

ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ШЛІФУВАННЯ ТОРЦІВ ЦИЛІНДРИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ

КАЛЬЧЕНКО ВОЛОДИМИР ВІТАЛІЙОВИЧ

Чернігівський державний технологічний університет

Торці поршневих пальців, циліндричних роликів, хрестовин карданних валів, клапанів, опорних поверхонь не круглих твердосплавних пластин, магнітів, кришок, фланців та інших деталей обробляють на двосторонніх і односторонніх торцешліфувальних півавтоматах [1].

Не зважаючи на широке розповсюдження цих верстатів процес шліфування торців залишається ще не достатньо вивченим.

Розроблена функціонально-параметрична модель процесу однопрохідного шліфування торців (рис. 1), де в якості вхідних управляючих впливів розглядаються кутова швидкість $w_{вз}$ барабана, який подає деталі 1 (рис. 2) в зону обробки на радіусі R_b , частота обертання w_k шліфувального круга 2 і його початковий профіль R_i, Z_i , (рис. 1), осьова подача $S_{кн}$ круга. Головним збуренням є припуск заготовки $Z_з$, її габарити $r_q(\theta_q)$, орієнтація θ_{bq} відносно радіуса R_b барабана (рис. 2, I'), кутова швидкість w_q в функції кута θ_b повороту барабану і її матеріал. Вихідними параметрами процесу є геометричні параметри поверхні торця деталі (координати Z_q), а також її мікро геометрія R_a та глибина дефектного шару $h_{деф}$, а функцією мети – продуктивність. Розрахунок її визначається передаточною функцією процесу знімання припуску та формоутворення, що відображає фактичну взаємодію вихідної інструментальної поверхні r_i з поверхнею заготовки r_{iq} . Тому на вхід цього блоку (рис. 1) надходять не розрахункові $w_{вз}$ і $S_{кн}$, а їх фактичні значення $w_{вф}$ і $S_{кф}$, що відповідає принципу замкненості технологічної системи.

Максимальна продуктивність, яка забезпечує потрібну точність і якість, є інтегральним показником процесу шліфування торців.

Об'єм металу Q , який підводять в зону обробки, має вигляд

$$Q = \sum_{k=1}^n \int_0^{T_n} \left(\int_{i_1}^{i_2} \left(\int_{\theta_{1ki}}^{\theta_{2ki}} V_n \cdot R_i \cdot d\theta_k \right) \sqrt{\left(\frac{dR_i}{di} \right)^2 + \left(\frac{dz_i}{di} \right)^2} \cdot di \right) dT_n, \quad (1)$$

де $R_i \cdot d\theta_k$ – довжина плями контакту, яка вимірюється вздовж окружності i -тої точки профілю інструмента (рис. 2, B); $\sqrt{\left(\frac{dR_i}{di} \right)^2 + \left(\frac{dz_i}{di} \right)^2} \cdot di = dl$ – елементарна ширина плями контакту в осьовому перерізі круга (рис. 2, A-A); \bar{V}_n – вектор нормальної лінійної швидкості; n – кількість деталей, які одночасно обробляються; T_n – час контакту n_k -тої деталі з кругом.

$$\bar{V}_n = \bar{V} \cdot \bar{n}_{oi}, \quad (2)$$

де \bar{V} – вектор відносної швидкості деталі і інструменту, може бути знайдений векторним способом [2], матричним, або диференціюванням формоутворюючого коду верстату за часом [3]; \bar{n}_{oi} – одиничний вектор нормалі до профілю в i -тій точці до моменту обробки.

$$n_{oi} = [\cos\theta_k \cdot (-\sin\alpha_i); \sin\theta_k \cdot (-\sin\alpha_i); \cos\alpha_i]^T, \quad (3)$$

де α_i – кут між дотичною до i -тої ділянки профілю круга та його віссю (рис. 2, A-A).

$$T_n = \frac{L}{V_{oq}}, \quad (4)$$

де $L = R_b \cdot \theta_b$, – довжина дуги контакту, на радіусі R_b барабана, деталі з кругом в межах кута $\theta_b = \theta_{bn} - \theta_{bn}$; $V_{oq} = w_b \cdot R_b$ – лінійна швидкість осі θ_{bn} , θ_{bn} – кути положення деталі в точках n та на початку обробки.

