

РОЗДІЛ II. ТЕХНОЛОГІЇ

МАШИНОБУДУВАННЯ ТА АВТОТРАНСПОРТУ

УДК 621.923.42

DOI: 10.25140/2411-5363-2017-3(9)-16-26

Володимир Кальченко, Володимир Венжега,
Олександр Литвин, Дмитро Кальченко

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДВОСТОРОННЬОГО ШЛІФУВАННЯ РІЗНИХ ДІАМЕТРІВ ТОРЦІВ ШТОВХАЧІВ ОРІЄНТОВАНИМИ КРУГАМИ З КАЛІБРУЮЧИМИ ДІЛЯНКАМИ

Актуальність теми дослідження. Забезпечення високої продуктивності та точності обробки торцевих поверхонь різного діаметра потребує розробки нових, високоєфективних методів та способів обробки.

Постановка проблеми. У сучасних умовах розвитку автомобілебудівних та машинобудівних заводів, отримання високоточних торцевих поверхонь деталей пов'язане з високими вимогами до точності та продуктивності шліфування із застосуванням технологій сучасної механічної обробки та повинні мати великий ресурс експлуатації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо способи шліфування деталей з торцями різних діаметрів орієнтованими шліфувальними кругами з калібруючими ділянками та без них, також наведена модульна 3D-модель оброблюваної поверхні при шліфуванні торців деталей, яку використовують для розрахунку точності формоутворення та зняття припуску.

Виділення не досліджених раніше частин загальної проблеми. Загальна модульна 3D-модель двостороннього торцевого шліфування штовхачів із різними діаметрами торців, що не обертаються та обертаються під час обробки, вплив способу фіксації штовхачів у барабані, порядок чергування більшого та меншого діаметрів торців на геометричну точність формоутворення оброблюваних поверхонь, вплив на продуктивність шліфування при оберненому розташуванні деталей у барабані подачі.

Постановка завдання. На базі модульної 3D-моделі процесів зняття припуску та формоутворення торцевих поверхонь деталей та шліфувальних кругів із калібруючими ділянками розрахувати точність оброблюваних поверхонь, сил різання, урівноважити дії сил різання на торцях із різними діаметрами, які призводять до імпульсів на барабані та торцях деталей при обробці.

Виклад основного матеріалу. Представлений спосіб двостороннього шліфування торців різного діаметру орієнтованими шліфувальними кругами з калібруючими ділянками. Запропоновано модульне 3D-моделювання інструментів, процесів зняття припуску та формоутворення торцевих поверхонь різних діаметрів деталей шліфувальними кругами з калібруючими ділянками, деталі розташовуються по чергово, змінюючи менший та більший діаметри, що дозволить забезпечити високу точність формоутворення, та продуктивність обробки деталей. Зменшено міжцентрову відстань між деталями, що розташовуються в барабані подачі.

Висновки. Зроблено розрахунок точності формоутворення торців штовхачів, що не обертаються та обертаються під час обробки. Підвищено точності формоутворення за рахунок калібруючої ділянки, довжина якої дорівнює більшому діаметру деталі. Вперше запропонована універсальна методика практичного використання моделі точності формоутворення торців деталей різних діаметрів з різними способами орієнтації їх в просторі, орієнтованими шліфувальними кругами з калібруючими ділянками та без них.

Рис.: 7. Бібл.: 16.

Постановка проблеми. У сучасних умовах розвитку на автомобілебудівних та машинобудівних заводах отримання високоточних торцевих поверхонь деталей пов'язане з високими вимогами до точності та продуктивності шліфування із застосуванням технологій сучасної механічної обробки. Це відноситься до обробки деталей, таких як штовхачі, клапани, пальці, стержні та ін.

Аналіз відомих результатів досліджень. Обробка торцевих поверхонь деталей на двосторонніх торцешліфувальних верстатах є більш ефективною в порівнянні з шліфуванням на односторонніх торцешліфувальних та плоскошліфувальних верстатах. При двосторонньому торцевому шліфуванні за рахунок одночасної обробки двох торців різних діаметрів, великих діаметрів шліфувальних кругів отримується більша точність торцевих поверхонь.

Провідна компанія світу Saturn (Німеччина) [1] здійснює обробку деталей на двосторонніх торцешліфувальних верстатах спареними шліфувальними кругами, орієнтованими в одній площині на невеликий кут, що при знятті великих припусків потребує декілька проходів. Обробка виконується торцевою поверхнею шліфувальних кругів,

геометрична похибка при цьому залежить від кута нахилу шліфувальних кругів та їх діаметрів. У цій схемі обробки необхідна точність досягається чистовим проходом.

У патенті [16] для підвищення точності шліфування вперше було запропоновано використовувати калібруючі ділянки шліфувальних кругів для обробки деталей з торцями однакового діаметру. Спосіб правки був досліджений також у роботах [4–9], правка калібруючих ділянок шліфувальних кругів відбувається алмазним олівцем з точковим контактом.

Розрахунок сил різання представлено в роботах [4–10]. У цих роботах не розглядається загальна модульна 3D-модель двостороннього торцевого шліфування штовхачів із різними діаметрами торців, що не обертаються та обертаються під час обробки. Також не досліджено вплив способу фіксації штовхачів на барабані, порядок чергування більшого та меншого діаметрів торців на геометричну точність формоутворення оброблюваних поверхонь. Не розглянуто вплив на продуктивність шліфування, при оберненому розташуванні деталей у барабані подачі, за рахунок, зменшення міжосьової відстані деталей, розміщених у барабані подачі виробів.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Маючи математичні моделі процесу обробки штовхачів, можемо обґрунтовано, більш ефективно керувати процесом обробки деталей. У роботах [2; 3] представлено модульне 3D-моделювання двостороннього торцешліфування деталей із циліндричними торцевими поверхнями. Для відповідності високим критеріям обробки деталей потрібно розробити взаємопов'язані модульні 3D-моделі інструмента та формоутворення, що описують процес двостороннього шліфування торцевих поверхонь штовхачів із різними діаметрами, орієнтованими шліфувальними кругами з калібруючими ділянками. Потрібно здійснити підвищення ефективності обробки деталей завдяки вдосконаленню способів двостороннього шліфування торців штовхачів із різними діаметрами орієнтованими профільованими шліфувальними кругами з калібруючими ділянками, за рахунок урівноваження сил різання, а також обертання оброблювальної деталі на калібруючій ділянці.

