

## ТОЧНІСТЬ І ПРОДУКТИВНІСТЬ ШЛІФУВАННЯ ТОРЦІВ ОРІЄНТОВАНИМ ІНСТРУМЕНТОМ

Торці круглих зігнутих голок робочих валків і барабанів текстильних машин шліфують циліндричним інструментом при паралельних і перехрещених осях деталі та інструмента [1].

Торці циліндричних роликів, гвинтових пружин стиску, поршньових пальців, колець підшипників, опорних поверхонь некруглих твердосплавних пластин і інших циліндричних деталей, одночасово обробляють на двусторонніх торцешліфувальних верстатах [2]. Геометрична точність шліфування торців залежить від умов базування оброблюємих деталей [3], форми круга [4], теплових деформацій [5], орієнтації інструмента [1], і визначається неплощинністю і неперпендикулярністю до осі деталі.

Торцеве биття  $\Delta$  утворюється за рахунок неперпендикулярності торцевої поверхні до базової осі і відхилень форми торця.

$$\Delta = Z_{q \max} - Z_{q \min}, \quad (1)$$

де  $Z_{q \max}$  і  $Z_{q \min}$  - максимальна і мінімальна координати точок торцевої поверхні вздовж осі деталі, розташованих на колі заданого радіуса  $r_{qi}$  (мал. 1, в).

Відомі математичні моделі не описують торцеву поверхню деталі під час врізання і формоутворення, і її геометричну точність в залежності від конструктивних і налагоджувальних параметрів верстата і режимів шліфування.

Похибка  $\Delta$  (1), залежить від форми круга, його кутової орієнтації і кінематики процесу формоутворення, визначається розв'язанням рівнянь поверхні деталі і круга в його системі координат.

Для аналізу методів шліфування торців розроблена узагальнена розрахунково-кінематична схема (мал. 1, а), де з деталлю 1 зв'язана система координат  $X_q Y_q Z_q$ , при цьому вісь  $O_q Z_q$  співпадає з віссю деталі, а вісь  $O_v Y_v$  перпендикулярна до осі  $O_b Z_b$ , співпадаючою з віссю обертання барабана, який здійснює кругову подачу деталі. Система координат

$O_v X_v Y_v Z_v$  зв'язана зі втулкою, в якій базується деталь (мал. 1, I). Вісь  $O_b Y_b$  паралельна осі  $O_o Y_o$ , яка проходить через центр сферичного шарніра, співпадаючого з початком координат  $O_o$ , а координатна площина  $Z_o O_o Y_o$  горизонтальна і зв'язана зі станиною верстата.

З шліфувальним кругом 2 зв'язана система координат  $X_{ii} Y_{ii} Z_{ii}$ , умовно нерухома, при цьому вісь  $O_{ii} Z_{ii}$  співпадає з віссю обертання інструмента, а вісь  $O_{ii} X_{ii}$  проходить через початок координат  $O_o$  і відносно неї здійснюється поворот шліфувального круга в горизонтальній площині на кут  $\varphi$ , а відносно осі  $O_o Y_o$  – у вертикальній площині на кут  $\psi$ .

Рівняння поверхні гвинтової пружини стиску з змінним радіусом  $r_q$  (мал. 1, I) по координаті  $Z_q$  є узагальненим для круглих циліндричних деталей - роликів (мал. 1,в), поршневих пальців (мал. 1,д) некруглих твердосплавних пластин (мал. 1,с), зігнутих голок валиків і барабанів текстильних машин (мал. 1, III [6]).

