

DK 621.923.6:549.2

Brušenje orodij iz karbidnih trdin

JANEZ PEKLENIK

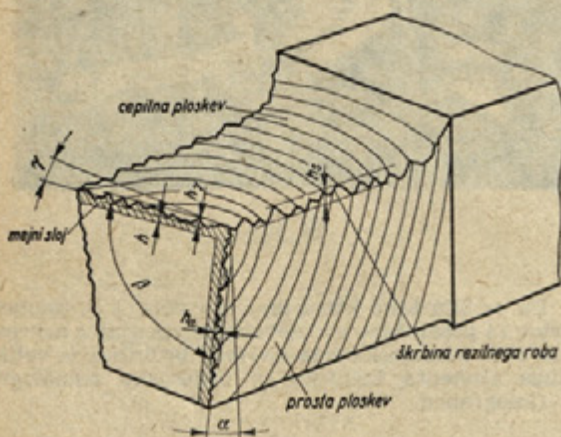
V tehniki odrezovanja kovin z rezilnim klinom so znane najrazličnejše vrste materialov, ki služijo za rezilna orodja. Dandanes so v tehnoloških procesih odrezovanja v rabi vse vrste od običajnega orodnega in brzoreznega jekla do karbidnih trdin, diamantov in v novjšem času tudi keramičnih spojin. Posebno v zadnjih desetih letih je razvoj v tehnološkem procesu priskrbel poseben poudarek in mesto orodjem, obloženim s karbidnimi trdinami. Velika trdota in toplotna trdnost teh materialov sta pri odrezovanju omogočili uporabo velikih hitrosti pri rezanju. Posledica je bila povečana storilnost obdelovalnih strojev glede na odrezani minutni volumen kovine.

Vzporedno z razvojem karbidnih trdin so se množila še druga vprašanja pri uporabljanju te vrste orodij v proizvodnji. Med najbolj pereče in pomembne probleme sodi pripravljanje oz. obnavljanje skrhanih rezilnih klinov. S problematiko brušenja karbidnih trdin se ukvarjata znanost in praksa že, odkar so si karbidne trdine utrle pot v proizvodnjo oziroma odrezovanje kovin.

Priporočila in napotki za brušenje te vrste orodij, ki so na izbiro v literaturi, niso brez subjektivnih vplivov. Kvaliteta nabrušenja rezilnega klina je odvisna pri tem od vestnosti in spretnosti brusilca. Zavoljo tega sta vpliv pogojev in način brušenja karbidnih trdin zelo različna glede na kakovost nabrušenega orodja. To se kaže predvsem na obstojni dobi rezilnega klina, ki služi kot eno izmed meril za kvaliteto nabrušenja. Iz tega razloga omenjena priporočila niso objektivna in ne morejo imeti splošne veljavnosti.

Za brušenje orodij, obloženih s karbidnimi trdinami, je bilo potrebno ustvariti enotno bazo. Predvsem se je izkazalo za neogibno potrebno izključiti subjektivni vpliv brusilca na kvaliteto nabrušenega orodja. Razen tega je bilo potrebno raziskati in osvetliti ta problem ne samo s praktičnega vidika, marveč poiskati globlje zveze in dogajanja pri brušenju karbidnih trdin. V laboratoriju za obdelavalne stroje in tehnologijo na tehniški visoki šoli v Aachenu sem obsežno raziskal to problematiko. Z definiranimi pogoji brušenja je bilo mogoče raziskati vpliv različnih komponent, ki se pojavljajo pri brušenju karbidnih trdin. Ugotovljene so bile zveze med brusilno in podajalno hitrostjo, velikostjo dotikalne ploskve med brusom in ploščico iz karbidne trdine ter prebrusnim številom.

Takšna priprava orodij daje glede na obstojno dobo rezila enotno izhodišče. To je sedaj, ko se proizvodnja vedno bolj avtomatizira, velikega pomena.



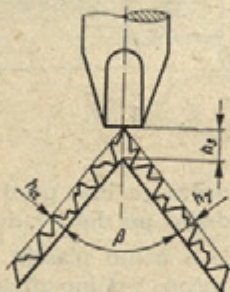
Sl. 1. Mikrogeometrija rezilnega klina

Od kvalitete nabrušenja je odvisna obraba orodja in s tem čas, v katerem lahko odrezujemo kovino. Pri različnih kakovostih nabrušenja se lahko zgodi, da se rezilo predčasno obrabi ali pa ima večjo obstojno dobo. Takšno variiranje pa ni zaželeno, posebno ne pri transformiranih obdelovalnih progah, kjer ta pojav lahko privaja do časovnega izpada posameznih taktov in s tem celotnega sistema obdelovalnih enot.

Tudi pri raziskavah obdelovalnih kovin v laboratorijih in praksi je treba upoštevati to okoliščino. Zato je zahteva po izločitvi subjektivnih vplivov na rezultate raziskav neogibno potrebna in upravičena.

KVALITETA REZILNEGA KLINA

Rezilni klin orodja je omejen z dvema ploskvama: prosto in cepilno ploskvijo (slika 1). Presečiščnica obeh ploskev tvori rezilni rob. Po nabrušenju rezilnega klina je kvaliteta rezila odvisna od hrapavosti proste in cepilne ploskve, velikosti škrbine in strukture notranjega mejnega sloja. S pojmom notranjega mejnega sloja je treba razumeti sloj materiala med atmosfero in nepoškodovano strukturo kovine. Ta sloj je zaradi mehaničnih in termičnih obremenitev med obdelavo dobil poškodbe in deloma spremembe prvotne strukturne zgradbe.