З рівняння (1) визначають об'єм металу, що підводиться в процесі шліфування. Можливість зрізати цей об'єм кругом перевіряють розв'язанням відношення

$$V_{nnp} = a_{znp} / \tau_1, \quad (5)$$

де a_{znp} – гранично допустима товщина шару, що зрізається однією різальною кромкою [4], τ_1 – час між дотиками поверхні деталі з двома сусідніми різальними кромками. У рівнянні (1) $V_n \leq V_{nnp}$.

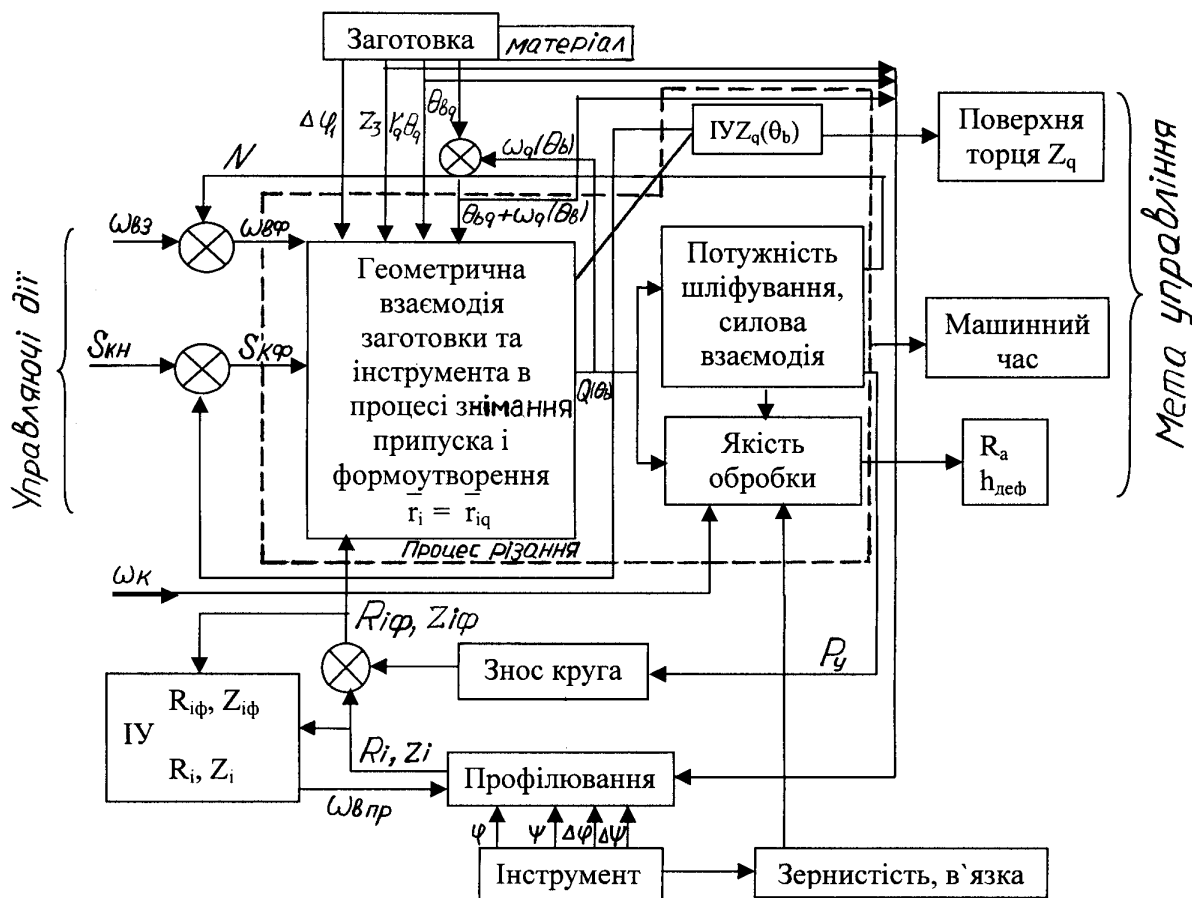


Рис. 1 Функціонально параметрична схема однопрохідного шліфування торців циліндричних деталей на напівавтоматі.