Матричний запис узагальненого рівняння поверхні деталі у матрицях узагальнених переміщень  $A_i$  [ 7 ] має вигляд:

$$\bar{r}_q = A_4(-\varphi_2) \cdot A_3(-Z_q + P \cdot \theta_q) \cdot A_6(\theta_q) \times \\ \times A_1(r_{qi}) \cdot A_5(\Psi_2) \cdot A_4(\varphi_1) \cdot A_5(\Psi_1) \cdot A_1(r_p) \cdot e_4^T, \quad (2)$$

- де  $A_1, A_3$  - матриці лінійних переміщень вздовж осей  $X$  і  $Z$ ;  
 $A_4, A_5, A_6$  - матриці кутових поворотів відносно осей  $X, Y, Z$ ;  
 $\Psi_1$  - кутовий параметр точки кола радіусом  $r_p$  (мал. 1, II) перерізу дроту пружини відносно осі  $O_p Y_p$  системи координат  $O_p X_p Y_p Z_p$ , осі  $O_p X_p, O_p Y_p$  якої паралельні осям деталі  $O_q X_q$  і  $O_q Z_q$ , а початок координат розташований на відстані середнього радіусу пружини  $r_q$ , від осі  $O_q Z_q$ ;  
 $\varphi_1$  - кут орієнтації перерізу дроту відносно осі  $O_p X_p$  ( $\varphi_1 = \pi/2$  - для зігнутих круглих голок, і  $\varphi_1 = \text{arctg } S/2\pi r_q$  - кут підйому гвинтової лінії пружини, де  $S$  - її шаг);  
 $\Psi_2$  - кут повороту відносно осі  $O_p Y_p$  орієнтованого навколо осі  $O_p X_p$ , перерізу дроту ( $\Psi_2$  - кут нахилу голок, мал. 1, III [6]);  
 $\theta_q$  - кутовий параметр;  
 $r_p = S/2\pi$  - параметр гвинтового руху деталі;  
 $Z_q$  - координата вздовж осі деталі;  
 $\varphi_2$  - кут орієнтації системи координат деталі  $O_q X_q Y_q Z_q$  відносно осі  $O_v X_v$  системи координат  $O_v X_v Y_v Z_v$  базової втулки (мал. 1, I);  
 $e_4 = (0,0,0,1)^T$ .

Рівняння поверхні деталі в системі координат інструмента

$$\bar{r}_{iq} = A_{iq} \cdot \bar{r}_q, \quad (3)$$

де  $A_{iq}$  - матриця переходу з системи координат деталі в систему координат інструмента, яка визначається узагальненим формоутворюючим кодом верстата (мал. 1, а).

$$A_{iq} = A_1(X_2) \cdot A_5(\psi) \cdot A_4(-\varphi) \cdot A_2(-Y_1) \cdot A_1(-X_1) \times \\ \times A_3(Z_1 + P_2 \cdot \theta_b) \cdot A_6(\theta_B) \cdot A_2(R_b) \cdot A_6(\theta_v), \quad (4)$$

де  $\theta_v$  - кут повороту деталі 1 відносно осі  $O_v Z_v$  базової втулки, закріпленої у барабані;

$A_2$  - матриця лінійних переміщень вздовж осі Y;

$R_b$  - радіус барабана;

$\theta_B$  - кутовий параметр;

$X_1, Y_1, Z_1$  - координати  $O_b$  в системі координат  $O_o X_o Y_o Z_o$  (при цьому вісь симетрії барабана проходить через початки координат  $O_b$  і  $O_q$ );

$P_2$  - параметр гвинтового руху верстата;

$X_2$  - координата  $O_u$ .

Матричний запис рівняння поверхні круга (мал. 1, а) має вигляд

$$\bar{r}_i = A_3(Z_i) \cdot A_6(\theta_k) \cdot A_2(R_{(i)}), \quad (5)$$

де  $R_{(i)}$  - радіус перерізу круга, в межах і-тої точки;

$Z_{(i)}$  - її осьова координата;

$\theta_k$  - кутовий параметр.

Підставив вирази (2) і (4) у (3) і розв'язав (5) отримаєм  $\bar{r}_{iq}$  - радіус-вектор точок поверхні деталі в системі координат інструмента і  $\bar{r}_i$  - радіус-вектор точок поверхні круга.