Sl. 2. Geometrična predstava škrbine rezilnega roba

Kvaliteta rezilnega roba je podana z velikostjo škrbine, ki je številčno določena s hrapavostjo cepilne in proste ploskve, ter kotom klina β (sl. 2).

Po Heissu [1] znaša velikost škrbine pri rezilnem robu:

$$h_s = \frac{1}{\sin \beta} \sqrt{h_a^2 + h_r^2 + 2 h_a h_r \cos \beta} \quad (1)$$

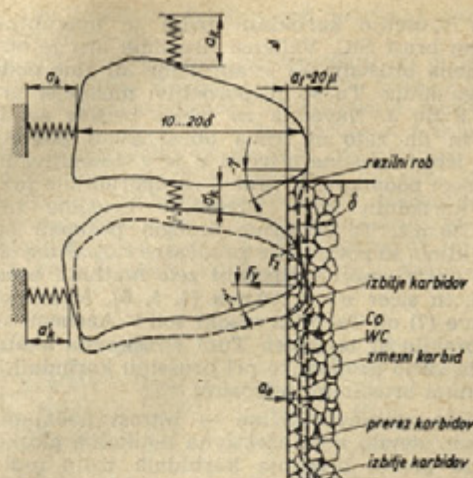
$$\text{pri } \beta = 90^\circ \text{ je } h_s = \sqrt{h_a^2 + h_r^2} \quad (2)$$

Naše raziskave so omejene le na problem brušenja karbidnih trdin. Konstrukcija orodja in kvaliteta karbidnih trdin kot rezilnega gradiva nista bili pritegnjeni v oceno o kvaliteti orodja.

OBREMENITVE KARBIDNIH TRDIN PRI BRUŠENJU

Da bi si ustvarili predstavo o tem, kaj se dogaja pri brušenju karbidnih trdin, je potrebno ugotoviti vrste in mehanizem obremenitev, ki nastajajo pri brušenju teh gradiv.

Pri brušenju sta karbidni skelet (volframovi in titanovi karbidi) in vezivo (kobalt) izpostavljena menjajočim se mehaničnim in termičnim obremenitvam.



Sl. 3. Mehanične menjajoče se obremenitve skeleta karbidne trdine L 3 ($v = 17,6$ m/s, $w = 10$ m/min, $a = 5 \mu$, brus SiC 46 H, stransko podajanje)

Mehanizem mehaničnih obremenitev je pokazan na sliki 3. Velikosti karbidov in brusilnih zrn sta pokazani v pravilnem sorazmerju.

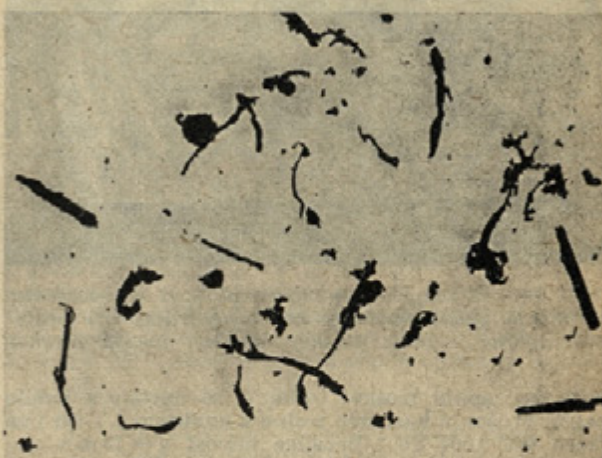
Zrno udarja z brusilno hitrostjo v na rezilni rob orodja iz karbidne trdine. Zaradi tega udarca se pojavljajo velike dinamične obremenitve, ki jih mora prenašati karbidni skelet. Odrivalna sila F_y povzroča delno zmanjšanje teoretične pristavitve a_t (n. pr. $a_t = 20 \mu$) na efektivno pristavitve a_e . Iz prakse je znano, da brus ne odrezuje nikdar vsega gradiva, ki je bilo pristavljeno za iznos a_t , temveč vedno le njegov del. To povzroča obraba brusa in elastične deformacije stroja, obdelovanca in brusa, ki se pojavljajo zaradi sil pri brušenju. Zaradi velikih dinamičnih obremenitev na rezilnem robu, kakršne mora prenašati karbidni skelet, se izluščijo posamezni karbidi ali pa cele skupine karbidov. V nadaljnjem poteku procesa brušenja zrno deloma reže in deloma izbija posamezne karbide iz skeleta (slika 3 — črtasta linija). Da teče tudi pri brušenju karbidnih trdin proces odrezovanja, je bilo dokazano s številnimi raziskavami na tehniški visoki šoli v Aachenu. Na slikah 4 in 5 so prikazani odrezki, ki so nastali pri brušenju karbidne trdine L 3 z različnimi pogoji brušenja.

Termične obremenitve karbidne trdine med procesom brušenja so karakterizirane z visokimi trenutnimi temperaturami in velikimi hitrostmi segrevanja. Mc Kee, Boston in Moore [2] so ugotovili pri brušenju jekla, da znašajo trenutne temperature $T_{max} = 1400 \dots 1700^\circ \text{C}$. Pri brušenju karbidnih trdin so verjetno še nekaj višje. Kosteckij [3] je dognal pri raziskavah hitrosti segrevanja pri brušenju jekla SM, da znašajo te okoli $100\,000^\circ/\text{s}$. Hitrost prenašanja toplote v notranjost kovine pa znaša približno $800 \dots 1000^\circ/\text{s}$.