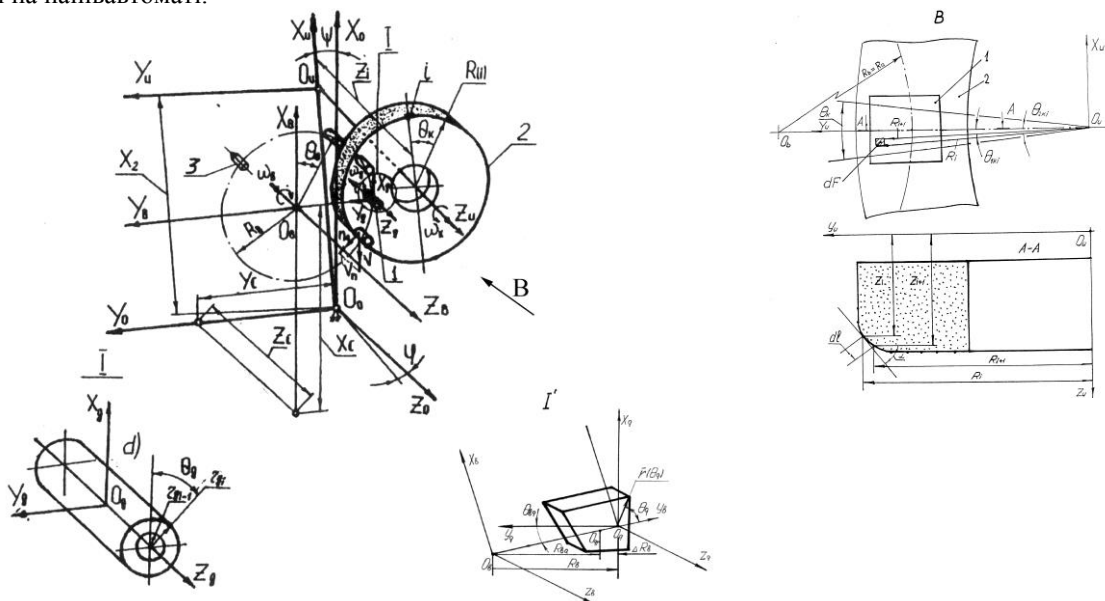


Рис. 2 Узагальнена розрахунково - кінематична схема шліфування торців циліндричних деталей орієнтованим і профільованим кругом

Аналіз рівняння (1) показує, що при постійній швидкості V_{oq} осі O_q (рис. 2) деталі 1 питома продуктивність Q_y (внутрішній інтеграл (1)), та миттєва продуктивність Q_m (поверхневий інтеграл) зростають при збільшенні вектора \bar{V}_n нормальної швидкості, кутів φ і ψ (рис. 2) орієнтації осі круга та довжини L дуги контакту деталі з кругом (зовнішній інтеграл). Тому профілювання круга та його орієнтація повинні забезпечити високу продуктивність, потрібну точність і якість при зніманні припуску зі зменшенням глибини шару, що зрізається при наближенні до формотворної ділянки круга.

Запропонована методика профілювання шліфувального круга, яка враховує припуск, що знімається Z_3 , габарити і форму деталі $r_q(\theta_q)$ (рис. 1), її орієнтацію відносно радіуса R_b барабана θ_{bq} (рис. 2, I'), коли деталь не обертається при обробці навколо осі O_q , а також кутову швидкість w_q і середній радіус r_{qi} при профілюванні круга для обробки циліндричних деталей, які обертаються (рис. 2, I).

