

*В.В. КАЛЬЧЕНКО, АСПІРАНТ*

## **ПРОФІЛЮВАННЯ ОРІЄНТОВАНИХ ШЛІФУВАЛЬНИХ КРУГІВ**

Для підвищення ефективності шліфування торців орієнтованим інструментом [1] необхідна профільна правка круга, яка забезпечує лінійний контакт його та деталі в процесі формоутворення. У відомих верстатах для двостороннього одночасного шліфування торців роликів підшипників [2] або пружин [3] профілювання торців абразивних кругів здійснюється алмазним олівцем перпендикулярно до осі оберту шпінделя, незалежно від їх кутової орієнтації відносно осі оберту барабана, який здійснює кругову подачу деталей [1]. Відомо [4], що формоутворення поверхні деталі здійснюється ділянками інструмента, де скалярний добуток векторів швидкості відносного руху  $\vec{V}$  та одиночного вектора нормалі  $\vec{n}_o$  до поверхні інструмента (мал. 1, а [1])

$$\vec{V} \cdot \vec{n}_o = 0. \quad (1)$$

У верстатах [2,3] торцеві площини кругів неперпендикулярні до осі обробляємих деталей, тому в процесі зйому припуску умова (1) не виконується, а формоутворення торців здійснюється перехідною ділянкою між периферією круга і його торцем, де  $\vec{V} \cdot \vec{n}_o = 0$ . У той же час ця перехідна ділянка отримує ударне навантаження при вході деталі в зону обробки, тому формоутворююча ділянка не має фіксованого положення і в результаті зносу круга постійно переміщується вздовж твірної його торцевої поверхні, що знижує точність обробки.

Відомий верстат [5], у якому обробка торців пружин здійснюється двома дисковими співвісними кругами, вісь обертання яких паралельна осі оберту деталі в процесі формоутворення. У цьому верстаті одна з шліфувальних бабок у слідкуючому режимі переміщується в осьовому напрямку і фіксується в залежності від довжини заготовки пружини, яка надходить на обробку, забезпечуючи мінімальний зйом припуску, без отримання точної довжини пружини. При цьому зйом припуску здійснюється периферією кругів, а формоутворення торців деталі - торцевою площиною кругів, де  $\vec{V} \cdot \vec{n}_o = 0$ . Так як формоутворення торців здійснюється в режимі виход-

жування без припуску на обробку, то дефектний шар, отримуваний на торці пружини із-за теплонапруженості процесу при зйомі припуску периферією круга, не зменшується при виходжуванні, що знижує режими шліфування, та продуктивність обробки.

У цій роботі розглядається спосіб шліфування орієнтованим інструментом 1 (мал. 1) торців циліндричних деталей 2, який потребує спеціального профілювання шліфувальних кругів. Алмазний олівець 3 (мал. 1, I) закріплюється на барабані, здійснюючим кругову подачу при правці з швидкістю  $w_b$ , на відстані від осі його оберту, яке дорівнює  $R_{ba}$ . Торцева поверхонь шліфувального круга являє собою відбиток руху алмаза в системі координат круга. Радіус-вектор  $\bar{r}_{ia}$  точок траєкторії алмаза в системі круга дорівнює

$$\bar{r}_{ia} = A_{ia} \cdot \bar{r}_a, \quad (2)$$

де  $\bar{r}_a$  - радіус-вектор точкового інструменту, являючого собою радіус-вектор початку координат  $e_4(0,0,0,1)^T$ , суміщеного з вершиною алмазного олівця;

$A_{ia}$  - матриця переходу з системи координат алмаза в систему координат круга.

$$\begin{aligned} \bar{r}_{ia} = & A_1(x_2) \cdot A_5(\psi) \cdot A_4(-\varphi) \cdot A_2(-y_1) \cdot A_1(-x_1) \times \\ & \times A_3(z_1 + P_2 \cdot \theta_b) \cdot A_6(\theta_{ba}) \cdot A_2(R_{ba}) \cdot e_4 \end{aligned} \quad (3)$$

Значення параметрів, які входять у матрицю переходу  $A_{ia}$  - аналогічні параметрам, які входять у матрицю переходу  $A_{iq}$  (4) [1].

Розв'язав рівняння (3) отримаємо стовбцеву матрицю

$$\bar{r}_{ia} = \begin{pmatrix} x_{ia} \\ y_{ia} \\ z_{ia} \\ 1 \end{pmatrix}, \quad (5)$$

де  $x_{ia}, y_{ia}, z_{ia}$  - координати точок траєкторії алмаза у системі круга.