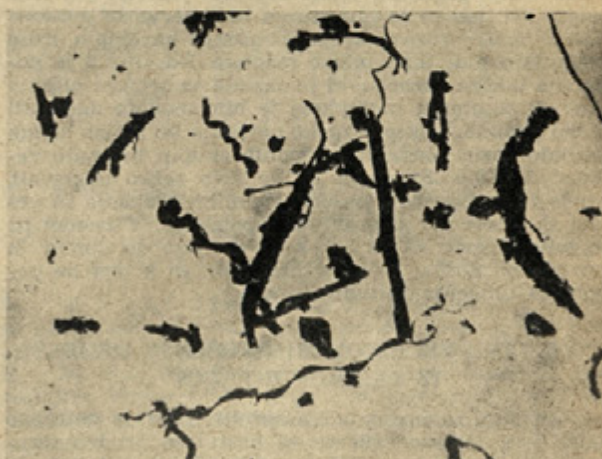
Potek termičnih obremenitev pri brušenju ploščic iz karbidnih trdin je shematično pokazan na sliki 6 a. Pri vprijetju brusa se pojavljajo na površini karbidne trdine že omenjene visoke trenutne temperature T_{max} . Toplota, ki se pri tem proizvaja v času enega prehoda brusa t_H na brušeni ploskvi, povzroča porast srednje temperature T_{med} v neposredni bližini brušene ploskve. Po večkratnih prehodih brusa preko ploskve karbidne trdine, ki so potrebni za nabrušenje orodja, se temperatura bistveno ne poviša. Dovajana in odvajana toplota sta v tem primeru v ravnotežju. Pogoje brušenja je treba izbirati tako, da srednja temperatura T_{med} ne prekoračuje dopustne temperature T_{dop} . Po naših raziskavah sme znašati ta temperatura $T_{don} = 350 \dots 450^\circ \text{C}$. V tem primeru se pri brušenju ne more omajevati ali pa rušiti skelet karbidne trdine v notra-

njem mejnem sloju. V primeru, če so pogoji brušenja izbrani nepravilno, je dovajana toplota večja od odvajane. Po večkratnih prehodih brusa preko brusilne ploskve naraste srednja temperatura T_{med} preko dopustne T_{dop} (slika 6 b). Pri teh višjih temperaturah T_{med} se zaradi tri- do štirikrat večjega razteznostnega koeficienta kobalta v primerjavi z volframovimi ozir. titanovimi karbidi pojavljajo poškodbe na rezilnem klinu.

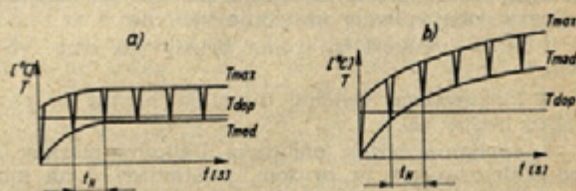
Napetosti, ki se pojavljajo zaradi prevelikih temperaturnih razlik na brušeni ploskvi, povzročajo makro in mikro razpoke v karbidni trdini. Le-te privajajo, kakor je znano iz prakse, do popolnega in hitrega uničenja dragocenih orodij. Posledice termičnih preobremenitev so pokazane na slikah 7 do 9. Makro raz-



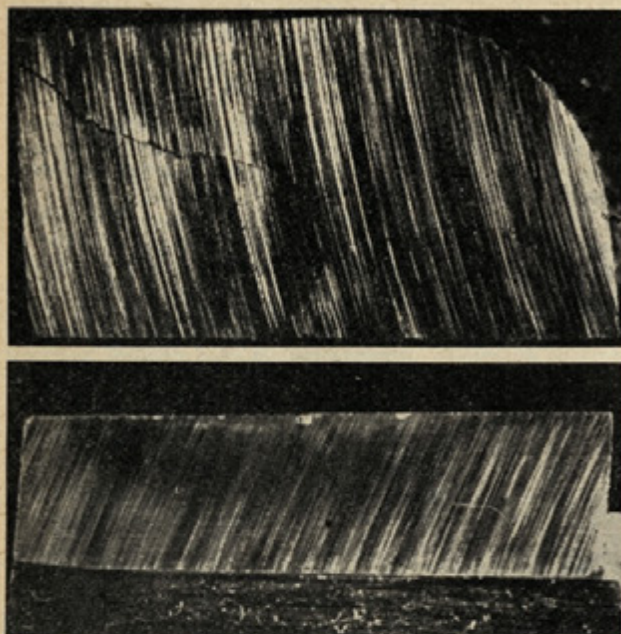
Sl. 4. Odrezki karbidne trdine L 3 pri brušenju, $v = 35$ m/s. (45:1)



Sl. 5. Odrezki karbidne trdine L 3 pri brušenju, $v = 17,5$ m/s. (45:1)



Sl. 6. Termične obremenitve karbidne trdine pri brušenju: a) razmere pri pravilno izbranih pogojih brušenja, b) razmere pri pretiranih pogojih brušenja



Sl. 7. Makro razpoke na cepilni ploskvi kot posledica termičnih preobremenitev karbidne trdine pri brušenju; zgoraj: cepilna ploskev, spodaj: prosta ploskev

poke na cepilni ploskvi (slika 7) so nastale s temile pogoji brušenja karbidne trdine s kvaliteto L 1 (ki ima razen WC tudi TiC): brusilna hitrost $v = 15$ m/s, podajalna hitrost $w = 6$ m/min, pristavitev brusa pri enem prehodu $a = 10$ μ /gib in celotna pristavitev $a_0 = 200$ μ . Efektivna dotikalna ploskev med brusom in brušeno ploskvijo je znašala $A = 120$ mm². Na prosti ploskvi se jasno vidijo globinski vplivi segretja ploščice pri brušenju. Pri tem se je spremenila tudi barva te ploskve. Razen makro razpok se pri brušenju karbidnih trdin pojavljajo tudi tkzv. mikro razpoke. Na sliki 8 je pokazana takšna razpoka, ki je nastala na brušeni ploskvi sami. S posebnim postopkom je bilo mogoče ugotoviti njeno globino. Mikro razpoke potekajo po mejah samih karbidov ozir. mešanih karbidnih skupin in imajo velikost 5...100 μ . Sicer pa jih je zelo težko odkrivati, saj je za to potrebna posebna tehnika jedkanja in velika skrbnost pri pripravljanju poizkusa. V resnici pa so zelo nevarne za orodja, ker privajajo do zlomov in razrušitev ploščic iz karbidnih trdin in s tem do popolnega uničenja rezilnih klinov.