Для точок дотику поверхонь деталі і інструмента

$$\bar{r}_i = \bar{r}_{iq}. \quad (6)$$

З цієї умови знаходимо координати  $Z_q$  точок торцевої поверхні деталі і визначаємо похибку  $\Delta$  (1).

Миттєва продуктивність обробки  $Q_m$  визначається з формули [8]

$$Q_m = \iint_{\sigma} V n d\sigma, \quad (7)$$

де  $\sigma$  - поверхня контакту інструмента та деталі.

Підінтегральна частина формули уявляє собою елементарний об'єм зрізуємого металу, котрий проходить через елементарну площадку  $d\sigma$ , розташовану в межах плями контакту  $\sigma$ . Висота цього об'єму зрізуємого металу дорівнює скалярному добутку векторів відносної швидкості  $\bar{V}$  (мал. 1, а) та одиничного вектора нормалі  $\bar{n}_o$  до поверхні інструмента в  $z_{i-й}$  точці.

$$\bar{V} \cdot \bar{n}_o = V_n = V_x \cdot n_x + V_y \cdot n_y + V_z \cdot n_z, \quad (8)$$

де  $V_x, V_y, V_z$  та  $n_x, n_y, n_z$  - проекції векторів  $\bar{V}$  і  $\bar{n}_o$  на координатні осі інструмента;

$V_n$  - проекція вектора  $\bar{V}$  на напрямок  $n_o$ .

$$n_x = -\sin \theta_k \cdot \cos \alpha, \quad n_y = -\sin \theta_k \cdot \cos \alpha, \quad n_z = \cos \alpha,$$

де  $\alpha$  - кут нахилу дотичної профіля круга, у розглядаємій точці [8]. Швидкість відносного руху  $V$  визначається векторним способом [9] з рівняння

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

де  $\bar{w}_{ib}$  і  $\bar{w}_{iq}$  - вектори кутових швидкостей барабана і деталі в системі координат інструмента;

$\bar{r}_{iq}$  - радіус-вектор точок поверхні деталі в системі координат інструмента, визначається з рівняння (3);

$\bar{A}_b$  і  $\bar{A}_q$  - радіуси-вектори початків координат барабана  $O_b$  і втулки  $O_v$  у системі координат інструмента.

$$\bar{w}_{ib} = L_{ib} \cdot \bar{w}_b, \quad (10)$$

де  $L_{ib}$  - матриця переходу проекцій вектора кутової швидкості барабана із його системи координат у систему координат інструмента;

$\bar{w}_b$  - вектор кутової швидкості барабана в його системі координат.  $L_{ib}$  знаходиться із матриці (4).

$$L_{ib} = A_5(\Psi) \cdot A_4(-\varphi). \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \bar{A}_b &= A_1(x_2) \cdot A_5(\Psi) \cdot A_4(-\varphi) \times \\ &\times A_2(-y_1) \cdot A_1(-x_1) \cdot A_3(z_1) \cdot e_4 \end{aligned} \quad (12)$$

$$\bar{A}_q = A_{iq} \cdot e_4. \quad (13)$$

$$\bar{w}_{iq} = L_{iq} \cdot \bar{w}_q, \quad (14)$$

де  $\bar{w}_q$  - вектор кутової швидкості деталі у системі координат  $O_v X_v Y_v Z_v$  базової втулки.  
 $L_{iq} = L_{ib}$  при паралельних осях барабана  $OZ_b$  і втулки  $OZ_v$ .

Розв'язав рівняння (9), отримаємо вектор швидкості відносного руху  $\bar{V}$ , який у системі координат інструмента визначається проекціями  $V_x, V_y, V_z$ . Підставив їх та  $n_x, n_y, n_z$  у рівняння (8) визначимо  $V_n$ , а потім із (7) - миттєву продуктивність обробки  $Q_m$ .