Мета статті. На базі модульної 3D-моделі процесів зняття припуску та формоутворення торцевих поверхонь деталей та шліфувальних кругів із калібруючими ділянками розрахувати точність оброблюваних поверхонь, сил різання, урівноважити дії сил різання на торцях із різними діаметрами, які призводять до імпульсів на барабані та торцях деталей при обробці. Підвищити точності формоутворення за рахунок використання шліфувальних кругів із калібруючими ділянками, довжина яких обирається залежно від діаметра деталі, оброблювальна деталь при цьому повинна зробити не менше одного оберту на калібруючій ділянці.

Виклад основного матеріалу. Розрахункову схему процесу двостороннього шліфування торців штовхачів різних діаметрів із розташуванням деталей більшими діаметрами з однієї сторони, меншими з іншої у барабані подачі зображено на рис. 1, а, з чергуванням діаметрів – рис. 1, б. Шліфувальні круги 2, 3 мають калібруючі ділянки 9. Заготовки б, закріплені в барабані подачі виробів 1, фіксують в осьовому та радіальному напрямках, що підвищує точність формоутворення. Міжосьова відстань між більшим і меншим діаметрами Lab, між меншими La та більшими Lb. Шліфувальні круги 3, 4 разом з бабками двостороннього торцешліфувального верстата 2, 5 повернуті на кути ψ у вертикальній та ϕ у горизонтальній площинах, поворот яких відбувається відносно сферичних шарнірів 8. Кути орієнтації шліфувальних кругів вибираються залежно від величини припуску. Правка чорнових ділянок шліфувальних кругів здійснюється алмазними олівцями 7, а правка калібруючих ділянок – алмазним олівцем 10.

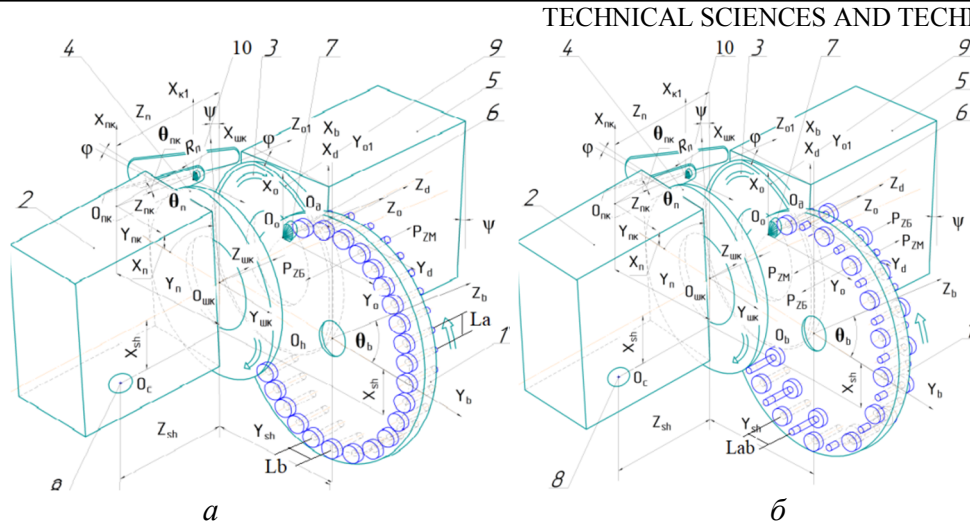


Рис. 1. Розрахункова схема формоутворення торців деталей різних діаметрів з двома способами розташування їх у барабані подачі

Запишемо радіус-вектор інструментальної поверхні шліфувального круга:

$$\vec{R}_{шк} = MC_{Z_{шк}(i)\cdot\theta_{шк}\cdot R_{шк}(i)}^I \cdot \vec{e}_4, \tag{1}$$

де $\theta_{шк}$ – кутовий параметр поверхні шліфувального круга.

$$MC_{Z_{шк}(i)\cdot\theta_{шк}\cdot R_{шк}(i)}^I = M_3(Z_{шк}(i)) \cdot M_6(\theta_{шк}) \cdot M_2(R_{шк}(i)). \tag{2}$$

Модульна 3D-модель формоутворення торцевих поверхонь описується добутком п'яти модулів: циліндричного інструментального $MC_{Z_{шк}(i)\cdot\theta_{шк}\cdot R_{шк}(i)}^I$, сферичного орієнтації $MS_{\varphi\cdot\psi\cdot X_c}^O$, прямокутного переносу $MP_{Z_c\cdot Y_c\cdot X_c}^{\Pi}$, циліндричного транспортування та подачі деталей $MC_{Z_b\cdot\theta_b\cdot Y_b}^T$, циліндричного формоутворення $MC_{Z_f\cdot\theta_f\cdot Y_f}^{\Phi}$ та системою зв'язків.