VPLIVNE VELIČINE PRI BRUŠENJU ORODIJ IZ KARBIDNIH TRDIN

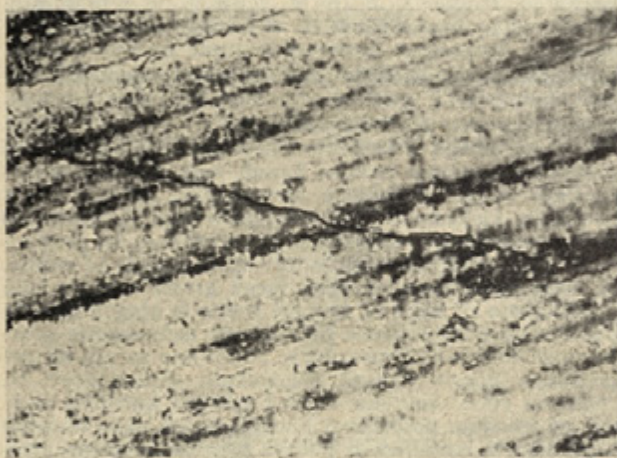
Za analizo brušenja karbidnih trdin je potrebno zajeti vse vplivne veličine, ki nastajajo pri tem procesu. V bistvu je zanimiv samo končni rezultat: to je kvaliteta nabrušenja rezilnega klina.

Na menjajoče se mehanske in termične obremenitve, hrapavost proste in cepilne ploskve ter škrbino rezilnega roba vplivajo naslednje veličine:

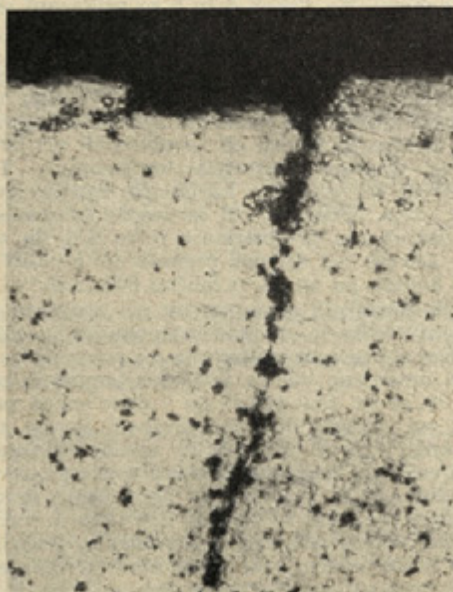
1. Brus (velikost in trdota brusilnega zrna, vežava),
2. kinematične veličine (brusilna hitrost v , podajalna hitrost w),
3. vprijemni pogoji (efektivna dotikalna ploskev A med obdelovancem in brusom, pristavitev a na gib ozir. pritisk naleganja p med brusom in obdelovancem),
4. prebrusno število u (kot odvajana veličina iz 2. in 3.),
5. hlajenje

Za brušenje karbidnih trdin se uporabljajo v splošnem brusi SiC. Velikost brusilnih zrn je odvisna od namena brušenja — vnaprejšnje ali fine obdelave rezilnega klina. Tu so priporočljivi mehkejši brusi s trdoto F do J. Navodila za izbiro brusov so dovolj znana in jih zato ni treba obravnavati podrobneje. Tudi o izbiri brusilne hitrosti v je v dosegljivi literaturi precej podatkov. V praksi se uporabljajo pri brušenju karbidnih trdin prevelike brusilne hitrosti $v = 20...30$ m/s. Te so krive mnogih poškodb na rezilnem klinu, ki povzročajo predčasne razrušitve orodja. Razvoj gre v smeri k uporabi zelo majhnih brusilnih hitrosti, in sicer $v = 2...10$ m/s [4, 5, 6]. Moje novejša raziskave [7] na Tehniški visoki šoli v Aachenu so potrdile pravilnost te smeri. Tudi stroškovna analiza je pokazala večjo ekonomiko pri brušenju karbidnih trdin z majhnimi brusilnimi hitrostmi.

Ostale vplivne veličine — hitrost podajanja w , prebrusno število u in efektivna dotikalna ploskev A , ki so za proces brušenja karbidnih trdin tudi zelo važne, doslej pri raziskavah in v praksi brušenja orodja niso bile upoštevane. Naslednje raziskave pa so po-



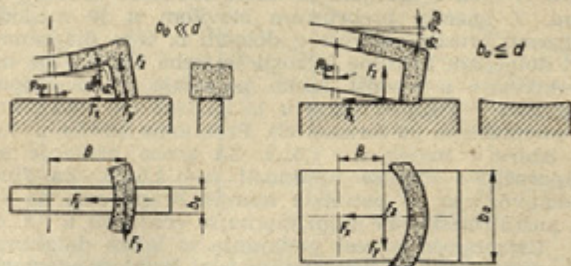
Sl. 8. Mikro razpoka na brušeni ploskvi karbidne trdine L 1



Sl. 9. Globina mikro razpoke na ploskvi, ki je pravokotna na brušeno

kazale, da imajo te veličine pri brušenju karbidnih trdin veliko vlogo.