Дослідження на ЕОМ математичної моделі (1-6), яка описує геометричну похибку  $\Delta$  обробки торців циліндричних деталей, здійснювалось при наступних вихідних даних :  $x_1=x_2=320$  мм;  $y_1=365$  мм;  $z_1=207$  мм;  $R_b=205 \div 212$  мм, радіуси круга  $R_{\max}=225$  мм,  $R_{\min}=152,5$  мм. При дослідженні похибки шліфування торців циліндричних роликів (мал. 1, в) в узагальнене рівняння деталі (2) та матрицю (4) підставляли наступні дані:  $r_p=0$ ,  $\Psi_1=0$ ,  $\varphi_1=0$ ,  $\Psi_2=0$ ,  $r_1=0$ ,  $\varphi_2=0$ ,  $r_q = 9$  мм (радіус ролика),

$$w_q = \frac{d\theta_v}{dt} = 0 \quad (\text{без обертання ролика відносно осі } O_v Z_v \text{ в процесі формо-}$$

$$\text{утворення торця}). \text{ І другий варіант - } w_q = \frac{w_b \cdot R_b}{r_{q \max}},$$

де  $r_{q \max}$  - максимальний радіус деталі ;  
 $w_b = \pi \cdot n_b / 30 \text{ c}^{-1}$ ,  $n_b = 0,017$  об/хв;

Аналіз показав, що при формоутворенні торців циліндричних роликів дисковим кругом, торець якого перпендикулярний осі його обертання і кутах орієнтації  $\varphi = \Psi = 0$ , геометрична похибка торців  $\Delta = 0$ .

В цьому випадку весь припуск знімається периферією круга, що обмежує кругову подачу деталей ( $V_b$ ), і знижує продуктивність обробки (7).

З збільшенням кутів  $\varphi$  і  $\Psi$  припуск розподіляється між периферією і торцем круга, продуктивність і похибка ростуть. Так при  $w_q=0$ ,  $\varphi=0$ ,  $\Psi=0,085^\circ$  припуск, який знімається торцем круга  $\delta=0,2$  мм,  $\Delta=0,023$  мм. При  $\varphi=0$ ,  $\Psi=0,17^\circ$  -  $\delta=0,37$  мм,  $\Delta=0,047$  мм. При обертанні роликів в процесі формоутворення торців  $\Delta$  зменшується в 2 рази ( $\varphi=0$ ,  $\Psi=0,17^\circ$ ,  $\Delta=0,024$  мм).

Профільовання торця круга, по опуклій твірній [6], коли формоутворююча ділянка його знаходиться біля мінімального радіуса круга, дало можливість отримати при  $\varphi=\Psi=0,085^\circ$ ;  $\Delta=0,01$  мм.

Для дослідження похибки формоутворення опорних поверхонь некруглих твердосплавних пластин (мал. 1, с) в узагальнене рівняння деталі (2) підставляли тіж дані, що і для циліндричного ролика, крім радіуса деталі  $r_q$ , який є функцією незалежного параметра  $\theta_q$ ,  $r_q=r_q(\theta_q)$ . Для квадратної пластини (мал. 1, с)  $r_q=r_o/\cos \alpha$ ,

де  $r_o$  - радіус вписаного в квадрат кола;

$\alpha=\theta_q$  при зміні параметра  $\theta_q$  в межах від 0 до  $45^\circ$ ,  $\alpha=90^\circ-\theta_q$  - при зміні  $\theta_d$  від  $45^\circ$  до  $90^\circ$ .

При шліфуванні некруглі пластини не обертаються ( $w_q=0$ ), похибка  $\Delta$  залежить від їх установки. Для пластини зі стороною квадрата 12 мм, розташованою перпендикулярно діаметральній площині барабана (мал. 1, с), похибка  $\Delta$  мінімальна і при формоутворенні плоским торцем круга  $\Delta=0,016$  мм при  $\varphi=0$ ,  $\Psi=0,085^\circ$ . Коли діагональ пластини лежить в діаметральній площині барабана  $\Delta=0,022$  мм.

