

## ВИЗНАЧЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ШЛІФУВАННЯ ОРІЄНТОВАНИМ ІНСТРУМЕНТОМ

Шліфування орієнтованим інструментом є одним з нових перспективних напрямків в металообробці. Воно застосовується при круглому шліфуванні циліндричних деталей периферією круга [1], периферією і торцем орієнтованого круга на верстатах “Квікпоінт 101” і “Квікпоінт 102” фірми “JUNKER” Німеччина, при заточуванні голчатої циліндричної поверхні валиків і барабанів текстильних машин периферією [2] і торцем [3] орієнтованого круга.

Торці циліндричних роликів, гвинтових пружин стиску, поршневих пальців, кілець підшипників опорних поверхонь багатограних непереточуваних пластин та інших циліндричних деталей, одночасно обробляють на двосторонніх торцешліфувальних верстатах орієнтованими кругами [4].

Для правильного призначення їх режимів обробки, а значить і ефективного завантаження верстатного обладнання, необхідно розрахувати потужність шліфування орієнтованим інструментом з урахуванням конкретних умов обробки, які забезпечують потрібну якість поверхні яка визначається теплонапруженістю процесу шліфування.

В роботах [5 і 6] приведені вирази для розрахунку середньої потужності торцевого шліфування, які отримані для одиничних випадків обробки і тому їх неможливо використовувати при будь яких умовах.

У цій статті пропонується методика визначення локальної, миттєвої, питомої і середньої потужності шліфування орієнтованим інструментом.

В загальному вигляді потужність шліфування торця циліндричної деталі торцем профільованого і орієнтованого круга дорівнює

$$N = a \cdot Q / T, \quad (1)$$

де  $Q$  – об'єм металу, зішліфований кругом з одного торця деталі;  
 $T$  – час, за який зішліфовано об'єм металу, який дорівнює  $Q$ ;  
 $a$  – питома роботоздатність круга.

При визначенні миттєвої потужності  $N_m$  у формулу (1) підставляють  $Q_m$  миттєву потужність шліфування торця, яка визначається об'ємом металу, підведеним до поверхні контакту  $F$  (рис. 1), який має вигляд поверхневого інтегралу

$$\int_{\theta_{1ki}}^{\theta_{2ki}} \left( \int_{R_i} V_n \cdot R_i d\theta_k \right) \sqrt{\left(\frac{dR_i}{di}\right)^2 + \left(\frac{dZ_i}{di}\right)^2} di, \quad (2)$$

де  $R_i \cdot d\theta_k$  – довжина плями контакту, яка вимірюється вздовж кола  $i$ -тої точки профілю інструмента (рис. 1);

$\sqrt{\left(\frac{dR_i}{di}\right)^2 + \left(\frac{dZ_i}{di}\right)^2} \cdot di = dl$  – елементарна ширина плями контакту в окрузі  $i$  – тої точки (рис. 1, А-А).

Межі плями контакту визначаються рішенням векторних рівнянь поверхонь круга  $\bar{r}_i$  і деталі  $r_q$  в системі координат круга.

Матричний запис рівняння поверхні круга 2 (рис. 1, А-А) має вигляд [7]

$$\bar{r}_i = A_3(Z_i) \cdot A_6(\theta_k) \cdot A_2(R_i) e_4 \quad (3)$$

де  $R_i$  – радіус перетину круга в межах  $i$ -тої точки;  
 $Z_i$  – його осьова координата;  
 $\theta_k$  – кутовий параметр круга;  
 $e_4 = (0,0,0,1)^T$ .

Рівняння поверхні деталі в системі координат круга

$$\bar{r}_{iq} = A_{uq} \cdot \bar{r}_q, \quad (4)$$

де  $\bar{r}_q$  – узагальнене рівняння поверхні циліндричної деталі 1 (рис. 1) в її системі координат  $X_q Y_q Z_q$  приведено [7];

$A_{uq}$  – матриця переходу з системи координат деталі в систему координат інструмента приведена [7].