Радіус перерізу круга в межах  $i$ -тої точки  $R_{(i)}$  дорівнює

$$R_{(i)} = \sqrt{x_{ia}^2 + y_{ia}^2}. \quad (6)$$

Осьова координата перерізу круга в межах  $i$ -тої точки  $z_{(i)}$  дорівнює

$$z_{(i)} = z_{ia} \cdot \quad (7)$$

Приклад розрахунку на ЕОМ  $R_{(i)}$  і  $z_{(i)}$  точок перерізу круга 1 (мал. 1, А-А) показано в фрагменті таблиці 1, де  $R_{(i)}$  і  $z_{(i)}$  розраховані в залежності від кута  $\theta_{ba}$  (мал. 1, I) положення вершини алмаза 3 при правці.

При визначенні геометричної точності  $\Delta$  формоутворення торців циліндричних деталей, значення  $R_{(i)}$  і  $z_{(i)}$  підставляють у рівняння поверхні круга (5) [1] і потім з рівнянь (1-6) [1] визначають  $\Delta$  похибку обробки. Так як при правці вершина алмаза 3 (мал. 1, I) переміщується в площині, перпендикулярній осям обробляємих деталей (мал. 1, а) [1], то на поверхні круга отримаєм лінію на радіусі  $R_{ba}$ , паралельну торцям обробляємих деталей. При радіусі правки

$$R_{ba} = R_b + r_d \quad , \quad (8)$$

де  $R_b$  - радіус барабана (мал. 1, а) [1];

$r_d$  - середній радіус пружини;

- отримана [1] максимальна точність ( $\Delta=0,008$  мм) з обертом пружини навколо осі  $O_vZ_v$  у процесі формоутворення.

При шліфуванні торців циліндричних деталей по пропонуємому способу з початку при вході в зону обробки (мал. 1, а) [1] припуск знімається периферією круга без оберту деталі навколо осі  $O_vZ_v$  базової втулки, з метою зменшення напруги на різучі кромки абразивних зерен. Коли деталі входять між торців двох кругів, вони починають, обертатися за рахунок сил тертя на пружному диску, підтискуючому деталі до призм, виготовлених на зразок двох роликів, змонтованих на підшипниках кочення. Кут орієнтація кругів (мал. 1, а -  $\varphi$  і  $\Psi$ ) [1] і пропонуєма правка забезпечує зменшення припуску по мірі наближення до формоутворюючої ділянки круга, що знижує теплонапруженість процесу і, в відрізнанні від відомих способів [5], забезпечує зйом дефектного шару на торцях деталі, отриманого при врзанні інструмента.

При профілюванні круга для шліфування торців круглих зігнутих голок робочих валиків і барабанів текстильних машин (мал. 1, II) торцем орієнтованого круга 1, з метою забезпечення лінійного контакту його з прямолінійною твірною барабана, алмазний олівець 3 переміщують паралельно осі барабана  $O_bZ_b$ . Радіус-вектор  $\vec{r}_{ia}$  точок траєкторії алмаза у системі круга визначається з рівняння (3), у яке підставляють наступні значення матриць узагальнених переміщень:

$$A_2(R_{ba} = 0); A_3\left(-\frac{\sqrt{R_{\max}^2 - x_2^2}}{\cos \varphi} + \frac{S}{2\pi} \cdot \theta_b\right),$$

де  $R_{\max}$  - максимальний радіус круга;  
 $S$  - подача алмаза на один оберт барабана;

$$A_1(-x_1 = 0); A_2(-y_1 = 0); A_4\left(\varphi - \frac{\pi}{2}\right); A_5(\Psi = 0); A_1(x_2).$$

Розв'язав рівняння (3) отримаємо стовпцеву матрицю  $\bar{r}_{ia}$  (5), використовуючи координати якої, знайдемо радіус перерізу круга  $R_{(i)}$  з формули (6) і осьову координату перерізу круга  $z_{(i)}$  з рівняння (7).  $R_{(i)}$  і  $z_{(i)}$  використовують при визначенні похибки  $\Delta$  торців голок в процесі формоутворення. Для визначення точності формоутворення голок в узагальнене рівняння (2) [1] поверхні деталі в матриці узагальнених переміщень підставляють наступні данні:

$$A_1(r_p = 0,2); A_5(\Psi_1); A_4\left(\varphi_1 = \frac{\pi}{2}\right); A_5(\Psi_2); A_1(r_{qi} = f(z_i));$$

$$A_6(\theta_q = 0); A_3\left(-z_q = -\frac{\sqrt{R_{\max}^2 - x_2^2}}{\cos \varphi}\right); A_4\left(\varphi_2 = \frac{\pi}{2}\right).$$

