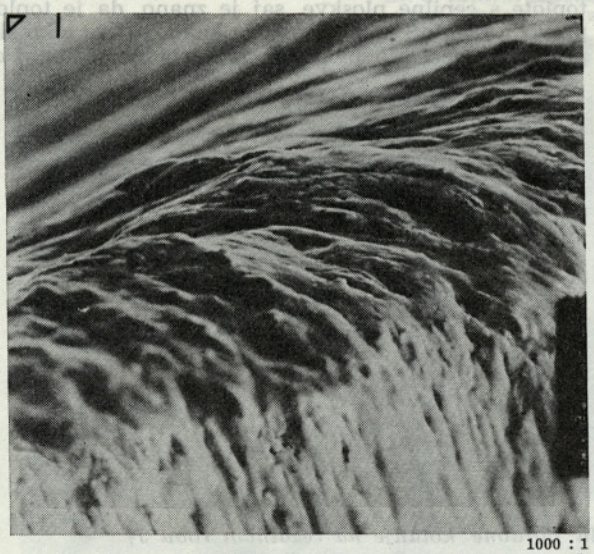
Svinca na mestu rentgenske analize nismo zasledili oziroma le v izredno majhnih količinah. Našli smo ga na površinah rezalnega roba, kjer ni stika med obdelovancem in rezalnim orodjem, torej na neobrabljenih površinah rezalne ploščice. Iz tega lahko sklepamo, da se svinec pri rezanju uparja (pri parnem tlaku 878 Pa = = 6,585 mm Hg se uparja Pb pri 1400 K), njegove pare pa kondenzirajo na prostih delih rezalne ploščice. To dokazuje, da so pri rezanju nastale temperature, ki presegajo 1000 °C.

Povedano potrjujejo tudi raziskave zrnatosti karbidov (WC, TiC in TaC) na dnu kotanje. Iz rezultatov raziskav izhaja, da se zrnatost poveča na dnu kotanje za 25 do 30 % nasproti zrnatosti v notranjosti rezalne ploščice, torej na mestu kjer temperaturno ni bila obremenjena. Za analizo zrnatosti smo pripravili preizkušance posebej, opazovali pa smo jih pri 4000-kratni povečavi.

5. Sklepi

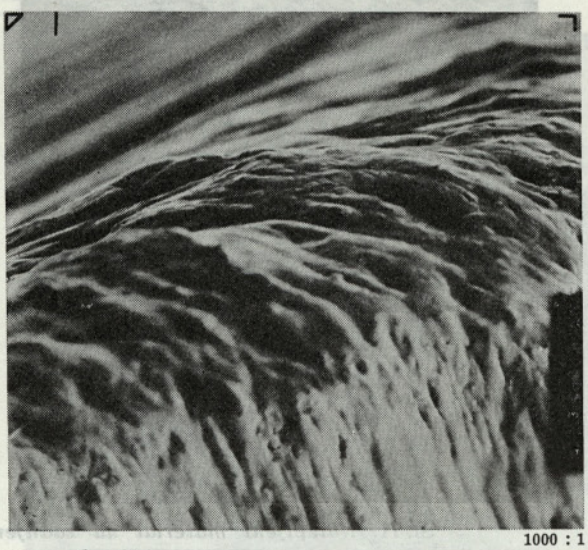
Iz rezultatov preizkusov in analize lahko sklepamo, da vplivajo na razmere na rezalnem robu tako okoliščine pri rezanju kakor tudi material obdelovanca. Koncentracije napetosti, ki so posledica temperaturnih sprememb na cepilni ploskvi, povzročajo mikrorazpoke na dnu obrabne kotanje na cepilni ploskvi. Mikrorazpoke, ki so kratke in sklenjene po posameznih razah, navadno niso preveč nevarne in ne vplivajo na dobo trajanja orodja. Pri večjih koncentracijah napetosti pa so lahko znatno večje in lahko močno vplivajo na dobo trajanja rezalnega roba, saj vodijo do njegovega zloma. Pri nastajanju temperaturnih napetosti na cepilni ploskvi je, kakor kažejo raziskave, precej pomembna tudi toplotna prevodnost materialov. Zaradi tega bi bilo treba raziskati materiale tudi v tej smeri, pri tem pa upoštevati toplotno prevodnost tako pri materialu orodja kakor tudi pri materialu obdelovanca.