Проекція вектора відносної швидкості  $\bar{V}$  деталі 1 і інструмента 2 на напрямок нормалі  $\bar{n}$  до елементарної площини  $dF$  (рис. 1, В-В), визначається з рівняння

$$V_n = V_x \cdot n_{ox} + V_y \cdot n_{oy} + V_z \cdot n_{oz}, \quad (5)$$

де  $V_x, V_y, V_z$  – проекції вектора відносної швидкості  $\bar{V}$  на координатні осі інструмента;  
 $n_{ox}, n_{oy}, n_{oz}$  – проекції вектора одиничної нормалі  $\bar{n}_o$  на координатні осі інструмента.

$$n_{ox} = \cos \theta_k (-\sin \alpha); n_{oy} = \sin \theta_k (-\sin \alpha); n_{oz} = \cos \alpha, \quad (6)$$

де  $\alpha$  - кут нахилу дотичної профілю круга в розглядаємій точці (рис. 1, А-А);

Швидкість відносного руху  $\vec{V}$  визначається векторним способом з рівняння

$$\vec{V} = (\vec{w}_{ub} + \vec{w}_{uq}) \times \vec{r}_{uq} + \vec{A}_b \times \vec{w}_{ub} + \vec{A}_q \times \vec{w}_{uq}, \quad (7)$$

де  $\vec{w}_{ub}$  і  $\vec{w}_{uq}$  вектори кутових швидкостей барабана і деталі в системі координат інструмента;

$\vec{r}_{uq}$  - радіус вектор точок поверхні деталі в системі координат інструмента, визначається з рівняння (4);

$\vec{A}_b$  і  $\vec{A}_q$  - радіуси вектори початку координат барабана  $O_b$  і деталі  $O_q$  в системі координат інструмента.

Вирішив рівняння (7) отримаємо вектор швидкості відносного руху  $\vec{V}$ , який в системі координат інструмента визначається проєкціями  $V_x, V_y, V_z$ . Підставив їх і  $n_{ox}, n_{oy}, n_{oz}$  (6) у рівняння (5), визначимо  $V_n$ , а потім з (2) – миттєву  $Q_m$  і  $Q_y$  питому продуктивність, яка в (2) являє собою внутрішній інтеграл

$$Q_{yi} = \int_{\theta_{1ki}}^{\theta_{2ki}} V_n \cdot R_i \cdot d\theta_k, \quad (8)$$

де  $\theta_{1ki}, \theta_{2ki}$  і  $R_i$  (рис. 1) визначаються вирішенням рівнянь (3) і (4).

Визначив з рівняння (2) миттєву продуктивність шліфування  $Q_m$  і підставив її в формулу (1) отримаємо миттєву потужність шліфування. При визначенні питомої потужності шліфування  $N_{yi}$ , яка приходить на один мм висоти круга, в формулу (1) підставляємо значення питомої продуктивності шліфування  $Q_{yi}$ , отриманої з рівняння (8).

Для визначення локальної потужності шліфування  $N_{л}$ , яка, наприклад, необхідна при визначенні локальних температур на шліфуємій поверхні в формулу (1) підставляємо локальну продуктивність шліфування  $Q_{л}$ . Її знаходимо з рівняння (2) для локальної, елементарної площадки  $dF$  (рис. 1), яка визначається межами інтегрування  $i_1, i_2$  і  $\theta_{1ki}, \theta_{2ki}$ .

Середню потужність при шліфуванні потоку заготовок  $N_{cp}$  знаходять з формули (1), підставляя до неї середню продуктивність шліфування  $Q_c$ , яку знаходять з рівняння

$$Q_{cp} = \int_0^T Q_m \cdot dT, \quad (9)$$

де  $T$  – час обробки однієї деталі.

$$T = \frac{l}{V_q}, \quad (10)$$

де  $l$  - відстань між отворами в які встановлюють деталі, на радіусі барабана  $R_b$ , який здійснює кругову подачу;  
 $V_q$  - швидкість кругової подачі деталей.

$$l = d + k \quad (11)$$

де  $d$  – зовнішній діаметр оброблюємої деталі;  
 $k$  – зазор між деталями на радіусі  $R_b$  барабана.

$$V_q = w_b \cdot R_b, \quad (12)$$

де  $w_b$  – кутова швидкість барабана.

Для розрахунку потужності шліфування орієнтованим інструментом по формулі (1) необхідно мати значення  $a$  – питомої роботоємності круга. В роботі [6] приведена методика і формула для розрахунку  $a$ , яка отримана на базі експериментальних досліджень.