$$\vec{R}_D = MC_{Z_f\cdot\theta_f\cdot Y_f}^{\Phi} \cdot MC_{Z_b\cdot\theta_b\cdot Y_b}^T \cdot MP_{Z_c\cdot Y_c\cdot X_c}^{\Pi} \cdot MS_{\varphi\cdot\psi\cdot X_c}^O \cdot MC_{Z_{шк}(i)\cdot\theta_{шк}\cdot R_{шк}(i)}^I \cdot \vec{e}_4, \tag{3}$$

$$MC_{Z_b\cdot\theta_b\cdot Y_b}^T = M_3(Z_b) \cdot M_6(\theta_b) \cdot M_2(Y_b), \tag{4}$$

$$MC_{Z_f\cdot\theta_f\cdot Y_f}^{\Phi} = M_3(Z_f) \cdot M_6(\theta_f) \cdot M_2(R_{nf}), \tag{5}$$

$$MS_{\varphi\cdot\psi\cdot X_c}^O = M_4(\varphi) \cdot M_5(\psi) \cdot M_1(X_c) \tag{6}$$

$$MC_{Z_f\cdot\theta_f\cdot Y_f}^{\Phi} = M_3(Z_f) \cdot M_6(\theta_f) \cdot M_2(R_{nf}), \tag{7}$$

де Y_b, Z_b – координати оброблюваної деталі в системі координат барабана подачі, мм;

Z_f, θ_f, Y_f – аргументи однокоординатних матриць формоутворення, мм, °, мм.

Система зв'язків:

$$\left. \begin{aligned} X_c, Y_c, Z_c = const, \psi, \varphi = const, Y_b = R_b, \\ R_{шк} = R_{шк}(i), Z_{шк} = Z_{шк}(i), Y_f = Y_f(i), \\ Z_f = Z_f(\theta_b), Z_b = Z_b(\theta_b), \theta_f = k \cdot \theta_b, \end{aligned} \right\} \tag{8}$$

де $R_{шк}(i), Z_{шк}(i)$ – координати профілю шліфувального круга, які зв'язані між собою за допомогою i -го параметра, мм;

$Z_b(\theta_b)$ – координата оброблюваної деталі в системі координат подаючого барабана, яка змінюється залежно від кута повороту барабана подачі виробів θ_b , мм;

$Z_f(\theta_b), \theta_f(\theta_b)$ – координати формоутворення поверхні деталі, що змінюються залежно від кута повороту барабана подачі виробів θ_b , мм, °;

$Y_f(i)$ – координата профілю інструмента, при обробці деталей з некруглим профілем вона змінна по контуру, при обробці деталей з круглими торцевими поверхнями вона незмінна $R_{nf} = r_{dn}$, для більшого діаметра штовхача $Y_{1f} = r_{d1}$, для меншого діаметра – $Y_{2f} = r_{d2}$, мм.

Умова контакту профілів інструмента та деталі:

$$\frac{\partial \bar{R}_D}{\partial \theta_{ins}} \times \frac{\partial \bar{R}_D}{\partial i} \cdot \frac{\partial \bar{R}_D}{\partial \theta_b} = 0. \tag{9}$$

Перед обробкою деталей з торцями різних діаметрів на двосторонніх торцешліфувальних верстатах спочатку визначається величина припуску, що знімається під час шліфування. Якщо припуск невеликий, то доцільно виконувати обробку орієнтованими шліфувальними кругами без калібруючих ділянок [1]. У випадку обробки деталей зі зняттям великих припусків, перевіряється можливість обробки орієнтованими шліфувальними кругами без калібруючих ділянок з одностороннім розташуванням торців одного діаметра [13]. Такий варіант обробки обираємо, якщо похибка на торці більшого діаметра не більше допустимої. Для забезпечення обробки деталей за один прохід та необхідної точності обробки при великосерійному та масовому виробництві використовується спосіб шліфування орієнтованими кругами з калібруючими ділянками з одностороннім розташуванням торців одного діаметра. Калібруючі ділянки при цьому робляться різної довжини залежно від діаметра, відповідно більшого та меншого. Якщо цей спосіб не забезпечує необхідну точність, потрібно виконувати обробку орієнтованими шліфувальними кругами з калібруючими ділянками та орієнтацією деталей по чергово меншим та більшим діаметром, кількість деталей у зоні обробки повинна бути парною з метою забезпечення точності формоутворення, продуктивності та ефективності обробки деталей. Розрахунок точності формоутворення деталей здійснюється за програмою універсальної моделі точності формоутворення деталей із торцями різних діаметрів.

На рис. 2 зображено відхилення від площинності торця штовхача 1 при обробці шліфувальним кругом із калібруючою ділянкою, формоутворення відбувається найбільшим 4 та найменшим 3 діаметрами при обробці меншого (рис. 2, а, в) та більшого (рис. 2, б, з).

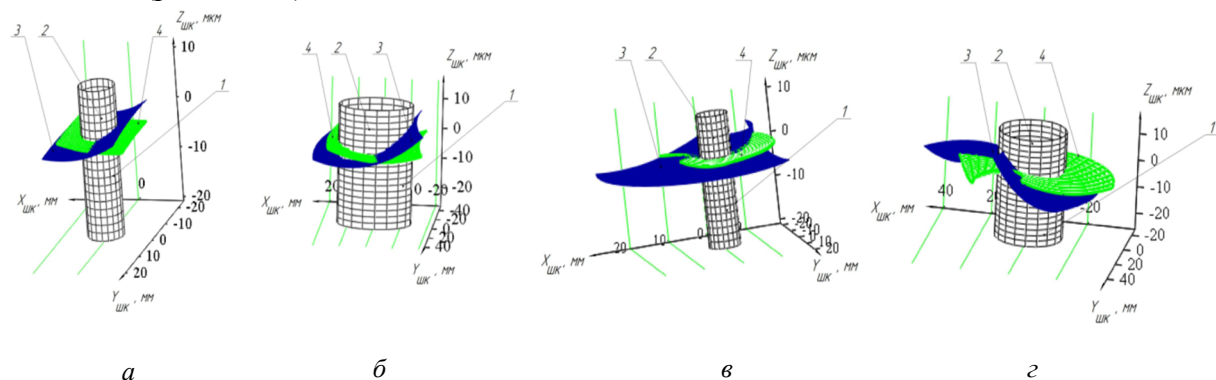


Рис. 2. Точність формоутворення торця штовхача при обробці шліфувальним кругом з калібруючою ділянкою деталей, що не обертаються під час обробки(а, б) та обертаються під час обробки(в, з)

На рис. 3 наведено графік похибки формоутворення торця штовхача діаметром 8 мм (рис. 3, а) та 28 мм (рис. 3, б) по контуру, де при обробці деталь фіксується та не обертається.