При профілюванні абразивних кругів, алмазний олівець 3 (рис. 2) закріплюється на барабані на радіусі R_{ba} , який здійснює кругову подачу. Круг орієнтують у горизонтальній площині на кут φ і у вертикальній – на кут ψ з метою знімання припуску Z_3 (рис. 1) за один прохід. Торцева поверхонь шліфувального круга, в якій радіус-вектор \bar{r}_{ia} точок траєкторії алмазу дорівнює

$$\bar{r}_{ia} = A_{ia} \cdot \bar{r}_a, \quad (6)$$

де \bar{r}_a – радіус-вектор точкового інструменту, який є радіусом - вектором початку координат $e_4(0,0,0,1)^T$, що співпадає з вершиною алмазного олівця 3; A_{ia} - матриця переходу з системи координат алмаза в систему координат круга визначається узагальненим формотворним кодом верстата (рис. 2) і дорівнює матриці A_{iq} [2] при $A_6(\theta_v=0)$ і $A_2(R_b=R_{ba})$.

При шліфуванні торців циліндричних деталей (рис. 2, I), які обертаються в процесі формоутворення, з метою підвищення точності

$$R_{ba} = R_b + r_{qi}, \quad (7)$$

де R_b – радіус, який співпадає з віссю O_q деталі (рис. 2)

При шліфуванні торців деталей, які не обертаються при обробці (рис. 2, I')

$$R_{ba} = R_b - \Delta R_b, \quad (8)$$

де ΔR_b – зміщення початку координат O_q деталі 1 вздовж осі OY_b , при суміщенні осі симетрії мінімальної проекції контуру деталі на вісь OY_b , яка досягається кутом орієнтації θ_{bq} .

В процесі шліфування торців точних великогабаритних деталей (пластин, магнітів, кришок, фланців) на півавтоматах для двостороннього і одностороннього шліфування, деталь орієнтується на кут θ_{bq} (рис. 2, I'), який забезпечує мінімальну проекцію контуру деталі на вісь OY_b (напрямок, перпендикулярний круговій подачі деталі). Виконується комбінована правка. На ділянці круга, біля посадочного отвору, яка забезпечує формоутворення торців деталей, круг правлять в площині, яка перпендикулярна осі його оберту. На ділянці, яка забезпечує знімання припуску, виконується заборний конус [5].

При профілюванні алмазних кругів на металевій в'язці електрохімічним способом використовують копір, який закріплюють замість алмазного олівця 3 (рис. 2), вводять і фіксують в зоні правки.

Радіус-вектор поверхні алмазного круга \bar{r}_i визначається з системи рівнянь, враховуючи рівняння для зв'язків у випадку одно параметричного огинання [3].

$$\begin{cases} \bar{r}_i = A_6(\theta_k) \cdot A_{ia} \cdot \bar{r}_n \\ \frac{\partial \bar{r}_i}{\partial \theta_{bk}} \cdot \frac{\partial \bar{r}_i}{\partial \varphi_k} \cdot \frac{\partial \bar{r}_i}{\partial \theta_k} = 0 \end{cases}, \quad (9)$$

де θ_k – кутовий параметр поверхні круга.

Радіус-вектор поверхні, що формоутворює профіль круга, має вигляд

$$\bar{r}_n = r(\theta_{bk}, \varphi_k) + \delta \cdot \bar{n}_{oj}, \quad (10)$$

де $r(\theta_{bk}, \varphi_k)$ – поверхня копіру; θ_{bk}, φ_k – параметри; δ - робочий зазор між поверхнями круга і копіру; \bar{n}_{oj} – одиничний вектор нормалі до профілю копіру в j -тій точці.

Радіус-вектор поверхні копіру у вигляді опуклого тора дорівнює

$$\bar{r}_n = A_6(\theta_{bk}) \cdot A_1(R_k) \cdot A_3(Z_k(\theta_{bk})) \cdot A_4(\varphi_k) \cdot A_3(\rho_k(\theta_{bk})) \cdot e_4,$$

де ρ_k і R_k - радіуси поверхні тора; $Z_k(\theta_{bk})$ - координата центра радіуса ρ_k в функції θ_{bk} .