Za določitev pogojev pri brušenju (v , w in u) je odločilna velikost efektivne dotikalne ploskve A med brusom in obdelovancem. Topografične meritve na obliki ravne ploskve, ki je bila brušena s skledastim brusom, so pokazale, da se brus pri premeru $d \gg b_0$ deformira tako, kakor je pokazano na sliki 10 levo. Širina brusa b prijemlje po vsej širini obdelovanca b_0 . Efektivna dotikalna ploskev znaša pri brušenju orodij s skledastimi brusi $A = b \cdot b_0$. V primeru, da je $d \geq b_0$, se pojavljajo drugačni vprijemni pogoji, kakor je raz-



Sl. 10. Vprijemni pogoji pri čelnem brušenju

vidno s slike 10 desno. (Podrobna razpravljanja o tem problemu naj bodo prihranjena za eno poznejših razprav o skledastem brušenju.)

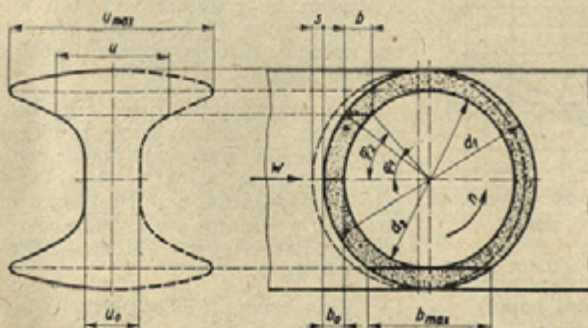
Prebrusno število u pove, kolikokrat prebrusi brus, ki ima širino b , eno točko na površini obdelovanca po enem prehodu. Pri okroglem brušenju se izraža ta veličina po Taskinu [8]:

$$u = \frac{b}{s} \quad (3)$$

V primeru skledastega brušenja ta definicija v prvotni obliki ni uporabna. Zato so za ta primer poiskali nov izraz za prebrusno število u pri skledastem brušenju. Ta se glasi za eno polovico brusa po matematičnih pretvorbah (slika 11):

$$u = \frac{b}{s} = \frac{b}{1000 w} \cdot n = \frac{v}{w} \cdot \frac{60}{d_1 \pi} \left(d_1 \cos \varphi_1 - \sqrt{d_2^2 - d_2^2 \sin^2 \varphi_2} \right) \quad (4)$$

b — širina brusa [mm]
 s — podajanje na en vrtiljaj brusa [mm/vrt].
 v — hitrost brušenja [m/s]
 w — hitrost podajanja [m/min]
 n — vrtilna hitrost brusa [min⁻¹]
 d_1, d_2 — zunanji in notranji premer brusa [mm]



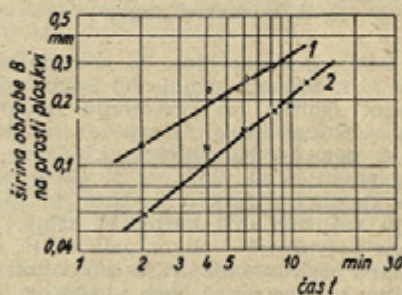
Sl. 11. Prebrusno število u pri čelnem brušenju

Ta izraz za prebrusno število u pri skledastem brušenju upošteva dimenzije brusa, njegov položaj glede na obdelovanec in vse kinematične veličine (v , w), ki so važne v procesu brušenja. V stari definiciji pa brusilna hitrost, ki pomembno vpliva na kvaliteto ipovršine, ni upoštevana. Na sliki 11 je podano prebrusno število za primer, če prebrusita obdelovančevo površino obe polovici brusa.

REZULTATI RAZISKAV

S številnimi raziskavami na različnih vrstah karbidnih trdin in s spreminjanjem velikosti efektivne dotikalne ploskve so bili ugotovljeni najugodnejši pogoji brušenja. Poizkusi so bili omejeni na brušenje s skledastimi brusi. Postopek lepanja rezil z diamantnimi brusi je bil pritegnjen v raziskave samo zaradi primerjanja obstojne dobe orodij, brušenih z definiranimi pogoji, in tistih, ki so bili brušeni, kakor je sedaj običajno v praksi, in nato lepani. Načelno je bilo brušeno z dodajanjem hladilnega olja Makron 21, ker se je to po raziskavah Rippleja [9] izkazalo za najugodnejše.

Kot kriterij za kvaliteto brušenja orodij s karbidnimi trdinami kvalitete L1, L2 in L3 je bila izbrana velikost obrabe na prosti in cepilni ploskvi rezilnega klina. Te raziskave so bile izvedene z naslednjimi pogoji rezanja: gradivo obdelovanca 16 Mn Cr 5, $v = 120$ m/min, $s = 0,25$ mm/vrt, $a = 2$ mm; z geometrijo rezila $\alpha = 8^\circ$, $\gamma = 8^\circ$, $\lambda = -4^\circ$ in nastavnim kotom $\kappa = 45^\circ$. Širina obrabe $B = 300 \mu$ na prosti ploskvi je bila določena kot primerjalni kriterij med orodji, ki so bila nabrušena z različnimi pogoji brušenja. Hrapavost proste in cepilne ploskve je zna-