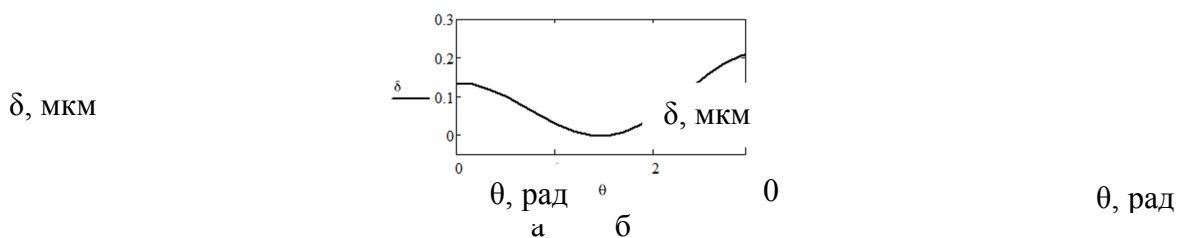


Рис. 3. Геометрична похибка формоутворення торців штовхачів

Як видно з рис. 3, а, б, величина похибки формоутворення збільшується зі збільшенням діаметра торця оброблюваної деталі.

На рис. 4 наведено графік похибки формоутворення торця штовхача діаметром 8 мм (рис. 4, а) та 28 мм (рис. 4, б) по контуру, де при обробці деталь обертається.

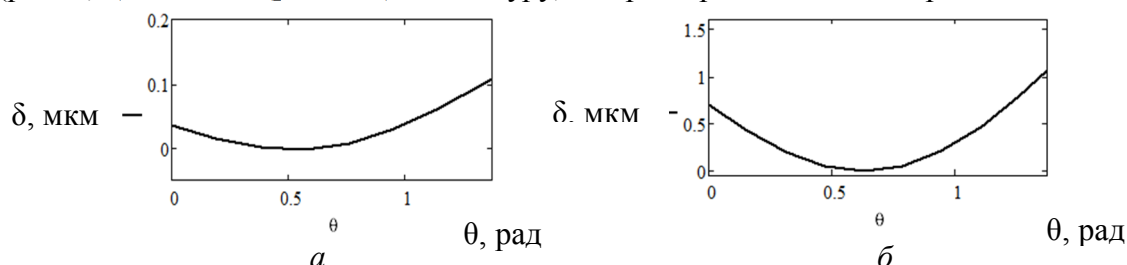


Рис. 4. Геометрична похибка формоутворення торців штовхачів

Як видно з графіків (рис. 3, 4) точність формоутворення більша при обертанні деталі, але симетричності торців буде нижче, якщо деталь не обертається під час обробки.

Сили, які виникають при шліфуванні торцевих поверхонь, визначаються згідно з роботами [9; 10].

На окреме зерно діють сили зсуву, тертя та інерції, для визначення їх проекцій в радіальному та тангенціальному напрямку скористаємося формулами [15]:

$$P_{Oz}^{\tau} = P_{zc}^{\tau} + P_{mp}^{\tau} + P_{in}^{\tau} = \tau_{zc} \cdot z \cdot \rho \cdot \left\{ \begin{array}{l} \frac{\sin(\beta + \varphi_{zc})}{\sin \beta \cdot \sin \varphi_{zc}} \cdot \sqrt{2 \frac{z}{\rho} + 2\pi\mu / (3\mu_{zc}) + \dots} \\ + \frac{\rho_m \cdot v \cdot (v - v_z \cdot \sin \gamma)}{\tau_{zc}} \cdot \sqrt{2 \frac{z}{\rho}} \end{array} \right\}, \quad (10)$$

$$P_{Oz}^n = P_{zc}^n + P_{mp}^n + P_{in}^n = \tau_{zc} \cdot z \cdot \rho \cdot \left\{ \begin{array}{l} \frac{\cos(\beta + \varphi_{zc})}{\sin \beta \cdot \sin \varphi_{zc}} \cdot \sqrt{2 \frac{z}{\rho} + 2\pi / (3\mu_{zc}) + \dots} \\ + \frac{\rho_m \cdot v \cdot v_z \cdot \cos \gamma}{\tau_{zc}} \cdot \sqrt{2 \frac{z}{\rho}} \end{array} \right\}, \quad (11)$$

де P_{Oz}^{τ} , P_{Oz}^n – тангенціальна та нормальна складові сили мікрорізання одиничним зерном, Н;

P_{zc}^n , P_{mp}^n , P_{in}^n – сили зсуву, тертя, інерції, Н;

τ_{zc} – напруги зсуву, які залежать від температури нагрівання матеріалу, Па;

z , ρ – глибина проникнення вершини зерна в матеріал заготовки та радіус її заокруглення, мм;

ρ_m – щільність матеріалу заготовки, кг/м³;

$\beta = 9^\circ$ – кут зсуву оброблюваного матеріалу;

v – швидкість різання м/с;

$v_z = v \sin \beta / \cos(\beta - \gamma)$ – проекція швидкості руху стружки на напрям переміщення зерна відносно матеріалу заготовки;

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

$\gamma = \arcsin(1 - z/2\rho)$ – передній кут ріжучої кромки, °;

μ_{zc}, μ – коефіцієнти тертя у площині зсуву та на задній поверхні кромки;

$\varphi_{zc} = \arctg \mu_{zc}$ – кут тертя у площині зсуву, °.

При шліфуванні товщина шару a_{zp} , що зрізується зерном, є основним елементом при аналізі процесу шліфування:

$$a_{zp} = S_{pk} \cdot n, \tag{12}$$

де S_{pk} – подача на ріжучу кромку, мм;

n – вектор одиничної нормалі.