Часткові похідні вектору \bar{r}_1 поверхні інструменту, які входять до рівнянь (9), можна визначити як безпосередньо, так і з використанням властивості додатку матриць, підставив замість $A_6(\theta_k)$ її похідну $\partial A_6(\theta_k) / \partial \theta_k$.

В роботі [6] запропонована правка алмазних кругів на металевій в'язці електрохімічним способом, де електрод, який здійснює правку, орієнтований відносно осі круга, має плоский торець, що зужує його можливості. Запропонована методика (9) визначення радіуса - вектора поверхні круга за допомогою криволінійного копіру дає можливість виділити формоутворюючу ділянку, біля посадочного отвору круга, та криволінійну з поступовим зменшенням припуску, який знімається Z_3 (рис. 1) від зовнішнього діаметра по координаті θ_b (рис. 2) шліфування.

Запропоновані засоби правки (7), (8), (9) підвищують точність формоутворення торців в порівнянні з існуючим [1], за рахунок циклу шліфування, де формоутворююча ділянка круга є розвантаженою і кінцевою.

Глибина дефектного шару $h_{\text{деф}}$ обробленої поверхні визначається температурою на торці деталі під час шліфування, яка залежить від щільності q теплового потоку

$$q = \frac{\beta \cdot N}{F}, \quad (11)$$

де N – ефективна потужність шліфування; F – площа контакту круга і деталі; β - коефіцієнт. Запропонована методика [7] визначення потужності шліфування

$$N = a \cdot Q / \tau, \quad (12)$$

де Q – об'єм металу, який зішліфує круг з одного торця деталі; τ - час, за який зішліфовано об'єм Q ; a_y – питома працездатність круга, визначається потужністю, затраченою на знімання одиниці об'єму металу.

З виразу (12) визначається локальна, питома, миттєва та середня потужність шліфування, в залежності від об'єму металу, знайденого з (1).

Методика визначення поточної температури на торці деталі під час шліфування, яка враховує щільність потоку q (11), наведена [8].

При шліфуванні орієнтованими і профільованими кругами торців циліндричних деталей з'являється геометрична похибка формоутворення z_q (рис. 1). Запропоновано методику її розрахунку [6]. Координати точок прошліфованої поверхні торця деталі визначаємо з умови рівності, для точок торкання, радіусів-векторів інструмента і деталі ($\bar{r}_1 = \bar{r}_{iq}$) у його системі координат (рис. 1). Радіус-вектор поверхні круга \bar{r}_1 визначається із (6). Радіус-вектор поверхні деталі в системі круга

$$\bar{r}_{iq} = A_{iq} \cdot \bar{r}_q, \quad (13)$$

де A_{iq} – матриця переходу с системи координат деталі в систему координат круга визначається з (6). Методика розрахунку A_{iq} приведена [2]; \bar{r}_q – радіус-вектор узагальненої поверхні циліндричної деталі 1 (рис. 2) в її системі координат $X_q Y_q Z_q$ приведено [2].

При шліфуванні торців не круглих деталей $r_q = r(\theta_q)$, тому в рівнянні деталі [2] матрицю $A_1(r_{qi})$ необхідно замінити на $A_1(r(\theta_q))$.

З умови $\bar{r}_1 = \bar{r}_{iq}$ знаходимо координати Z_q точок торцевої поверхні і визначаємо її похибку. Для цього координати точок торцевої поверхні представляємо у вигляді матриці [6], стовпці якої являють собою координати осьових перетинів торцевої поверхні деталі, а рядки – координати, розташовані на окружності одного радіуса. При шліфуванні торців не круглих деталей максимальний радіус r_{max} дорівнює радіусу її зовнішнього контуру. У матриці для радіусів, що виходять за зовнішній і внутрішній контур деталі, координати $Z_q=0$. Шаг Δr розбиття в радіальному напрямку залежить від потрібної точності торцевої поверхні, форми її зовнішнього контуру і може бути рівномірним і нерівномірним на ділянках різної точності.