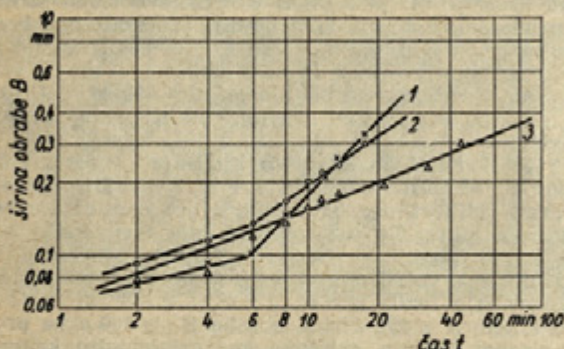
Sl. 12. Vpliv pogojev brušenja na obstojno dobo rezilnega klina (karbidna trdina L3)

Skledasti brus SiC 46 H, $b = 10$ mm, 1) $v = 15$ m/s, $w = 6,5$ m/s, 2) $v = 6$ m/s, $w = 3$ m/min

šala od $R = 0,7 \dots 2,0 \mu$. Takšne zelo kvalitetne ploskve so bile dosežene z razmeroma grobim brusom SiC 46 H brez iskrenja. Škrbavost rezilnega roba je znašala $R_a = 20 \dots 35 \mu$. Manjše vrednosti so bile dosežene pri majhnih hitrostih brušenja. Velikost hrapavosti in škrbavost sta bili merjeni s Forsterjevim površinskim merilnikom. Pri ugotavljanju škrbavosti je morala biti safirna igla posebno izoblikovana (slika 12). Proračun škrbavosti po Heissovi formuli glede na izmerjene velikosti škrbine ni dal ustrežajočih vrednosti.

Kolikšen je vpliv pogojev brušenja pri osterjenju orodij na odpornost pri obrabi, je razvidno iz položaja krivulj o obrabi (slika 12). Stružni nož s ploščico iz karbidne trdine L3 je bil prvič nabrušen z naslednjimi pogoji: $v = 15$ m/s, $w = 6,5$ m/min, ($\alpha = 8^\circ$ premica); drugič pa z: $v = 6$ m/s, $w = 3$ m/min ($\alpha = 8^\circ$ premica). V prvem primeru je bila ploščica iz karbidne trdine zaradi večje brusilne hitrosti termično in mehanično bolj obremenjena kakor v drugem. Obraba proste ploskve $B = 300 \mu$ se pojavlja v prvem primeru po 9 minutah stružnega časa, v drugem pa šele po 18 minutah. Razlika v obstojni dobi rezila je zelo velika in znaša okrog 100 odstotkov.

Raziskave in primerjave stružnih nožev s karbidnimi trdinami, ki so bili nabrušeni z ugodnimi definiranimi pogoji brušenja, ter takimi, ki so bili nabrušeni z običajnimi pogoji in nato skrbno lepani, glede na obstojno dobo praktično niso pokazali nobene razlike. Vsekakor so bile hrapavosti cepilne in proste ploskve ter škrbavost rezilnega roba pri lepam nožu zelo majhne v primeri s tistimi, ki so bili samo brušeni. Pri stružnih nožih, ki so bili brušeni z definiranimi pogoji in nato še lepani z diamantnim brusom, je bil potreben za dosego kriterija o obrabi $B = 300 \mu$ daljši čas. Za karbidno trdino L3 so podani rezultati raziskav na sliki 13, za L2 pa na slikah 14 a in 14 b.



Sl. 13. Primerjava obstojne dobe brušenih in lepanih stružnih nožev: 1 — brušeni rezilni klin, definirani pogoji brušenja, 2 — lepani rezilni klin, nabrušen z nedefiniranimi pogoji, 3 — lepani rezilni klin, brušen z definiranimi pogoji

Iz teh izvajanj je razvidno, da je nepoškodovana mejna cona ozir. notranji mejni sloj karbidnega skeleta odločujoč činitelj pri presojanju kvalitete pri nabrušenju rezilnega klina. Hrapavost in škrbavost imata manjši pomen od kvalitete karbidnega skeleta pod mikrogeometričnimi oblikami brušene površine. Na podlagi številnih raziskav, meritev in opazovanj pri brušenju različnih vrst karbidnih trdin, kjer so bile varirane najvažnejše vplivne veličine (v , w , A , u), je bila dognana naslednja empirična zakonitost za pravilno določitev pogojev pri čelnem brušenju:

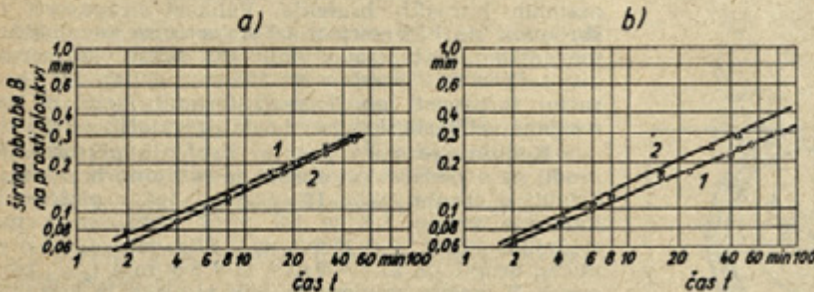
$$A v u = \text{konst} \quad (5)$$

A — efektivna dotikalna ploskev [mm^2]

v — brusilna hitrost [m/s]

u — prebrusno število

Konstanta je odvisna od vrste karbidne trdine, kakršno brusimo. Za karbidne trdine, ki vsebujejo titanove karbide (vrste L1, L2, F) ima konstanta vrednost $1500 \text{ mm}^2/\text{m/s}$, za ostale vrste (L3 in vrste G)



Sl. 14. Primerjava obstojne dobe orodja med brušenimi in lepanimi stružnimi noži L2: a) 1 — nabrušeni rezilni klin, definirani pogoji, 2 — lepani rezilni klin, nabrušen z nedefiniranimi pogoji, b) 1 — lepani rezilni klin, nabrušen z definiranimi pogoji, 2 — lepani rezilni klin, nabrušen z nedefiniranimi pogoji

pa znaša $2000 \text{ mm}^2/\text{m/s}$. Ta konstanta pove naslednje: pri enakem produktu iz pogojev brušenja $A v u$ je velikost obrabe rezilnega klina glede na nabrušenje približno enaka. V primeru prekoračenja te konstante je zaradi hujših pogojev pri brušenju ploščica iz karbidne trdine izpostavljena večjim menjajočim se termičnim in mehaničnim obremenitvam. Obstojna doba orodja se bo zato zmanjšala. Če izberemo pogoje brušenja, ki dajejo manjšo konstanto, bo karbidna trdina termično manj obremenjena. V tem primeru pa je dvomljivo, ali bi bilo brušenje še ekonomično.