В узагальнену матрицю переходу з системи координат деталі в систему координат інструмента (4) [1] підставляють слідуючі параметри:

$$A_6(\theta_v = 0); A_2(R_b + L); A_6\left(\theta_b = \pm \arccos \frac{R_b + L}{R_b + L + \delta} + \arctg \frac{r_{\Psi_2}}{R_b + L}\right),$$

$$r_{\Psi_2} = \frac{r_p}{\cos \Psi_2}; A_3\left(-\frac{\sqrt{R_{\max}^2 - x_2^2}}{\cos \varphi} + P_2 \cdot \theta_b, P_2 = \frac{S}{2\pi}\right);$$

$$A_1(x_1 = 0); A_2(y_1 = R_b + L); A_4\left(\varphi - \frac{\pi}{2}\right); A_5(\Psi = 0); A_1(x_2).$$

де  $L$  - довжина голки (мал. 1, III);  
 $\delta$  - припуск на обробку.

Геометричну похибку  $\Delta$  торців голок визначають з виразу (1) [1].

У нашій роботі [6] показано вплив напрямку вектора результуючої швидкості шліфування на якість заточки голок. Результуюча швидкість

$\bar{V}$  відносного руху інструмента і деталі можливо визначити векторним і матричним способами [7]. При векторному способі визначення  $\bar{V}$  в процесі шліфування гольчатої поверхні барабанів 2 (мал. 1, II) текстильних машин профільованим кругом 1

$$\bar{V} = (\bar{w}_{ib} + \bar{w}_i) \times \bar{r}_{iq} + \bar{A}_b \times \bar{w}_{ib} + \bar{S}_{ib}, \quad (9)$$

де  $\bar{w}_{ib}$  - вектор кутової швидкості барабана в системі координат інструмента, визначається з рівняння (10);

$\bar{r}_{iq}$  - радіус-вектор точок гольчатої поверхні барабана в системі координат інструмента знаходиться з рівняння (3)[1];

$\bar{A}_b$  - радіус-вектор початка координат  $O_b$  барабана в системі координат інструмента, визначається з рівняння (12)[1];

$\bar{w}_i$  - вектор кутової швидкості круга в його системі координат;

$\bar{S}_{ib}$  - вектор швидкості осьової подачі барабана в системі координат інструмента.

$$\bar{w}_i = w \cdot k_i, \quad (10)$$

де  $w=2\pi n$  - кутова швидкість круга,  $n$  - його частота оберту за секунду;  
 $k_i$  - орт координатної осі  $Z_i$ .

$$\bar{S}_{ib} = L_{ib} \cdot \bar{S}_b, \quad (11)$$

де  $L_{ib}$  - матриця переходу проєкцій вектора швидкості осьової подачі барабана з його системи координат у систему координат інструмента, визначається з рівняння (11)[1].

$$\bar{S}_b = S_o \cdot k_b, \quad (12)$$

де  $S_o$  - швидкість осьової подачі барабана в його системі координат;  
 $k_b$  - орт координатної осі  $Z_b$ .

Розв'язав рівняння (9), отримаємо вектор швидкості відносного руху  $\bar{V}$  в залежності від конструктивних параметрів верстата і регулюємих параметрів  $\bar{w}_b, \bar{w}_i, S_o, x_2, \varphi$ . Керуючи цими параметрами отримаємо мінімальний розмір задирки на шліфуємих голках [6].

Профільовання алмазним олівцем забезпечує початковий необхідний профіль круга та відновлює його після зносу в процесі шліфування. Допустимий знос круга визначається вимогаємою точністю і якістю обробляємих деталей.

Частіше всього знос круга виражають у вигляді степіневої залежності від швидкості зйому металу, враховуючи, що глибина шліфування та кутова подача деталі приблизно однаково впливають на швидкість зносу. Тому питомий знос  $q$  круга визначають [8]

$$q = \frac{Q_a}{Q_m} = C_q \cdot Q_m^{m-1}, \quad (13)$$

де  $Q_a$  - об'ємна кількість зношеного абразива у одиницю часу;  
 $Q_m$  - швидкість зйому металу за той же час;  
 $C_q$  - коефіцієнт, який дорівнює швидкості зносу при  $Q_m=1$ .

