

UDK 621.923.02

Struktura brusa kot osnova za določanje tehnoloških podatkov

HINKO MUREN

Sedaj uporabljeni način označevanja in določanja strukture brusa ne ustreza, ker je povsem subjektiven in z njim pri računanju delovnega režima ni mogoče upoštevati tudi te pomembne lastnosti brusov. Tako je vsak račun pri brušenju povsem nezanesljiv, če se ne zatečemo k dodatnemu merjenju brusa (npr. k merjenju razdalje zrn). V nadaljevanju je prikazano, kako bi z drugačnim načinom označevanja strukture omogočili natančnejše računanje tehnoloških podatkov.

V enačbah so uporabljene naslednje označbe veličin:

- a — globina brušenja [mm]
- d_b — premer brusa [mm]
- d_o — premer obdelovanca pri krožnem brušenju [mm]
- d_z — poprečna velikost zrn [mm]
- $f_{s, sr}$ — srednja specifična rezalna sila [N/mm^2]
- h_{max} — največja debelina odrezka pri brušenju [mm]
- h_{sr} — srednja debelina odrezka [mm]
- l_o — prijemna dolžina [mm]
- k_{geom} — koeficient geometrijske oblike zrn
- k_{str} — koeficient strukture, ki upošteva, kako gosto so stisnjena zrna
- n_b — število vrtljajev brusa [s^{-1}]
- s — podajanje obdelovanca pri enem vrtljaju ali gibu obdelovanca [mm]
- s_z — podajanje na eno zrno [mm]
- v_b — obodna hitrost brusa (rezalna hitrost) [mm/s]
- v_o — podajalna hitrost obdelovanca [mm/s]
- z' — število zrn po obodu brusa v prerezu, pravokotno na os
- z'' — število zrn na enoto površine brusa
- F_h — glavna sila rezanja [N]
- $P_{B, b}$ — bruto moč, porabljena za pogon brusa [W]
- $P_{B, o}$ — bruto moč, porabljena za pogon obdelovanca [W]
- m — masa merjenega kosa brusa [g]
- V_b — prostornina merjenega kosa brusa [cm^3]
- V_v — odstotni delež veziva [%]
- V_z — odstotni delež zrn [%]
- V_{zdr} — prostornina zdrobljenega materiala brusa [cm^3]
- η_b — izkoristek gonila za pogon brusa
- η_o — izkoristek gonila za pogon obdelovanca

Med veličinami, ki označujejo lastnosti brusa, pripisujemo strukturi nekako podrejeno vlogo. Struktura brusa naj bi prikazovala prostorninsko porazdelitev brusa na zrna, vezivo in vmesne prazne prostore. Za zdaj še ni podrobnejšega predpisa za kakovostno določanje strukture in je označevanje prepuščeno še vedno več ali manj subjektivni presoji izdelovalcev brusov. V navadi je označevanje s številkami od 1 do 9, pri čemer pomeni 1 najbolj gosto, »zaprto«, 9 pa najbolj redko, »odprto« strukturo.

Iz meritev je znano, da pri večini brusov zavzemajo vmesni prazni prostori do 40 % prostornine, le pri najbolj odprtih strukturah je morejo zavzeti tudi do 70 %. Zaradi pomanjkanja predpisov, kako meriti strukturo, se utegnejo brusi raznih izvorov z enako označbo med seboj znatno razlikovati.

Mnogo boljši bi bil predpis, ki bi določal, da je treba strukturo označevati s prostorninskimi odstotki zrn, veziva in vmesnih praznih prostorov. Za praktično označevanje bi zadoščalo označevanje z dvema številoma, na primer v obliki

$$V_z/V_v$$

pri čemer bi prvo število pomenilo odstotni delež zrn, drugo pa delež veziva v celotni prostornini brusa.

Obe števili je mogoče razmeroma zelo preprosto tudi izmeriti tako, da vzamemo kos brusa, ga stehamo in izmerimo njegovo prostornino, nato pa ta kos zdrobimo in še enkrat izmerimo prostornino zdrobljenih delcev (prostornino brez vmesnih praznih prostorov) — najlažje kar s potopitvijo v vodo. Obe števili V_z in V_v je potem mogoče izračunati po enačbah

$$V_z = \frac{m - V_{zdr} \rho_v}{v_b (\rho_z - \rho_v)} 100 \% \quad (1)$$

$$V_v = \frac{m - V_{zdr} \rho_z}{v_b (\rho_v - \rho_z)} 100 \%$$

Tako dobljene označbe za strukturo je mogoče neposredno uporabljati pri računanju delovnega režima pri brušenju.

Za računanje dopustnih obremenitev brusa, velikosti primika, rezalnih sil in potrebne moči potrebujemo med drugim največjo in srednjo debelino odrezka. Če se naslonimo na frezanje, ki je brušenju zelo podobno, bi največjo debelino odrezka lahko računali po enačbah, ki veljajo za obodno frezanje, samo da moramo vanje vstaviti ustrezne veličine.