При дослідженні похибки формоутворення торців циліндричної гвинтової пружини стиску (мал. 1, I) в узагальнене рівняння поверхні деталі (2) підставляли:  $r_p=2$  мм,  $r_q=7,5$  мм,  $S=6$  мм,  $\varphi_1=\arctg(6/2\pi 7,5)$ ,  $\Psi_2=0$ ,  $z_q=0$ ,  $r_1=6/2\pi$ ,  $\varphi_2=0$ . При плоскому торці круга  $w_q=0$ ,  $\varphi=0$ ,  $\Psi=0,085^\circ$ ,  $\Delta=0,024$  мм. При формоутворенні профільованим кругом з опуклою твірною [6] і обертанням пружини, розрахункове торцеве биття  $\Delta=0,008$  мм, при  $\varphi=\Psi=0,085^\circ$ .

Розрахунок прфіля круга і параметрів настроювання двостороннього торцешліфувального автомата моделі 3342 АДО був виконаний для шліфування торців пружин муфт зчеплення автомобіля ГАЗ - 53М на Чернігівському заводі "Агрореммаш". Для підвищення точності базування пружин зі змінним діаметром в процесі формоутворення торців, за рахунок осьових сил різання і неточності заготовки, її встановлюють на призму, яку утворюють чотири ролики, які обертаються, осі яких закріплені в барабані паралельно його осі  $O_B Z_B$  (мал. 1, а). Притиск пружин до призми

в процесі шліфування здійснюється пружним сектором диска, закріпленим на станині з можливістю регулювання натягу в зоні контакту пружина - диск. В процесі обертання барабана пружини примусово обертаються за рахунок різниці сил тертя на роликах, встановлених на підшипниках кочення, і пружним сектором.

Розрахунок оптимальних параметрів настройки станка і беззасорне базування пружин в процесі формоутворення торців дало можливість підвищити продуктивність в 1,4 рази, зменшити торцеве биття пружин на 0,12 мм.

## Висновки

1. Розроблена узагальнена розрахунково - кінематична схема та рівняння для визначення геометричної похибки обробки торців циліндричних деталей орієнтованим інструментом.
2. Розроблені рівняння для визначення локальної та миттєвої продуктивності шліфування торців з урахуванням скалярного додатку вектора відносної швидкості  $\vec{V}$  та одиночного вектора нормалі  $\vec{n}_o$  до поверхні інструмента.
3. Одержані рівняння дозволяють визначити ефективність шліфування торців циліндричних деталей орієнтованим, профільованим інструментом.

1. Література
2. 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.
3. Лурье Г.Б., Комиссаржевская В.Н. Шлифовальные станки и их наладка. М., "Высшая школа", 1976, 415 с.
4. Ящерицын В.П. Оптимальные условия базирования обрабатываемых деталей и геометрическая точность двухстороннего плоского шлифования. В. Кн: Машиностроение, Минск, 1981, №6.
5. Вайнер Л.Г., Шахновский С.С. Радиальная форма рабочей зоны при двухстороннем шлифовании торцов цилиндрических роликов - обработка резанием. Отечественный опыт. Экспресс информация. М: НИИМаш, 1984г. №1, с.1-5.
6. Андрианова И.А., Шахновский С.С. Влияние тепловых деформаций на положение шлифовальных кругов торцешлифовального станка. Станки и инструмент. 1982, №9, с.6-7.
7. Кальченко В.В. Профільовання орієнтованих шліфувальних кругів. Стаття у даному збірнику.
8. Решетов Д.Н., Портман В.Т. Точность металлорежущих станков. М., Машиностроение, 1986, 336с.

9. Кальченко В.И., Рудик А.В., Кальченко В.В., Клошниченко В.М. Продуктивність шліфування поверхонь постійної кривизни орієнтованим інструментом. Вісн.Черніг.технол.і-та, 1996, N1 Машинобудування, електроніка, с. 105-111.і
10. Литвин Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений. М.: Наука, 1968, 585 с.
- Малюнок 1. Узагальнена розрахунково - кінематична схема шліфування торців циліндричних деталей орієнтованим інструментом.*