УДК 621.923-42
В.В. Кальченко, канд. техн. наук,
Г.В. Пасов, асистент

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ НА ТОРЦЯХ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ДЕТАЛІ ПРИ ДВОСТОРОННЬОМУ ШЛІФУВАННІ

У статті розглянутий новий засіб шліфування торців обробці деталей, які не обертаються при обробці. Наведено методику розрахунку температур у будь-яких точках деталі, що оброблюється в різноманітні моменти часу.

Для підвищення продуктивності і точності обробки циліндричних деталей 1, 1' (рис. 1) розроблений новий засіб одночасного двостороннього шліфування торців профільованими та орієнтованими (кут ψ) кругами 2 (заявка на патент України № 971126463 пріоритет, від 30.12.97). Продуктивність обмежується теплонапружністю процесу шліфування [1]. Отримані дослідниками залежності для визначення температури в зоні обробки відносяться, в основному, для круглого шліфування периферією круга.

Так як при шліфуванні кожне абразивне зерно 3, вступаючи в роботу, деформує і зрізає не холодний, а нагрітий метал [1], то локальну температуру $\theta_л$ під зерном, при шліфуванні торців циліндричної деталі торцем круга, можна визначити з виразу

$$\theta_л = \theta_{пш} + \theta_р, \tag{1}$$

де $\theta_{пш}$ - температура попереднього підігріву заготовки; $\theta_р$ - температура, що виникає як результат процесу різання на одному зерні.

$$\theta_р = \frac{\theta_1 \cdot l_1 + \theta_2 \cdot l_2}{l_1 + l_2}, \tag{2}$$

де θ_1 і θ_2 - локальні температури на передній і задній поверхнях зерна; l_1 і l_2 - довжини контактних площадок на них (рис.1, а, б).

θ_1 і θ_2 визначаються по балансових рівняннях [2]

$$\theta_1 = \theta_Д + A_1 \cdot q_{1T} - A_2 \cdot q_1 = \frac{0{,}36 \cdot b \cdot F^*}{\lambda_1 \cdot X_{CP}} \cdot \left(q_1 \cdot l_1 + C_2 \cdot q_2 \cdot l_2\right); \tag{3}$$

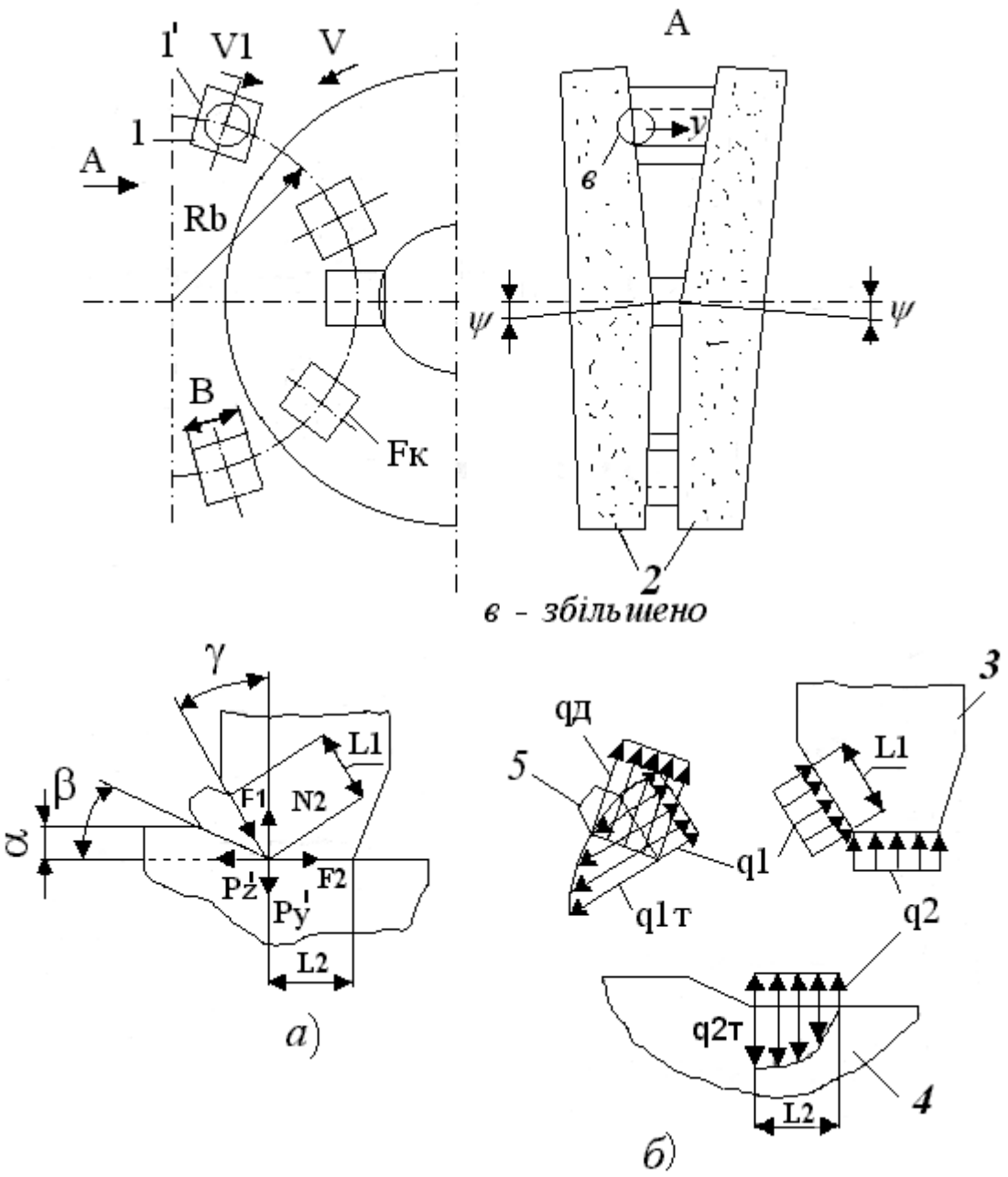
$$\theta_2 = \theta_Д \cdot T_И + A_3 \cdot q_{2T} - A_4 \cdot q_2 = \frac{0{,}36 \cdot b \cdot F^*}{\lambda_1 \cdot X_{CP}} \cdot \left(q_1 \cdot l_2 + C_1 \cdot q_1 \cdot l_1\right), \tag{4}$$