Об'єм металу, зрізаємий ділянкою профілю інструмента, висотою  $\Delta l$  у межах  $i$ -тої точки (мал. 1, А-А), визначається як добуток

$$Q_m = Q_{yq}(i) \cdot \Delta l,$$

де  $Q_{yq}$  - питома продуктивність шліфування [8,9]

Об'єм зношеного абразива за той час розраховуємо для ділянки профілю круга з рівняння

$$Q_a = k_\alpha \cdot w_i \cdot R(i) \cdot I(i) \cdot \Delta l, \quad (14)$$

де  $k_\alpha$  - коефіцієнт, враховуючий перекриття ріжучих кромки у напрямку подачі врізання круга [9];

$w_i$  - кутова швидкість обертання круга;

$I(i)$  - питомий знос абразиву при відповідній швидкості шліфування у напрямку, нормальному до профілю інструмента.

Значення елементарного зносу круга  $I_{(i)}$  за час  $\Delta t$  має вигляд

$$I_{(i)} = \frac{q \cdot Q_{yq}(i)}{k_\alpha \cdot w_i \cdot R(i)}, \quad (15)$$

Маючи значення  $I_{(i)}$ , координати точок слідуючого  $(j+1)$ -го профілю (мал. 1, А-А) інструмента визначаються розв'язанням рівняння нормалі до профілю круга

$$R(i)_{j+1} - R(i)_j = -\frac{dz(i)}{dR(i)} \cdot [z(i)_{j+1} - z(i)_j], \quad (16)$$

та рівняння відстані між двома точками нормалі

$$\sqrt{[R(i)_{j+1} - R(i)_j]^2 + [z(i)_{j+1} - z(i)_j]^2} = I(i), \quad (17)$$

де  $R(i)_j, z(i)_j$  і  $R(i)_{j+1}, z(i)_{j+1}$  - координати точок (j)-го і (j+1)-го профілей інструмента.

Визначив нові значення  $R(i), Z(i)$ , які враховують знос круга, та підставивши їх в математичну модель точності обробки (1-6) [1], знаходимо період правки шліфувальних кругів.

Для експериментальних досліджень зносу круга та перевірки періоду правки на радіусі  $R_{\text{ба}}$  (мал. 1, I) барабана монтують датчик з алмазним наконечником, який контролює профіль круга.

## Висновки

1. Розроблена узагальнена розрахунково - кінематична схема профілювання алмазним олівцем орієнтованих абразивних кругів і математична модель процесу їх формоутворення, враховуюча орієнтацію інструмента, кінематичні і конструктивні параметри верстата.
2. Профілювання орієнтованих кругів, паралельно твірній деталі, забезпечує лінійний контакт інструмента і деталі в процесі формоутворення, що підвищує продуктивність і точність обробки.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Кальченко В.І. Кальченко В.В. Точність і продуктивність шліфування торців орієнтованим інструментом. Стаття у даному збірнику.
2. Лурье Г.Б., Комиссаржевская В.Н. Шлифовальные станки и их наладка. М., "Высшая школа", 1976, 415 с.
3. Патент Франции N2302 176, кл. В 24 В 9/00, 1976.
4. Решетов Д.Н., Портман В.Т. Точность металлорежущих станков. М., Машиностроение, 1986, 336с.
5. А. С. СССР N837777, МКИ В 24 В 7/16. Устройство для обработки торцов пружин. Авт. Изобр. Монахов Ю.М., Лиокумович Л.А., Спиридонов В.М., Бутусов В.А. - Оpubл. Б.И. N22, 1981.
6. Кальченко В.В. Влияние кинематики заточки на качество игольчатой поверхности барабанов текстильных машин. В. Кн: "Информационные технологии :наука,техника,образование, здоровье" - Харьков, ХГПУ, 1997, часть 2, с.278-281.
7. Литвин Ф.Л. теория зубчатых зацеплений. М.: Наука, 1968, 585 с.

8. Филимонов Л.Н. Високоскоростное шлифование. - Л.: Машиностроение, 1979, 248с.
9. Кальченко В.И. Научные основы шлифования криволинейных поверхностей с управляемой ориентацией абразивного инструмента. Автореферат на соискание ученой степени докт. техн. наук. Харьков, ХГПУ, 1994, 34 с.

*Рисунок 1. Узагальнена розрахунково - кінематична схема профілювання алмазним олівцем орієнтованих абразивних кругів.*

*Таблиця 1. Розрахунок точок перерізу круга 1 (мал. 1, А-А)*