Na sliki 15 so podane zveze, ki so analitično izražene z izrazom $A v u = \text{konst}$. Velikost dotikalne ploskve A med brušenjem in vrsta karbidne trdine sta dani. Z znanim prebrusnim številom u je mogoče ustrezno brusilno hitrost v določiti iz tega diagrama. Pri določanju brusilne hitrosti je treba upoštevati, da se krivulje $u = \text{konst}$ lahko pomikajo v določenem območju. Položaj krivulje u je odvisen od konstante, ki jo izberemo po formuli (5). Prebrusno število u naj se izbira v mejah $u = 1,5 \dots 4$. Za grobo brušenje so priporočljive manjše vrednosti ($u = 1,5 \dots 2$). Za fino obdelavo, kjer so potrebne manjše hrapavosti, pa so po naših raziskavah najprimernejše vrednosti $u = 2 \dots 4$.

Ustrezajočo hitrost podajanja w lahko določimo pri znanem prebrusnem številu u in širini skledastega brusa b ter brusilne hitrosti v (ozir. vrtilne hitrosti brusa n) iz diagrama na sliki 16. Naslednji primer kaže, kako se praktično določajo pravilni pogoji brušenja.

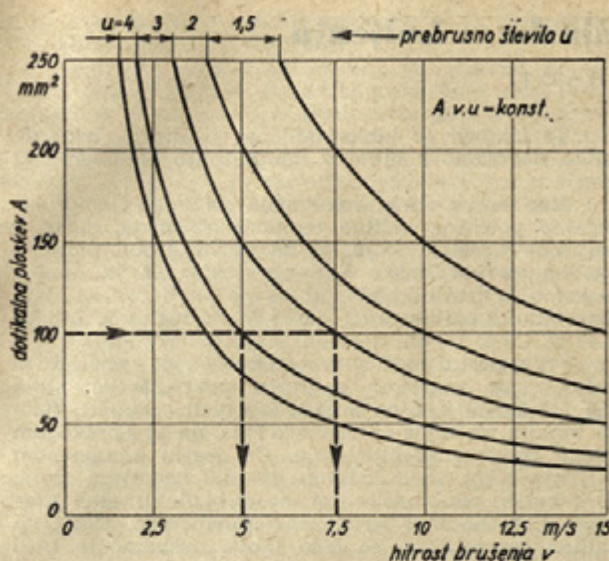
Efektivna dotikalna ploskev A znaša pri brušenju karbidne trdine L3: $A = 100 \text{ mm}^2$. Stružni nož naj ima po brušenju cepilne in proste ploskve zelo majhno hrapavost. Zato izberemo precej veliko prebrusno število, $u = 3$. S slike 15 je možno s temi podatki določiti hitrost brušenja $v = 7,5 \text{ m/s}$. Na sliki 16 izhajamo iz izbranega prebrusnega števila $u = 2,5$. Pod 45° položimo premico do dane širine brusa, n. pr. $b = 10 \text{ mm}$. Skozi presečišče obeh premic in ničlišče položimo nadaljnjo premico, s katero dobimo na diagonalni velikost podajanja $s \text{ mm/vrt}$. V našem primeru znaša podajanje 4 mm/vrt . Iz te točke položimo horizontalno premico do ugotovljene vrtilne hitrosti brusa n . V tem primeru je $n = 1200 \text{ min}^{-1}$. Premica, ki jo položimo pod 45° skozi dobljeno točko, preseče ordinato, na kateri so nanese vrednosti za podajalno hitrost w . V našem primeru znaša $w = 5 \text{ m/min}$.

Po tej poti lahko iz diagramov na slikah 15 in 16 hitro in enostavno določimo pravilne pogoje za brušenje karbidnih trdin s skledastimi brusmi.

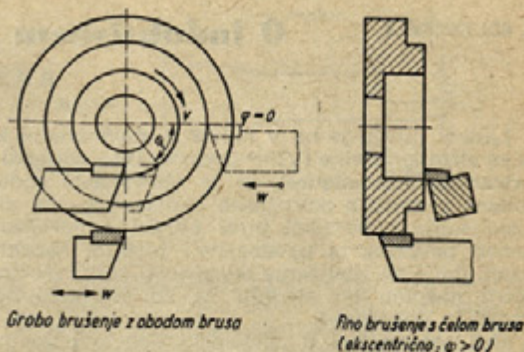
Efektivna storilnost brušenja (volumen, ki ga brus odbrusi v 1 sekundi [mm^3/s]) je pri brušenju s skledastimi brusmi zaradi velikih dotikalnih ploskev razmeroma majhna. Ta znaša po naših meritvah od $2 \dots 8 \text{ mm}^3/\text{s}$ in je zelo odvisna od podajalne hitrosti w . V primerih, kjer je potrebno odbrusiti velike volumene orodnega gradiva, je primerno obrusiti ploskve vnaprej z obodom brusa. V tem primeru je dotikalna ploskev A veliko manjša kakor pri čelnem brušenju. Z brusom, ki je izoblikovan tako, kakor kaže slika 17, je možno izvajati oba načina brušenja, obodno in čelno z enim samim brusom.