Для визначення сумарної сили різання потрібно знайти пляму контакту та провести інтегрування [16]:

$$P_{\Sigma}^z = \iint_S P_{Oz}^z \cdot n_s(z, \rho) ds; \tag{13}$$

$$P_{\Sigma}^n = \iint_S P_{Oz}^n \cdot n_s(z, \rho) ds; \tag{14}$$

де $n_s(z, \rho)$ – кількість абразивних зерен, розташованих на глибині z окружності радіуса ρ ;

S – розмір плями контакту з урахуванням висоти мікронерівностей, мм².

Сили різання можна визначити за допомогою експериментально визначеної потужності, при шліфуванні більшого діаметра (28 мм) та меншого діаметра (8 мм), за формулою [11]:

$$Pz1_i = Npз1_i / V_i, \tag{15}$$

$$Pz2_i = Npз2_i / V_i, \tag{16}$$

де $Npз1_i, Npз2_i$ – потужності шліфування більшого та меншого торців деталі відповідно;

V_i – швидкість різання, яка визначається з [10]:

$$V_i = \frac{\pi \cdot D_i \cdot n}{60 \cdot 1000}, \tag{17}$$

де D_i – діаметр розташування центра деталі на поверхні шліфувального круга;

n – частота обертання шліфувального круга.

Потужність шліфування $N_{шл}$ однієї деталі одним інструментом визначаються з виразу [2]:

$$N_{шл} = a_{шл} \cdot Q_{шл}, \tag{18}$$

де $Q_{шл}$ – продуктивність шліфування, мм³/с;

$a_{шл}$ – питома потужність, що витрачається на зняття одиниці об'єму, визначається експериментально, Н/м².

На рис. 5 зображено графік активної потужності, яка витрачається на шліфування меншого (рис. 5, а) та більшого (рис. 5, б) торця штовхача.

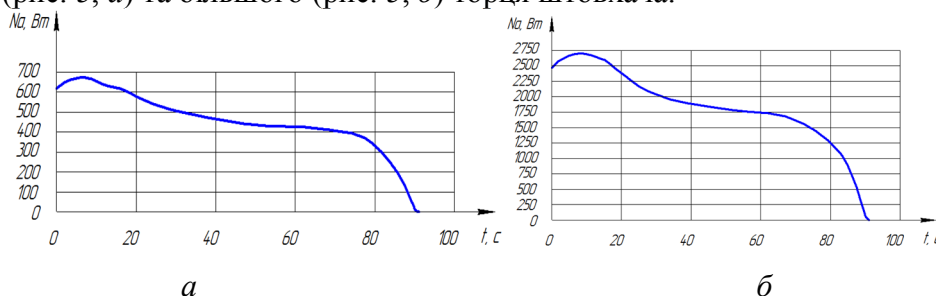


Рис. 5. Активна потужність

З виразу (15, 16) визначимо сили різання та побудуємо графіки залежності сил P_z від часу t меншого (рис. 6, а) та більшого (рис. 6, б) діаметрів.

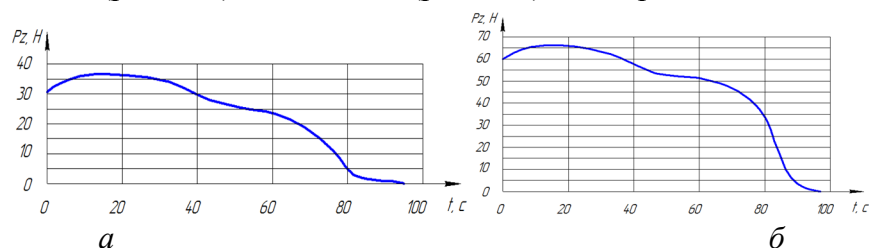


Рис. 6. Сили різання P_z

Будуємо графіки залежності сумарних сил $P_{z\Sigma}$ від часу t одностороннього розташування (рис. 7, а) та почергового розташування деталей (рис. 7, б) діаметрів.

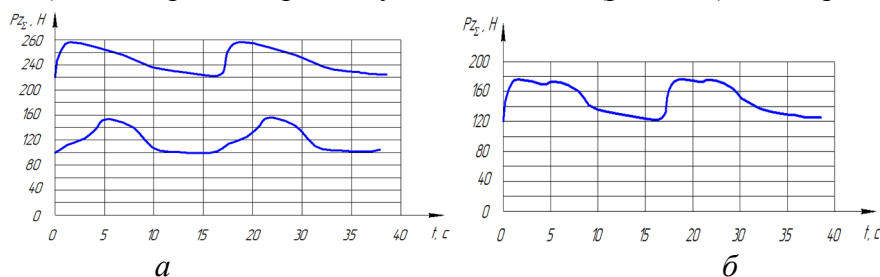


Рис. 7. Сумарні сили різання P_z

У зоні шліфування доцільна обробка парної кількості деталей, що забезпечить циклічність процесу. Зменшена міжосьова відстань між заготовками в барабані (рис. 1, а, б $L_b > Lab$), дозволить скомпенсувати стрімку зміну навантаження при послідовному вході заготовок у зону обробки, за рахунок чергування великих та малих діаметрів торців штовхачів (рис. 1, б, Lab).

Висновок. Проведено дослідження процесу шліфування торців різного діаметра штовхачів, способу кріплення штовхачів, виконано 3D-моделювання впливу способу фіксації штовхачів у барабані подачі виробів, на геометричну точність формоутворення. При кріпленні штовхачів нерухомо у втулках забезпечується підвищення симетричності торців, але збільшується геометрична похибка формоутворення. При обертанні деталей під час обробки геометрична точність формоутворення буде більше.