Методика [6] передбачає розрахунок торцевого биття Δ_1 , непрямолінійності Δ_2 профілю осьового перерізу торця деталі, не площинності Δ_3 і не перпендикулярності Δ_4 базової площини до осі деталі.

Максимальне торцеве биття

$$\Delta_{1 \text{ max}} = Z_{q \text{ max}} - Z_{q \text{ min}}, \quad (14)$$

де $Z_{q \text{ max}}$ і $Z_{q \text{ min}}$ максимальна і мінімальна координати точок торцевої поверхні уздовж осі деталі, розташовані на окружності радіусом r_{qn} , де $r_{\text{min}} \leq r_{qn} \leq r_{\text{max}}$.

Максимальну не площинність $\Delta_{3 \text{ max}}$ і непрямолінійність $\Delta_{2 \text{ max}}$, як найбільшу відстань від точок дійсної поверхні (Δ_2 – осьового профілю) до прилягаючої площини (Δ_2 – прямої), знаходять з виразу

$$\Delta_{3max} = \cos \alpha_q \cdot (Z_{nl}(n_o, k_o) - Z_q(n_o, k_o)), \quad (15)$$

де $r_q(n_o, k_o)$ – радіус точки деталі з максимальним відхиленням від прилягаючої площини (Δ_2 - прямої); α_q – кут між нормаллю до базової площини (Δ_2 – прямої) і віссю Z.

$$\Delta_4 = 2r_{max} \cdot \sin \alpha_q, \quad (16)$$

де r_{max} – максимальний радіус зовнішнього контуру деталі.

При однопрохідному шліфуванні торців циліндричних деталей точність формоутворення Z_q залежить від характеру зносу круга, який впливає на фактичний його профіль $R_{i\phi}$, $Z_{i\phi}$ (рис. 1). Об'ємна Q_{ai} кількість зношеного абразиву в одиницю часу знаходиться з співвідношення

$$Q_{ai} = C_{qi} \cdot Q_{yqi}^m, \quad (17)$$

де Q_{yqi} – питома швидкість знімання металу за одиницю часу, C_{qi} – коефіцієнт, який дорівнює швидкості зносу при $Q_{yqi}=1$ для поточного радіуса R_i профілю круга.

Питомий об'єм металу Q_{yqi} , який зрізається ділянкою круга в межах і-тої точки профілю, визначається внутрішнім інтегралом рівняння (1).

Швидкість елементарного зносу j_i за час $d\tau$ в напрямку, нормальному до профілю в межах і-тої точки круга

$$j_i = \frac{C_{qi} \cdot Q_{ydi}^m}{2\pi \cdot R_i \cdot k_\alpha}, \quad (18)$$

де k_α - коефіцієнт, що враховує перекриття ріжучих кромок.

Лінійний знос I_i ділянки профілю за час T_o обробки однієї деталі для і-тої точки профілю круга з радіусом R_i визначається з виразу

$$I_i = \int_{T_o} j d\tau. \quad (19)$$

За час T_n обробки n деталей сумарний лінійний знос $I_{i\Sigma}$ знаходимо з (19), в якому, при визначенні j_{in} , в вираз (18) підставляють Q_{yqin} з (1).

Наступний $j+1$ профіль круга з урахуванням його зносу $I_{i\Sigma}$ за час обробки n деталей може бути поданий у вигляді векторної суми

$$\bar{r}_i^{j+1} = \bar{r}_i^j + n_{i\Sigma} \cdot \bar{n}_{oi}^j, \quad (20)$$

де $\bar{r}_i^j, \bar{r}_i^{j+1}$ - радіус-вектор поточної точки профілю інструмента до моменту та після обробки партії із n деталей.