Рівняння для визначення товщини шару  $a_z$ , який зрізається однією ріжучою кромкою є основним рівнянням шліфування, яке об'єднує кінематичні і силові параметри процесу шліфування. Допустима гранична товщина шару, що зрізається  $a_{znp}$ , визначає ріжучу здатність абразивного інструмента. Рівняння (2) і (8) визначають об'єм металу, який підводиться в процесі шліфування. Здатність зрізати цей об'єм, з умов допустимої ріжучої здатності круга перевіряють розв'язанням відношення

$$V_{nnp} = a_{znp} / T_1, \quad (13)$$

де  $T_1$  – час між контактами поверхні деталі з двома сусідніми ріжучими кромками.

У рівняннях (2) і (8)  $V_n \leq V_{nnp}$

$$T_1 = \frac{1}{V_u \cdot N(z)}, \quad (14)$$

де  $N(z)$  – число ріжучих кромки на заданому рівні і розташованих на одиниці довжини робочої поверхні круга, які приймають участь у різанні металу;

$V_u$  – швидкість шліфування.

Так як на двосторонньому торцешліфувальному верстаті обробляється одночасно декілька деталей, слід розрізняти потужність  $N_m$  (1) і (2), яка витрачається на обробку однієї деталі в кожен момент часу, і сумарну потужність  $N_{m\Sigma}$ , яка витрачається на обробку одночасно декількох деталей

Таким чином, у визначений момент розташування деталей в зоні шліфування сумарна миттєва потужність

$$N_{m\Sigma} = N_{m1} + N_{m2} + N_{m3} + \dots + N_{mi}, \quad (15)$$

де  $N_{m1}, N_{m2}, N_{m3}, \dots, N_{mi}$  – миттєва потужність при обробці 1, 2, …, i-тої деталей.

Формулу (1), можна використовувати також при визначенні потужності шліфування циліндричної поверхні периферією і торцем орієнтованого інструмента. При шліфуванні голчатої поверхні [2]  $V_n$  у рівняннях (2) і (8) визначають з виразів (5) і (7) при  $\bar{w}_{ub} = 0$ ,  $\bar{A}_b = 0$  з урахуванням поздовжньої подачі деталі  $\bar{S}_q$ , тоді (7) буде мат вигляд

$$V = \bar{w}_{uq} \times \bar{r}_{uq} + \bar{A}_q \times \bar{w}_{uq} + \bar{S}_{uq}. \quad (16)$$

Для реалізації математичної моделі (1-14) на персональному комп'ютері і виконання обчислювальних експериментів, розроблено програму розрахунку потужності шліфування орієнтованим кругом в залежності від параметрів процесу шліфування та кутів його орієнтації.

Як показали наші розрахунки та експериментальні дослідження потужності шліфування на двосторонньому торцешліфувальному верстаті моделі 3342 АДО, при обробці торців циліндричних стержнів (рис. 1) і фактичні, і вимірені на верстаті відрізняються не більше  $\pm 15\%$ .

#### Виводи:

1. Розроблена методика і рівняння для визначення миттєвої, локальної і середньої потужності шліфування торців і периферії циліндричних деталей орієнтованим інструментом.

2. Отримані рівняння можна використовувати при назначенні технологічних режимів обробки, які забезпечують потребуєму якість поверхні, яка визначається теплонапруженістю процесу шліфування, а також при проектуванні приводів верстатів.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. А.с. 1234163 СРСР МКІ В24В 5/04. Спосіб круглого шліфування з поздовжньою подачею / В.І. Кальченко, опубл. 1986, бюл.20.
2. Кальченко В.В. Визначення температури на торці голки при шліфуванні орієнтованим кругом //Машинобудування , електроніка- Вісн. Черніг. технол. і-ту. N 6.- Чернігів:ЧТІ 1998, с.205-210.
3. Кальченко В.В. Формоутворення голчатої поверхні торцем керовано -орієнтованого круга //Машинобудування , електроніка- Вісн. Черніг. технол. і-ту. N 6.- Чернігів:ЧТІ 1998, с.177-184.
4. Лурье Г.Б., Комиссаржевская В.Н. Шлифовальные станки и их наладка. М.:”Высшая школа”,1976, 415с.

5. Шахновский С.С. Мощность при двустороннем торцешлифовании. Станки и инструмент N 3, 1987, с.18-20.
6. Шахновский С.С. Расчет мощности торцевого шлифования. Станки и инструмент N 2, 1987, с.23-24.
7. Кальченко В.І., Кальченко В.В. Точність і продуктивність шліфування торців орієнтованим інструментом //Машинобудування , електроніка- Вісн. Черніг. технол. і-ту. N 3.- Чернігів:ЧТІ 1997, с.5-13.