де $\theta_Д$ - температура деформування; q_{1T} і q_{2T} - щільності теплових потоків від тертя на поверхнях стружки 5 і деталі 4 у зонах контакту з передньою і задньою поверхнями зерна; q_1 і q_2 - підсумкові теплові потоки на передній і задній поверхнях зерна; A_1, A_2, A_3, A_4 - коефіцієнти впливу, обумовлені за методикою, яка викладена в [2]; b - ширина зрізу; λ_1 - коефіцієнт теплопровідності матеріалу зерна; X_{CP} - середньоймовірний розмір ріжучого зерна; C_1, C_2 - коефіцієнти , що враховують взаємовплив джерел, розташованих на передній і задній поверхнях зерна, визначаються з виразів $C_1 \approx 0{,}85 \cdot \left(1 - \frac{b}{l_2}\right)$, $C_2 \approx 0{,}3 \cdot \left(2 + \frac{b}{l_2}\right)$; $T_И$ - передатна функція; F^* - функція, що враховує час контакту зерна з заготовкою і теплопровідність абразивного інструмента.

Температура деформування $\theta_Д$ визначається з виразу

$$\theta_Д = \frac{\omega \cdot b^* \cdot q_Д}{\lambda \cdot \nu}, \tag{5}$$

де ω - коефіцієнт температуропровідності матеріалу, що оброблюється; $q_Д$ - щільність теплового потоку, що виникає при деформуванні матеріалу заготовки; b^* - коефіцієнт, що враховує розподіл цього



Мал. 1 Схема двостороннього торцевого шліфування

потоку, між стружкою і заготовкою; λ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу заготовки; ν - швидкість шліфування.

Коефіцієнт b^* відповідно до[2] дорівнює

$$b^* = \left(\frac{1+1{,}5 \cdot K}{\sqrt{P_{ЕД}}} \right)^{-1}, \tag{6}$$

де K - коефіцієнт усадки стружки; $P_{ЕД}$ - критерій Пекле (для шару, що деформується), що знаходять по формулі

$$P_{ЕД} = \frac{\nu \cdot a}{\omega \cdot \sin\beta}, \tag{7}$$

де a - середньоймовірна товщина зрізу; β - середньоймовірний кут зсуву.

а знаходять із виразу [2]

$$a \approx 1{,}65 \cdot X_{CP} \cdot \left[(1-\varepsilon)\cdot \omega^* / (\nu \cdot K^*)\right]^{0{,}25}, \tag{8}$$

де ε - відносне критичне замурування; K^* - концентрація ріжучого матеріалу в інструменті; ω^* - швидкість занурення зерна в матеріал, що оброблюється

$$\omega^* = \frac{\nu_1 \cdot t}{B}, \tag{9}$$

де ν_1 - швидкість подачі заготовки; t - глибина різання; B - ширина заготовки.