Дослідження на ЕОМ математичної моделі зносу круга (17-20), дають можливість прогнозувати його профіль після обробки партії деталей

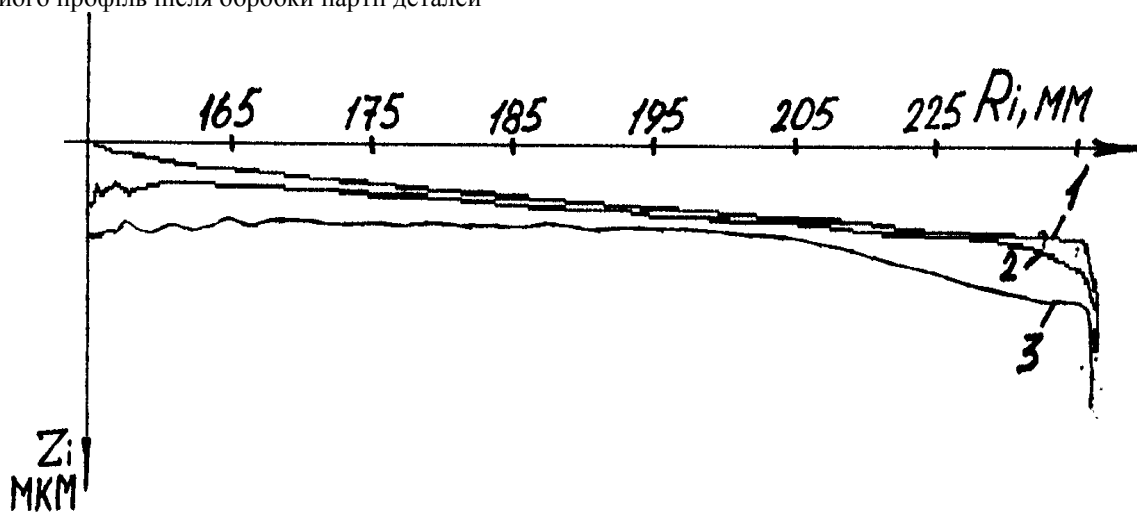


Рис. 3 Графічна залежність зносу профілю круга від партії деталей.

На рис. 3 приведені три профілі круга. 1 – після профілювання його алмазним олівцем при кутах орієнтації $\varphi = -0,09$, $\psi = 0,06$. 2 – після обробки 25 хрестовин карданних валів, 3 – після обробки 100 хрестовин.

Експериментальне дослідження зносу профілю круга показало, що він відрізняється від розрахункового не більше як на 15%.

Для експериментального дослідження C_{qi} , Q_{yqi} , I_i розроблені та виготовлені пристрої [5], які дають змогу контролювати $R_{i\phi}$, $Z_{i\phi}$ профілю круга, об'єм металу, що знімається Q_{yqi} по координаті обробки та координату Z_q під час шліфування. (рис. 1).

Оригінальний пристрій $IY Z_b(\theta_q)$ (рис. 1) контролює об'єм припуску, що знімається $\Delta Q(\theta_b)$ за рахунок зміни індуктивності котушки, сердечником якої є деталь, що обробляється. Розмір Z_q визначається як пропорційний $\Delta Q(\theta_b)$. Цей пристрій керує осьовою подачею круга $S_{кн}$, враховуючи різницю номінальної координати торця і фактичної $Z_q(\theta_b)$ і забезпечує необхідну точність торця Z_q .

Пристрій $IY R_{i\phi}$, $Z_{i\phi}$ (рис. 1) контролює профіль круга після профілювання R_i , Z_i та під час шліфування з урахуванням зносу круга $R_{i\phi}$, $Z_{i\phi}$. Коли похибка профілю круга перевищує допустиму, включається обертання барабану профілювання $w_{впр}$.

Контроль фактичного об'єму Q припуску, що знімається по координаті θ_b обробки пристроєм $IY Z_q(\theta_b)$ (рис. 1) та фактичного зносу профілю круга – пристроєм $IY R_{i\phi}$, $Z_{i\phi}$ (рис. 1) дає можливість визначити фактичний коефіцієнт зносу C_{qi} (17) для кожного поточного радіуса R_i . Це дає можливість при проектуванні розраховувати поточний радіус R_i круга з урахуванням його зносу, та визначити похибку торця деталі з рівнянь (14) (15) (16), яка враховує фактичний профіль круга $R_{i\phi}$, $Z_{i\phi}$.