Запропоновано модульне 3D-моделювання інструментів, процесів зняття припуску та формоутворення торцевих поверхонь різних діаметрів деталей шліфувальними кругами з калібруючими ділянками, а кріплення деталей розташовується в барабані подачі виробів, почергово змінюючи менший та більший діаметри, що дозволить забезпечити високу точність формоутворення, продуктивність та ефективність обробки деталей. Зменшено міжцентрову відстань між деталями (рис. 1, Lab), що розташовуються в барабані подачі, для підвищення продуктивності шліфування. Зроблено розрахунок точності формоутворення торців штовхачів, що не обертаються та обертаються під час обробки. Підвищено точності формоутворення за рахунок калібруючої ділянки, довжина якої дорівнює більшому діаметру деталі, а оброблювальна деталь при цьому робить не менше одного оберту на калібруючій ділянці.

Уперше запропонована універсальна методика практичного використання моделі точності формоутворення торців деталей різних діаметрів, з різними способами орієнтації їх у просторі, орієнтованими шліфувальними кругами з калібруючими ділянками та без них. Усе це створює передумови для створення нових високоефективних технологій та методів шліфування торців деталей із різним діаметром торців, а також їх подальшому впровадженню у виробничі процеси.

Список використаних джерел

1. *Saturn*. Торцевое шлифование спаренными шлифовальными кругами: [Журнал для клиентов фирмы «Junkermaschinen»] / ErwinJunker: Maschinenfabric Gmbh, Junkerstraße 2. Postfach 25. D 77787. – Nordrash, Germany, 2005 – 8 с.
2. *Грабченко А. И.* Шлифование со скрещивающимися осями инструмента и детали : монография / А. И. Грабченко, В. И. Кальченко, В. В. Кальченко. – Чернигов : ЧГТУ, 2009. – 356 с.
3. *Кальченко В. В.* Наукові основи ефективного шліфування зі схрещеними осями абразивного інструменту та деталі : дис. ... д-ра техн. наук / В. В. Кальченко ; НТУ «ХП». – Х., 2006. – 489 с.
4. *Кальченко В. И.* Определение составляющих силы резания при глубинном шлифовании поверхностей вращения ориентированным эльборовым кругом / В. И. Кальченко, Н. Н. Погиба, Д. В. Кальченко // Сверхтвердые материалы : научно-теоретический журнал. – 2012. – № 2 (196). – С. 58–73.
5. *Determination Of Cutting Forces In Grinding With Crossed Axes Of Tool And Workpiece / Volodymyr Kalchenko, Andriy Yeroshenko and others // Acta mechanica et automatica.* – 2017. – Vol. 11, no. 1. – Pp. 58–63.
6. *Вайнер Л. Г.* Моделирование сил резания и характеристик съема припуска при двустороннем шлифовании торцов одиночной заготовки / Л. Г. Вайнер // Новые материалы и технологии в машиностроении : сборник научных трудов по итогам международной научно-технической конференции. – Брянск : БГИТА, 2011. – Вып. 14. – С. 14–17.
7. *Каминская В. В.* Расчетное определение сил резания при обработке торцов роликов на двухстороннем торцешлифовальном станке / В. В. Каминская, Л. Г. Вайнер // Повышение эффективности использования технологического оборудования, гибких автоматизированных станочных комплексов : тезы докл. науч.-техн. конф. – Комсомольск-на-Амуре : ХЦНТИ, 1985. – С. 12–13.
8. *Кальченко В. І.* Дослідження процесу шліфування торців орієнтованих деталей профільованими кругами / В. І. Кальченко, В. В. Кальченко, О. С. Следнікова // Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. – 2016. – № 4 (2016). – С. 72–82.
9. *Филимонов Л. Н.* Плоское шлифование / Л. Н. Филимонов. – Л. : Машиностроение, 1985. – 109 с.
10. *Теоретичне та експериментальне дослідження процесів зняття припуску, зносу кругів, точності формоутворення та теплонапруженості під час шліфування торців деталей / В. І. Кальченко, В. І. Венжега, О. С. Следнікова, Д. В. Кальченко // Технічні науки та технології : науковий журнал.* – 2016. – № 4 (6). – С. 25–34.
11. *Кудинов В. А.* Динамика станков / В. А. Кудинов. – М. : Машиностроение, 1967. – 359 с.
12. *Братан С. М.* Разработка математической модели, учитывающей влияние отклонения профиля инструмента на динамику процесса врезного комбинированного шлифования / С. М. Братан, Д. А. Каинов, Н. А. Минаев // Вісник СевНТУ. Серія: Машиноприладобудування та транспорт. – 2010. – Вип. 111. – С. 17–25.
13. *Дослідження процесу двостороннього шліфування циліндричних деталей з торцями різних діаметрів орієнтованими шліфувальними кругами / В. В. Кальченко, О. С. Следнікова, В. О. Винник, О. О. Литвин // Технічні науки та технології : науковий журнал.* – 2017. – № 2 (8). – С. 40–48.
14. *Дослідження процесу двостороннього шліфування торців штовхача з різними діаметрами зі схрещеними осями кругів з плоскими торцями та деталей / В. В. Кальченко, В. І. Венжега, О. О. Литвин, Д. В. Кальченко // Високі технології в машинобудуванні / Харківський політехнічний інститут.* – 2017. – № 1 (27). – С. 59–68.
15. *Кальченко В. В.* Профільовання орієнтованих шліфувальних кругів. / В. В. Кальченко // Вісник Чернігівського технологічного інституту. – 1997. – № 3. – С. 14–19.
16. *Деклараційний патент 10636 Україна на винахід (корисну модель), МПК В24В5/04. Спосіб одночасного шліфування двох торців циліндричних деталей / Кальченко В. В., Жадан О. В. ; заявник та патентовласник Кальченко В. В., Жадан О. В. – № u200505125 ; заявл. 30.05.05; опубл. 15.11.05, Бюл. № 1.*