Za obodno brušenje ravnih površin bi na opisani način dobili enačbo za največjo debelino odrezka

$$h_{\max} = 2 s_z \sqrt{\frac{a}{d_b} \left(1 - \frac{a}{d_b}\right)} \quad (2)$$

Za obodno brušenje valjastih obdelovancev (krožno brušenje) bi bila ustrezna enačba z manjšimi poenostavitvami

$$h_{\max} = 2 s_z \sqrt{a \left(\frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_b}\right)} \quad (3)$$

Pri računanju po enačbah (2) in (3) je nejasno, kaj je treba razumeti kot podajanje na eno zrno s_z in kako to veličino določiti. Zaradi podobnosti s frezanjem bi bilo mogoče vzeti

$$s_z = \frac{s}{z'} = \frac{v_o}{z' n_b} = \frac{v_o}{z' v_b} d_b \pi \quad (4)$$

Število zrn po obodu brusa z' je mogoče oceniti, če poznamo zrnatost brusa. Iz razpredelnice 1, katere podatki so bili določeni z velikim številom meritev, je mogoče določiti za vsako zrnatost poprečno velikost zrn d_z , število zrn po obodu z' pa potem lahko izračunamo po enačbi

$$z' = \frac{d_b}{k_{\text{str}} d_z} \quad (5)$$

Iz podatkov o strukturi brusa je mogoče določiti poprečno število zrn na površini 1 mm^2 brusa

$$z'' = \frac{1}{10 d_z^2} \sqrt{\frac{V_z^2}{10 k_{\text{geom}}^2}} \quad (6)$$

Število zrn z'' lahko izračunamo tudi iz znane dimenzije zrn d_z , če smo le-to razbrali iz razpredelnice 1, in sicer po enačbi

$$z'' = \frac{1}{k_{\text{str}}^2 d_z^2} \quad (7)$$

Iz enačb (6) in (7) je sedaj mogoče izračunati koeficient strukture

$$k_{\text{str}} = \sqrt[3]{\frac{100 k_{\text{geom}}}{V_z}} \quad (8)$$

S temi podatki lahko dokončno izračunamo največjo debelino odrezka pri ravnem brušenju

$$h_{\max} = 2 \frac{v_o}{v_b} d_z \sqrt[3]{\frac{100 k_{\text{geom}}}{V_z}} \sqrt{\frac{a}{d_b} \left(1 - \frac{a}{d_b}\right)} \quad (9)$$

Za krožno brušenje dobimo na enak način

$$h_{\max} = 2 \frac{v_o}{v_b} d_z \sqrt[3]{\frac{100 k_{\text{geom}}}{V_z}} \sqrt{a \left(\frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_b}\right)} \quad (10)$$

Koeficient geometrijske oblike zrn k_{geom} , ki je še ostal v obeh enačbah, je enak razmerju prostornine zrna s poprečno velikostjo d_z in prostornino kocke s stranico dolžine d_z . Če bi vsa zrna imela obliko kocke, bi bil $k_{\text{geom}} = 1$, pri zrnih v obliki heksaedra s stranicami in višino d_z pa bi bil $k_{\text{geom}} = 0,33$. Ker utegnejo imeti zrna različnih izvorov zelo različno geometrijsko obliko, je za koeficient k_{geom} zelo težko dati zanesljive podatke; mogoče bi lahko vzeli za poprečje $k_{\text{geom}} = 0,5$. Ker je ta veličina v enačbah (9) in (10) pod kubičnim korenom, je njen vpliv na končni rezultat razmeroma majhen, zato nekoliko nezanesljiva ocena ne more znatno vplivati na končni rezultat.

Zaradi majhne globine brušenja lahko v večini primerov vzamemo, da je srednja debelina odrezka

$$h_{\text{sr}} = \frac{1}{2} h_{\max} \quad (11)$$

Natančnejši rezultat dobimo, če računamo po enačbi

$$h_{\text{sr}} = a \frac{k_{\text{str}} d_z}{l_e} \cdot \frac{v_o}{v_b} \quad (12)$$

Razpredelnica 1. Poprečna velikost zrn d_z [mm] pri posameznih zrnatostih

Zrnatost	8	10	12	14	16	20	24
d_z	3,15	2,50	2,00	1,60	1,25	1,00	0,80
Zrnatost	30	36	46	60	70	80	90
d_z	0,63	0,50	0,40	0,315	0,25	0,20	0,16
Zrnatost	100	120	150	180	220	240	280
d_z	0,125	0,10	0,08	0,071	0,063	0,056	0,050
Zrnatost	320	400	500	600	800	1000	1200
d_z	0,045	0,036	0,032	0,028	0,015	0,010	0,007

Pri tem je prijemna dolžina l_e pri krožnem brušenju

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

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

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

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 (pri- mika 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

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

Podajanje s je pri krožnem brušenju podajanje v vzdolžni smeri obdelovanca pri enem njegovem vrt-

laju, pri ravnem brušenju pa premik v prečni smeri pri enem gibu obdelovanca.

Potrebna moč za pogon brusa je

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

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

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

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 obdelovanje, 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 tehnolo-

ških 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 neslutnih zmogljivosti. Ne samo, da so postale zmogljivosti posameznih skupin vse večje, pojavila se je tudi vrsta novih materialov. Tako po-