Щільність теплового потоку від деформації знаходять із виразу [1]

$$q_Д = \frac{W_Д \cdot \sin\beta}{a \cdot b}, \tag{10}$$

де $W_Д$ - потужність тепловиділення джерел, що виникають як результат переходу в тепло роботи деформування.

$$W_Д = W_Z - W_1 - W_2, \tag{11}$$

де W_Z - потужність тепловиділення на одному зерні; W_1 і W_2 - потужності тепловиділення, як результат тертя стружки по передній поверхні зерна і його задній поверхні по заготовці.

$$W_Z = P_Z^1 \cdot \nu, \tag{12}$$

де P_Z^1 - тангенціальна складова сили різання, що припадає на одне зерно.

P_Z^1 визначають на підставі методики, яка викладена в [1] і [3]

$$P_Z^1 = \tau_S \cdot a \cdot \sqrt{2\cdot\rho\cdot a}\cdot\frac{\sin(\beta+\varphi_S)}{\sin\beta\cdot\sin\varphi_S} + \tau_S\cdot 2\cdot\sqrt{2\cdot\rho\cdot a}\cdot l_2\cdot\frac{\mu}{3\cdot\mu_S} + \tag{13}$$

$$+10^{-4}\cdot a\cdot 2\cdot\sqrt{2\cdot\rho\cdot a}\cdot\rho_M\cdot\nu^2\cdot\left(1-\frac{\sin\beta\cdot\sin\gamma}{\cos(\beta-\gamma)}\right),$$

де τ_S - напруження зсуву матеріалу, що оброблюється [1]; ρ - радіус вершини зерна; $\varphi_S = \operatorname{arctg}\mu_S$ - кут тертя; μ - коефіцієнт зовнішнього тертя; μ_S - коефіцієнт внутрішнього тертя; ρ_M - щільність матеріалу, що оброблюється; γ - передній кут на зерні.

$$W_1 = \frac{F_1 \cdot \nu}{K}, \tag{14}$$

де F_1 - сила тертя на передній поверхні зерна.

$$F_1 = (P_Z^1 - F_2)\cdot\sin\gamma + (P_Y^1 - N_2)\cdot\cos\gamma, \tag{15}$$

де F_2 - сила тертя на задній поверхні зерна (вона входить, як складова в (13) у вигляді другої складової); P_Y^1 - нормальна складова сила різання на одному зерні; N_2 - нормальна сила на задній поверхні зерна.

P_Y^1 визначається з виразу [3]

$$P_Y^1 = \tau_S \cdot a \cdot \sqrt{2\cdot\rho\cdot a}\cdot\frac{\cos(\beta+\varphi_S)}{\sin\beta\cdot\sin\varphi_S} + \tau_S\cdot 2\cdot\sqrt{2\cdot\rho\cdot a}\cdot l_2\cdot\frac{1}{3\cdot\mu_S} + \tag{16}$$

$$+10^{-4}\cdot a\cdot 2\cdot\sqrt{2\cdot\rho\cdot a}\cdot\rho_M\cdot\nu^2\cdot\left(\frac{\sin\beta\cdot\sin\gamma}{\cos(\beta-\gamma)}\right).$$

У виразі (16) друга складова - N_2.

Потужність тепловиділення на задній поверхні зерна

$$W_2 = F_2 \cdot \nu. \tag{17}$$

Перша, друга і третя складова у формулах (13) і (16) описують, відповідно, проекції сил зсуву, тертя та інерції. Визначення параметрів b (3) (4) (10) (18) (19), γ (13) (15) (16) (24), β (7) (10) (13) (16) (22), ρ (13) (16), K (6) (14), μ (13) (16), μ_S (13) (16) здійснювалося за методиками, які викладені у роботах [3] і [4].

У балансових рівняннях (3) і (4) щільність теплових потоків на передній і задній поверхнях зерна можна визначити (приймаючи закон розподілу нормальний, несиметричний) із виразів:

$$q_{1T} = \frac{2 \cdot W_1 \cdot \sqrt{K_0}}{b \cdot \sqrt{\pi} \cdot \mathrm{erf}\left[l_1 \cdot \sqrt{K_0}\right]}, \tag{18}$$

$$q_{2T} = \frac{2 \cdot W_2 \cdot \sqrt{K_0}}{b \cdot \sqrt{\pi} \cdot \mathrm{erf}\left[l_2 \cdot \sqrt{K_0}\right]}, \tag{19}$$

де $K_0 = \frac{3}{l_1^2}$ в (18); $K_0 = \frac{3}{l_2^2}$ у (19); erf - функція помилок, що відповідно до [2] визначається з виразу

$$\mathrm{erf}[u] \approx \sqrt{1 - \exp\left[-1{,}26 \cdot u^2\right]}. \tag{20}$$

Передатну функцію $T_И$ (4), що описує вплив джерела щільністю $q_Д$ (10) на температуру контактної площадки l_2 (рис. 1, б) визначають із виразу [2]

$$T_И \approx \sqrt{1+\xi} - \sqrt{\xi}, \tag{21}$$

де $\xi = \frac{l_2}{2 \cdot a} \cdot \mathrm{tg}\beta$.