References

1. Saturn. Tortcevoe shlifovanie sparennymi shlifoval'nymi krugami: [Zhurnal dlia klientov firmy «Junkermaschinen»] [Saturn. Face grinding with twin grinding wheels: [Magazine for customers of the company «Junkermaschinen»] (2005). ErwinJunker: Maschinenfabric Gmbh, Junkerstraße 2. Postfach 25. D 77787. Nordrash, Germany (in Russian).
2. Grabchenko, A.I., Kalchenko, V.I. & Kalchenko, V.V. (2015). *Shlifovanie so skreshchiva-iushchimisia osiami instrumenta i detali* [Grinding with crossed tool axes and parts] (2nd ed., enl.). Chernigov: CHNTU (in Russian).
3. Kalchenko, V.V. (2006). Naukovi osnovy efektyvnopo shlifuvannia zi skreshchenymy osiami abrazivnopo instrumentu ta detali [Scientific bases of effective polishing with crossed axes of abrasive tool and part]. *Doctor's thesis*. Kharkiv: NTU «KPI» (in Ukrainian).
4. Kalchenko, V.I., Pogiba, N.N. & Kalchenko, D.V. (2012). Opredelenie sostavliaiushchikh sily rezaniia pri glubinnom shlifovanii poverkhnosti vrashcheniia oriietirovannym elborovym krugom [Determination of the components of the cutting force for deep grinding of surfaces of revolution by an oriented elbor wheel]. *Sverkhtverdye materialy – Superhard materials*, no. 2 (196), pp. 58–73 (in Russian).
5. Kalchenko, V.V., Yeroshenko, A.M., Boiko, S.V. & Sira, N.M. (2017). Determination Of Cutting Forces In Grinding With Crossed Axes Of Tool And Workpiece. *Acta mechanica et automatica*, vol. 11, no. 1, pp. 58–63.
6. Vainer, L.G. (2011). Modelirovanie sil rezaniia i kharakteristik sema pripuska pri dvustoronnem shlifovanii tortcov odinochnoi zagotovki [Simulation of the cutting forces and the stock removal performance at the bilateral ends of a single billet grinding]. *Novye materialy i tekhnologii v mashinostroenii FGBOU VPO Brianskaia gosudarstvennaia inzhenerno-tekhnologicheskaiia akademiia – New materials and technologies in mechanical engineering*. VPO Bryansk State Engineering and Technological Academy, issue 14, pp. 14–17 (in Russian).
7. Kaminskaia, V.V. & Vainer, L.G. (1985). Raschetnoe opredelenie sil rezaniia pri obrabotke tortcov rolikov na dvukhstoronnem tortceshlifovalnom stanke [Estimated determination of cutting forces during the processing of the ends of rollers on a two-sided face grinding machine]. Proceedings from *Povyshenie effektivnosti ispolzovaniia tekhnologicheskogo oborudovaniia, gibkikh avtomatizirovannykh stanochnykh kompleksov – Increasing the efficiency of using process equipment, flexible automated machine tools*. Komsomolsk-na-Amure: KhTcNTI, pp. 12–13 (in Russian).
8. Kalchenko, V.I., Kalchenko, V.V., Sliednikova, O.S. (2016). Doslidzhennia protsesu shlifuvannia tortsiv oriietovanykh detalei profilovanykh kruhamy [Research grinding process ends oriented profiled parts circles]. *Bulletin ChSTU. Series: Engineering – Cherkasy ChSTU*, no. 4 (2016), pp. 72–82 (in Ukrainian).
9. Filimonov, L.N. (1985). *Ploskoe shlifovanie* [Surface grinding]. Leningrad: Mashinostroenie (in Russian).
10. Kalchenko, V.I., Venzheha, V.I., Sliednikova, O.S. & Kalchenko, D.V. (2016). Teoretychne ta eksperymentalne doslidzhennia protsesiv zniattia pryprysku, znosu kruhiv, tochnosti formoutvorennia ta teplonapruzhenosti pid chas shlifuvannia tortsiv detalei [Theoretical and experimental researches of processes of removal of abandonment, wear of circles, accuracy of forming and heat stress during grinding of ends of parts]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, no. 4 (6), pp. 25-34 (in Ukrainian).
11. Kudinov, V.A. (1967). *Dinamika stankov* [Dynamics of machine tools]. Moscow: Mashinostroenie (in Russian).
12. Bratan, S.M., Kainov, D.A., Minaev, N.A. (2010). Razrabotka matematicheskoi modeli, uchityvaiushchei vliianie otkloneniia profilii instrumenta na dinamiku protsesa vreznoho kombinirovannogo shlifovaniia [Development of a mathematical model that takes into account the influence of the deviation of the tool profile on the dynamics of the combined combined grinding process]. *VisnikSevNTU. Serii: Mashinopriladobuduvannia ta transport – VisnykSevNTU. Series: Machine-tool construction and transport*. Sevastopol: VisnikSevNTU, no. 111, pp. 17–25 (in Russian).
13. Kalchenko V.V., Sliednikova O.S., Vynnyk V.O. & Lytvyn O.O. (2017) Doslidzhennia protsesu dvustoronnoho shlifuvannia tsylindrychnykh detalei z tortsiamy riznykh diametriv oriietovanykh shlifoval'nymi kruhamy [Investigation of the process of bilateral polishing of cylindrical parts

with ends of different diameters oriented oriented grinding circles]. *Tekhnichni nauky ta tekhnologii – Technical sciences and technologies*, no. 2 (8), pp. 40–48 (in Ukrainian).

14. Kalchenko, V.V., Venzheha V.I., Lytvyn, O.O., Kalchenko D.V. (2017). Doslidzhennia protsesu dvostoronnoho shlifuvannia tortsiv shtovkhacha z riznymi diametramy zi skhreshchenymy osiamy kruhiv z ploskomy tortsiamy ta detalei [Investigation of the process of bilateral polishing of the ends of the pusher with different diameters with crossed axes of circles with flat ends and parts]. *Vysoki tekhnologii v mashynobuduvanni – High technology in mechanical engineering*. Kharkiv: Kharkivskiy politekhnichnyi instytut, no. 1 (27), pp. 59–68 (in Ukrainian).