Za vnaprejšnje brušenje karbidnih trdin z obodom brusa predlaga Koscholke [10] naslednje pogoje brušenja: brusilna hitrost $v = 10 \dots 12 \text{ m/s}$, hitrost podajanja $w = 10 \dots 9 \text{ m/min}$, stransko podajanje $s = 1 \dots 2 \text{ mm/dvojni gib}$, pristavitev $a = 10 \dots 20 \mu$, z brusom SiC 46 H.

Fino brušenje se opravlja s čelno stranjo istega brusa. Pogoje za brušenje je treba izbirati iz diagramov na slikah 15 in 16.



Sl. 15. Določitev hitrosti brušenja v pri čelnem brušenju karbidnih trdin



Sl. 17. Grobo in fino brušenje rezilnih klinov z enim brusom

za brušenje izbrani tako, da so mehanične in termične menjajoče se obremenitve mejne cone karbidnega skeleta čimmanjše.

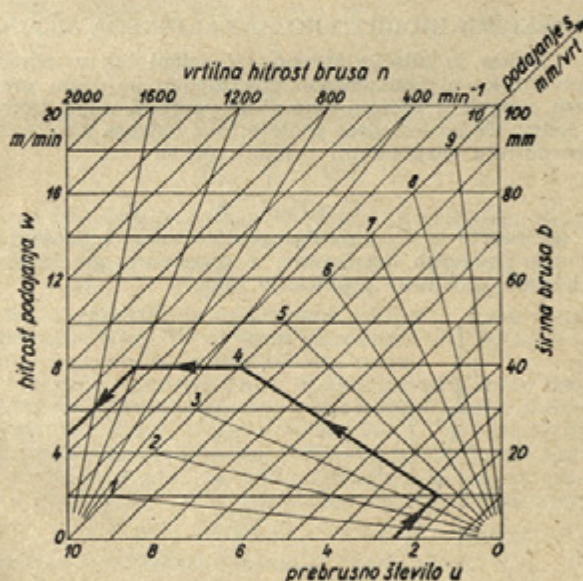
Na podlagi dosedanjih raziskav je možno pogoje brušenja določati iz velikosti dotikalne ploskve in vrste karbidne trdine. Tako nabrušena orodja imajo daljše obstojne dobe, kar doprinese k racionalnejšemu izkoriščanju orodij in obdelovalnih strojev.

Zahteva po brušenju orodij z definiranimi pogoji bo v bodoče narekovala konstrukcijo brusilnih strojev za orodja. Zato je priporočljivo zasnovati te stroje z gonili, ki bodo omogočala spreminjanje brusilne hitrosti v in podajalnih hitrosti w . Ti stroji morajo imeti tudi točen samodejni mehanizem za prestavljanje. S tako konstruiranimi brusilnimi stroji bo mogoče znatno avtomatizirati tudi brušenje orodij.

Literatura

- [1] Heiss, A.: Schärftigkeit von Werkzeugschneiden Werkstatttechn. u. Maschb. 1951/6, s. 233.
- [2] McKee, M. Boston, Moore: A Study of Heat Developed in Cylindrical Grinding. Trans. of ASME 1951/1, s. 23.
- [3] Kosteckij, B. I.: Termičeski režim slikovanja. Vestnik mašinostr. 1947/, s. 36.
- [4] Dawihl, W.: Über das Schleifen von Hartmetall-Werkzeugen mit SiC-Scheiben und das Messen der Schneidgüte. Schleif- u. Poliertechnik 1940/9, s. 217.
- [5] Nagel, J.: Richtiges Schleifen als Voraussetzung beim Schnellzerspanen. Fertigungstechnik 1952/11, s. 323.
- [6] Nagel, J.: Richtlinien für das Schleifen von spanabhebenden Werkzeugen mit Hartmetallschneiden Maschinenbau, Dresden 1954, s. 285 in Maschinenbau, Dresden 1955, s. 10.
- [7] Peklenik, J.: Das Schleifen hartmetallbestückter Werkzeuge. Forschungsbericht Zerspanung II, Mitteilungen aus dem Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre an der TH. Aachen 1956.
- [8] Taskin, A.: Dissertation TH Aachen 1944.
- [9] Ripple, J.: Should I grind Carbide Wet or Dry Amer. Machinist 1955/12, s. 134.
- [10] Koscholke, G.: Untersuchungen im Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre der TH. Aachen.

Avtor: Ing. Janez Peklenik,
Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre an der Technischen Hochschule Aachen, Aachen.



Sl. 16. Kinematične zveze pri čelnem brušenju

ZAKLJUČKI

Rezultati raziskav brušenja orodij, ki so obložena s karbidnimi trdinami, govore nedvomno za uvedbo brušenja orodij z definiranimi pogoji brušenja. Edino tako je možno ustvariti enotno bazo za presojanje obstojne dobe rezilnega klina in izključiti subjektivni vpliv brusilca na kvaliteto orodja. To je izrednega pomena pri projektiranju tehnoloških postopkov v serijski in množinski proizvodnji, na transernih progah, v avtomatičnih tehnoloških obratih kakor tudi v posamični proizvodnji. Raziskave so pokazale, da nista odločilni za kvaliteto nabrušenja orodja hrapavost cepilne in proste ploskve rezilnega klina niti ne velikost škrbine rezilnega roba. Odločujoč činitelj je strukturna zgradba mejne cone, ki naj se pri brušenju čimmanj poškoduje. Zaradi tega morajo biti pogoji