a



1000 : 1

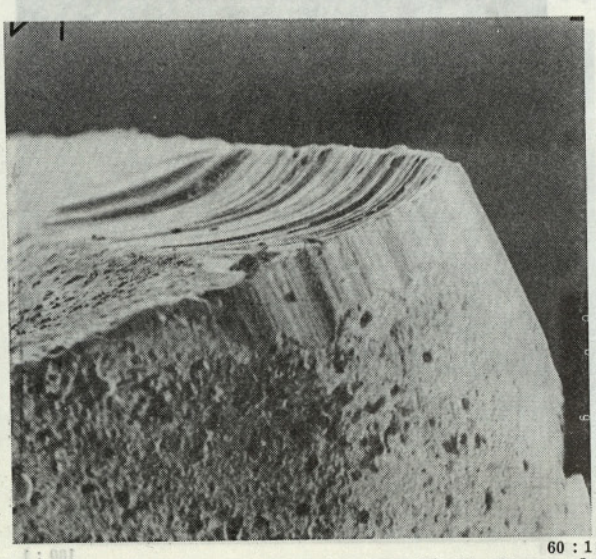
b



1000 : 1

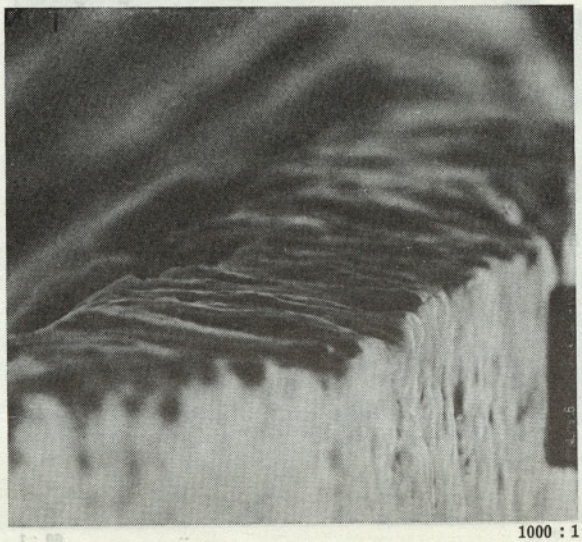
Sl. 13. *Posnetek rezalnega roba* C_1

a



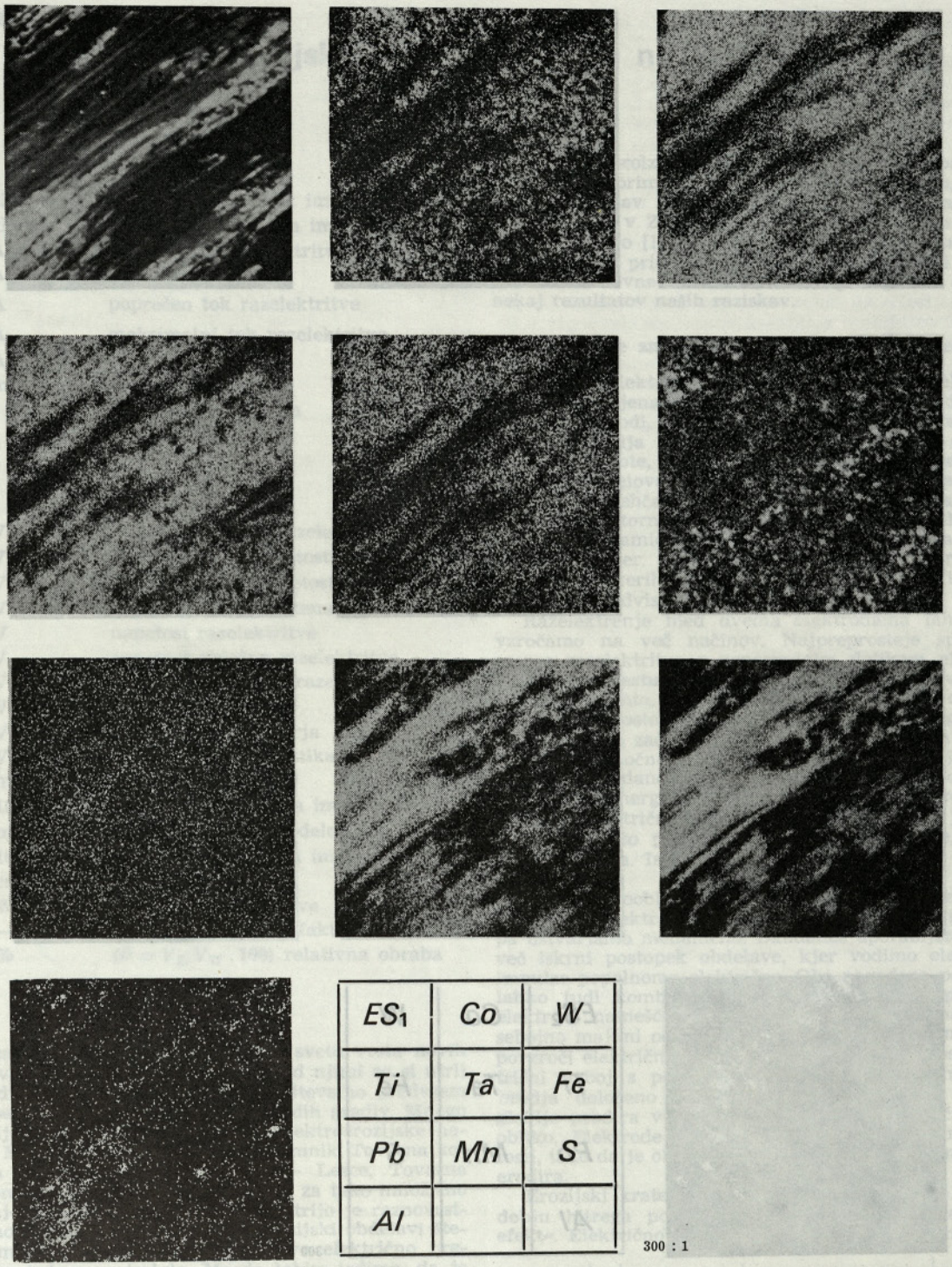
60 : 1

b



1000 : 1

Sl. 14. *Posnetek rezalnega roba* C_2



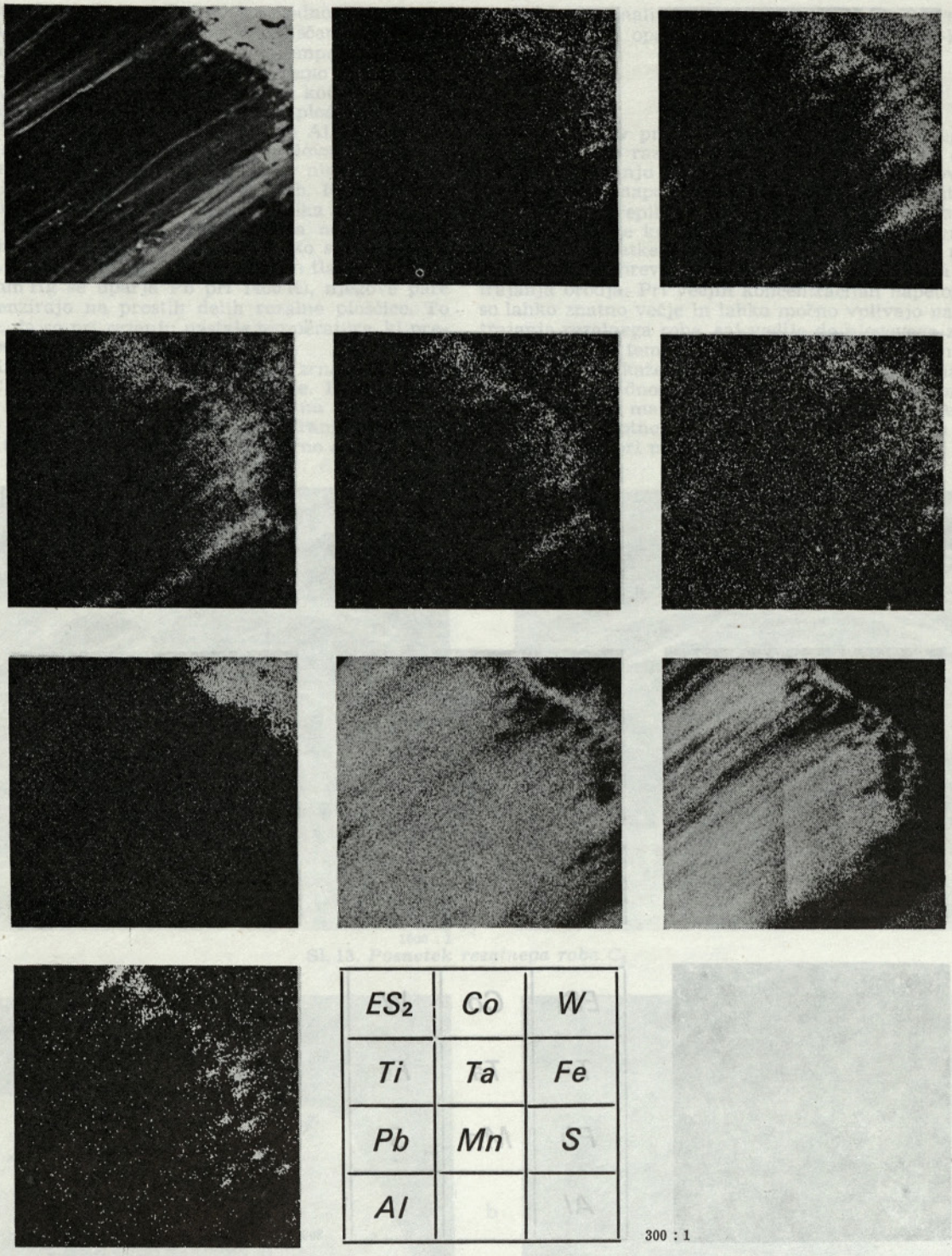
Sl. 15. *Mikroanaliza kotanje na rezalnem robu* $C_2 - ES_1$

LITERATURA

[1] Schaumann, R.: Die Schneidstoffe für Zerspanwerkzeuge, ihre Anwendungsgebiete und Einsatzbedingungen, Berichte zum Symposium der Deutschen Gesellschaft für Metallkunde-Zerspanen, Oberursel 1974.

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

[3] Bellmann, B., Sack, W.: Schneidstoffe — Entwicklungsstand and Anwendung. Werkstatt und Betrieb, Carl Hanser Verlag München, 1975, Heft 5, Seite 257—271.



Sl. 16. *Mikroanaliza kotanje na rezalnem robu* C_2 — ES_2

[4] Svahn, O.: Toughness of carbides in cutting tools, Institut för Verkstadsteknisk Forskning, Göteborg 1975.

[5] Loladze, T. N.: Nature of Brittle Failure of Cutting Tool. CIRP ANNALS 1975, Vol. 24/1, p. 13—16.

[6] Barin, L., Knache, O.: Thermochemical Properties of Inorganic Substances. New York, 1973.

[7] Glusič, P.: Raziskave rezalnega roba pri ploščicah iz karbidnih trdin pri struženju jekla. Diplomsko delo, Fakulteta za strojništvo Univerze v Ljubljani, 1976.

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