15. Kalchenko, V.V. (1997). Profiliuvannia oriientovanykh shlifovalnykh kruhiv [Profiling oriented oriented grinding wheels]. *Bulletin of the Chernihiv Technological Institute – Visnyk Chernihivskoho tekhnolohichnoho instytutu*, no. 3, pp. 14–19 (in Ukrainian).

16. Kalchenko, V.V. & Zhadan, O.V. (2005). *Sposib odnochasnoho shlifuvannya dvokh tortsiv tsylindrychnykh detalei [The method of simultaneous grinding of two ends of cylindrical parts]*. Deklaratsiyniy patent (Ukraine) № 10636, MPK V24V5/04.

UDC 621.92.42

Volodymyr Kalchenko, Volodymyr Venzheha, Oleksandr Lytvyn, Dmytro Kalchenko

INVESTIGATION OF THE PROCESS OF TWO-SIDED POLISHING OF DIFFERENT DIAMETERS OF THE PUSHERS ENDS WITH ORIENTATED CIRCLES WITH CALIBRATING SECTIONS

Urgency of the research. Ensuring of high performance and processing precision of faceplates of different diameters requires the development of new high-performance methods and processing modes.

Target setting. In today's conditions of development of automobile and machine-building plants, the receiving of high-precision end surfaces of parts is connected with high requirements for the accuracy and performance of grinding with the use of modern mechanical processing technologies and should have a large operational life.

Actual scientific researches and issues analysis. There are known methods for grinding parts with end faces of different diameters with oriented grinding wheels with and without calibration plots, as well as a modular 3D model of the surface to be machined when end faces grinding is used to calculate the accuracy of molding and removal of the droplet.

Uninvestigated parts of general matters defining. General modular 3D model of two-sided end grinding of pushers with different diameters of non-rotating and rotating end faces during processing, the influence of the method of fixing pushers in a drum, the order of alternating bigger and smaller end faces on the geometric accuracy of shaping of treated surfaces, the influence on grinding performance with the inverse of the location of the parts in the feed drum.

The research objective. On the basis of the modular 3D model of processes of abutting and forming of the end surfaces of parts and grinding wheels with calibration areas, to calculate the accuracy of the machined surfaces, the cutting forces, to balance the forces of cutting forces on the ends with different diameters, which lead to impulses on the drum and the ends of the parts during processing.

The statement of basic materials. The method of two-sided grinding of ends of different diameters orientated with grinding wheels with calibrated sections is suggested. The modular 3D modeling of tools, processes of abutment removal and shaping of end surfaces of various diameters of parts with grinding wheels with calibrated sections are offered, the parts are arranged alternately, changing the smaller and larger diameters, which will ensure high precision of molding and the performance of the parts processing. The centrifugal distance between the parts located in the feed drum is reduced.

Conclusions. The calculation of the accuracy of forming of the pusher ends, not rotating and rotating during processing is done. The accuracy of forming is increased due to the calibration area, the length of which is equal to the larger diameter of the part. For the first time a universal method of practical application of the model of the accuracy of forming the parts ends of various diameters with different orientation methods in the space, oriented grinding circles with and without calibration plots is suggested.

Key words: grinding; various diameters of the ends of parts; oriented grinding wheels; calibrating sections; calculation of cutting forces.

Fig.: 7. Bibl.: 16.

УДК 621.92.42

*Владимир Кальченко, Владимир Венжега, Александр Литвин, Дмитрий Кальченко***ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДВУХСТОРОННЕГО ШЛИФОВАНИЯ
РАЗНЫХ ДИАМЕТРОВ ТОРЦОВ ТОЛКАТЕЛЕЙ ОРИЕНТИРОВАННЫМИ
КРУГАМИ С КАЛИБРУЮЩИМИ УЧАСТКАМИ**

Предложено модульное трехмерное геометрическое моделирование инструментов, процесса снятия притупки и формообразования при двустороннем шлифовании торцов толкателей с разными диаметрами со скрещивающимися осями деталей и кругов с калибрующими участками, которые не вращаются и вращаются во время шлифования. Обработка деталей выполняется ориентированными профилированными шлифовальными кругами. Детали находятся в зоне обработки в четном количестве для уравнивания действия сил резания. Приведен расчет сил резания при шлифовании торцов толкателей разного диаметра.

Ключевые слова: *шлифование; разные диаметры торцов деталей; ориентированные шлифовальные круги; калибрующие участки; расчет сил резания.*

Рис.: 7. Библ.: 16.

Кальченко Володимир Віталійович – доктор технічних наук, професор, проректор з науково-педагогічної роботи, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Кальченко Владимир Витальевич – доктор технических наук, профессор, проректор по научно-педагогической работе, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Kalchenko Volodymyr – Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-rector in Scientific and Pedagogical Work, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: vykalchenko74@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9072-2976>

ResearcherID: G-6752-2014

Венжега Володимир Іванович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Вежега Владимир Иванович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автомобильного транспорта и отраслевого машиностроения, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Volodymyr Venzheha – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of road transport industry and mechanical engineering department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: venzhgavi@mail.ru

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8857-349X>

ResearcherID: H-3560-2014

Литвин Олександр Олександрович – аспірант кафедри інформаційних технологій та програмної інженерії, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Литвин Александр Александрович – аспирант кафедры информационных технологий и программной инженерии, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Lytvyn Oleksandr – PhD student of the Department of Information Technologies and Software Engineering, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine)

E-mail: xpower4718@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5243-3970>

ResearcherID: J-1479-2016

Кальченко Дмитро Володимирович – магістр, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Кальченко Дмитрий Владимирович – магистр, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Kalchenko Dmytro – master, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: itmia@ukr.net