Функція F^* (3), (4) визначається по графіках, які наведено у [2], знаючи безрозмірний час

$$F_0 = \frac{\omega_1 \cdot \tau_P}{X_{CP}^2}, \tag{22}$$

де ω_1 - коефіцієнт температуропровідності матеріалу зерна; τ_P - час контакту між зерном і заготовкою (час одного різу),

і відношення

$$\Delta = \frac{\lambda_{ЭКВ}}{\lambda_1}, \tag{23}$$

де $\lambda_{ЭКВ}$ - еквівалентний коефіцієнт теплопровідності круга.

У (2 - 4) (13) (16) (18 - 19) присутні довжина контакту l_1 і l_2 (мал. 1, а), що визначають із виразів

$$l_1 = 2 \cdot a \cdot \left[K \cdot (1 - \mathrm{tg}\gamma) + \sec\gamma\right], \tag{24}$$

$$l_2 = (0{,}15 \div 0{,}35) \cdot X_{CP} \tag{25}$$

Підставляючи в (3) (4) розміри параметрів, які визначені вище, знаходимо підсумкові теплові потоки q_1 і q_2, а знаючи їх, знаходимо значення температур θ_1, θ_2 і θ_p (2).

Середня температура в межах зони контакту

$$\theta_{ср} = \theta_{пп} + n_p \cdot f \cdot \theta_p \tag{26}$$

де n_P - число активних ріжучих зерен на одиниці площі [2]; f - площа контакту з одним зерном [3].

Після визначення початкових і граничних умов, знаходять температуру на будь-яких ділянках заготовки в різноманітні моменти часу (рис. 1). Розбивши деталь, що обробляється на окремі стержні з адіабатичними поверхнями і знаючи, що джерело тепла є швидко рухоме, температуру $\theta(y, \tau)$ визначають по формулі[2]

$$\theta(y,\tau)=\frac{2\cdot q\cdot\sqrt{\omega}}{\lambda\cdot\sqrt{\pi}}\cdot\left\{\sqrt{\tau}\cdot\exp\left[-\frac{y^2}{4\cdot\omega\cdot\tau}\right]-\frac{y\cdot\sqrt{\pi}}{\sqrt{4\cdot\omega}}\cdot\left(1-\operatorname{erf}\left[\frac{y}{4\cdot\omega\cdot\tau}\right]\right)\right\} \qquad (27)$$

де q - щільність джерела тепла; $\tau=\frac{d}{V}$ - час контакту, d - діаметр стержня; V - швидкість руху стержня; y - координата точки по довжині стержня (за умови, що $y=0$ - на торці).

З виразу (27), знаючи τ і θ, розраховують q - (щільність теплового потоку) для $y=0$, а знаючи q і y визначають температури для будь-якої ділянки.

Для реалізації математичної моделі (1), (26 - 27) на комп'ютері і виконання розрахункових експериментів розроблена програма розрахунку температур $\theta_л$, $\theta_{ср}$ і $\theta(y,\tau)$ в залежності від параметрів процесу шліфування.

Як показали наші розрахунки й експериментальні дослідження локальної (1) і середньої (26) температур на торці чотиригранної пластинки при шліфуванні абразивними кругами на двосторонньому торцешліфувальному верстаті моделі 3342 АДО, збільшення глибини шліфування з 0.02 мм до 0.03 мм при переміщенні деталі на радіусі барабана R_b = 205 мм, відносно круга на величину, що дорівнює довжині пластини, призводить до підвищення середньої $\theta_{ср}$ температури з 550° до 730° С.

Запропонована методика розрахунку дозволяє визначати температури в будь-яких точках деталей, що оброблюються у різноманітні моменти часу і простежити за зміною температури від моменту початку обробки до її завершення.

Експериментами доведено, що запропонований метод двостороннього шліфування, за рахунок орієнтації і профілювання кругів, дає можливість управляти зміною глибини різання і температури на торці деталі по координаті обробки.

Список використаної літератури:

1. Корчак С.Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей. М.: Машиностроение, 1974. - 280 с.

2. Резников А.Н., Резников Л.А. Тепловые процессы в технологических системах. М.: Машиностроение, 1990. - 288 с.

3. Филимонов Л.Н. Высокоскоростное шлифование. - Л.: Машиностроение, 1979. - 248 с.

4. Рудик А.В., Клюшниченко В.М., Кальченко В.В. Визначення складових сили різання при шліфуванні орієнтованим інструментом. Вісн. Черніг. і - та, 1996. №1, Машинобудування, електроніка, с. 99 - 105.