Аналіз функціональної схеми (рис. 1) показує, що вона дає можливість враховувати при визначенні точності торця Z_q не тільки розрахункові кути орієнтації круга φ і ψ , але й фактичні кути $\Delta\varphi$, $\Delta\psi$ і $\Delta\varphi_1$, які відображають похибку монтування круга 2 (рис. 2) $\Delta\varphi$ і $\Delta\psi$, та деталі 1 $\Delta\varphi_1$ при обробці.

Для цього в матрицю A_{iq} (6) переходу з системи координат деталі в систему координат круга, треба підставити $\Delta\varphi$, $\Delta\psi$ і $\Delta\varphi_1$, які враховують похибки монтування.

Розроблена універсальна модель точності шліфування (14) (15) (16) використовується, як для визначення розрахункової геометричної точності, так і для точності, яка враховує знос профілю круга. Для цього в матрицю координат торцевої поверхні деталі [6] підставляють Z_q з урахуванням сумарного зносу $I_{i\Sigma}$.

Розроблена функціонально-параметрична модель процесу однопрохідного шліфування торців циліндричних деталей на напівавтоматах профілюваними і орієнтованими кругами, в якій враховані його не стаціонарність, замкненість технологічної системи і зношення абразивного круга.

Для підвищення продуктивності шліфування (1) – цільової функції процесу, розроблені методи оптимального профілювання шліфувального круга, розрахунку його зносу, точності формоутворення торця деталі та потужності шліфування, яка визначає глибину дефектного шару обробленої поверхні.

Розроблені нові способи шліфування торців циліндричних деталей підвищили продуктивність в 1,4...2 рази, точність в 1,2...1,5 рази на підприємствах “Автодеталь”, “Агрореммаш” м. Чернігова при шліфуванні торців хрестовин карданних валів, поршневих пальців та циліндричних пружин муфт зчеплення автомобіля ГАЗ-53М.

Перелік літератури:

1. Лурье Г.Б., Комиссаржевская В.Н. Шлифовальные станки и их наладка. М.: Высшая школа, 1976.- 415 с.
2. Кальченко В.І., Кальченко В.В. Точність і продуктивність шліфування торців орієнтованим інструментом // Машинобудування, електроніка – Вісн. Черніг. технол. і-ту №3. –Чернігів: ЧТІ, 1997. – с. 5 –13.
3. Решетов Д.Н., Портман В.Т. Точность металлорежущих станков. М.: Машиностроение, 1986.- 336 с.
4. Кальченко В.І., Рудік А.В., Кальченко В.В. Визначення товщини зрізуючого шару під час шліфування орієнтованим інструментом // Машинобудування, електроніка – Вісн. Черніг. технол. і-ту №3. –Чернігів: ЧТІ, 1997. – с. 23 –26.
5. Кальченко В.І., Лясота В.Ю., Кальченко В.В. Знос профілю орієнтованого шліфувального круга та його контроль // Машинобудування, електроніка – Вісн. Черніг. технол. і-ту №6. –Чернігів: ЧТІ, 1998. – с. 197 –205.
6. Кальченко В.В. Определение геометрической погрешности шлифования торцов профилированным и ориентированным инструментом // Вестник НТУУ “Киевский политехнический институт”. Машиностроение, №37,1999. – с. 138 –142.
7. Кальченко В.В. Определение мощности торцевого шлифования профилированным и ориентированным кругом. Резание и инструмент в технологических системах. № 55.-Харьков: ХГПУ, 1999. - с.145-147.
8. Кальченко В. В., Пасов Г. В. Визначення температури на торцях циліндричної деталі при двосторонньому шліфуванні // Вісн. Житомир. Інж. технол. і-ту № 11, - Житомир : ЖІТУ, 1999. - с. 72-77.