

УДК 621.923.42

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-3(13)-30-40

*Наталія Сіра, Олександр Литвин, Дмитро Кальченко, Володимир Морочко***ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОНАПРУЖЕНОСТІ ПРОЦЕСУ ЗНОСУ КРУГА, СИЛ РІЗАННЯ ТА ПОТУЖНОСТІ ПРИ ДВОСТОРОННЬОМУ ШЛІФУВАННІ ТОРЦІВ ЗАГОТОВОК РІЗНОГО ДІАМЕТРА**

Актуальність теми дослідження. Забезпечення високої конкурентоспроможності оброблених деталей потребує підвищення продуктивності при збереженні високої точності та якості.

Постановка проблеми. Підвищення точності виготовлення деталей пов'язано зі зростанням собівартості, тому для досягнення високих техніко-економічних показників найбільш перспективним є застосування нових рішень та вдосконалення способів обробки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З метою забезпечення високої точності торцевих поверхонь деталей одного діаметра німецька фірма Saturn здійснює їх обробку на двосторонніх торцешліфувальних верстатах абразивними кругами без калібруючих ділянок.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Під час обробки штовхачів з однаковими діаметрами їх торцевих поверхонь на двосторонніх торцешліфувальних верстатах фіксацію деталей здійснюють в осьовому напрямку. Відсутні дослідження впливу способу фіксації штовхачів в осьовому напрямку на точність формоутворення їхніх торцевих поверхонь із різними діаметрами.

Постановка завдання. Високі вимоги до точності та якості торцевих поверхонь вказаних деталей можна досягнути шляхом удосконалення існуючих або розробкою нових високопродуктивних способів шліфування.

Виклад основного матеріалу. Для забезпечення обробки деталей із різними діаметрами їхніх торцевих поверхонь за один прохід використовується спосіб шліфування орієнтованими кругами з калібруючими ділянками з одностороннім розташуванням торців одного діаметра. Довжина калібруючих ділянок шліфувальних кругів відповідає більшому та меншому діаметрам.

Висновки відповідно до статті. Виміряно профіль інструменту та визначено знос абразивного круга після обробки 10 деталей, що становив 15 мкм. Експериментально отримано профіль інструменту та визначено питомий знос абразивного круга ($K = 25$). Експериментально визначені максимальні значення температур ($420-630^\circ\text{C}$) не викликають структурних перетворень у матеріалі. Шорсткість оброблених поверхонь деталей $Ra = 0,16-0,32$ мкм.

Ключові слова: шліфування; торці різних діаметрів; абразивний круг; сили різання; схрещені осі.

Рис.: 10. Табл.: 1. Бібл.: 10.

Актуальність теми дослідження. Забезпечення високої конкурентоспроможності в галузі машинобудування при подальшому розвитку ринкових відносин вимагає вирішення задачі розробки нових способів шліфування, які забезпечуватимуть підвищення продуктивності обробки деталей при збереженні високої точності та якості їхніх поверхонь.

Постановка проблеми. У різних галузях машинобудування, зокрема автомобілебудуванні, тракторобудуванні, використовуються деталі з різними діаметрами торців. Високі вимоги до точності та якості торцевих поверхонь вказаних деталей можливо досягнути шляхом удосконалення існуючих або розробкою нових високопродуктивних способів шліфування.

Аналіз досліджень і публікацій. З метою забезпечення високої точності торцевих поверхонь деталей одного діаметра німецька фірма Saturn здійснює їх обробку на двосторонніх торцешліфувальних верстатах абразивними кругами без калібруючих ділянок [1].

У роботах [2-5] досліджується точність торцевих поверхонь деталей з однаковими діаметрами при їх двосторонньому торцевому шліфуванні абразивними кругами з калібруючими ділянками.

Спосіб однопрохідного двостороннього шліфування торців деталей одного діаметра, представлений у роботі [6], забезпечує високі ефективність, а також точність та якість оброблених поверхонь деталі.

Складним науковим та виробничим завданням, вирішення якого має велике значення для промислового комплексу України, є підвищення ефективності торцевого шліфування поверхонь деталей із торцями різного діаметра.

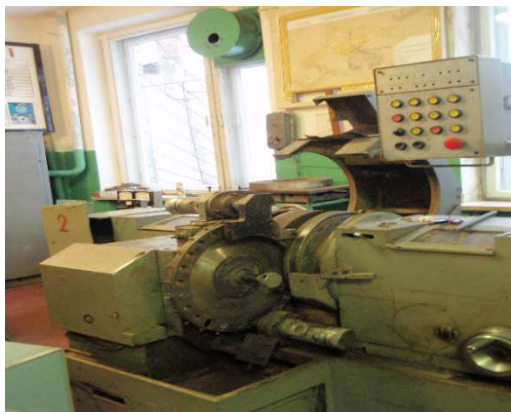
Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Відомі способи шліфування торцевих поверхонь циліндричних деталей із круглим профілем та торцями одного діаметра, фіксація яких в осьовому напрямку відбувається торцями кругів. При різному припуску на обробку з обох сторін деталі відбувається її переміщення в осьовому напрямку під дією сил різання до їх вирівнювання. Але відсутні дослідження впливу орієнтації деталей із різними діаметрами торців в осьовому напрямку на точність фор-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

моутворення їх поверхонь. При обробці штовхачів на двосторонніх торцешліфувальних верстатах їх фіксацію здійснюють в осьовому напрямку. Але відсутні дослідження впливу способу фіксації штовхачів в осьовому напрямку на точність формоутворення їх торцевих поверхонь із різними діаметрами.

Мета статті. Метою цієї роботи є підвищення ефективності шліфування торців деталей із різними діаметрами за рахунок розробки теоретичних основ процесу шліфування торців деталей орієнтацією їх та профільованих кругів як бази для створення нових способів обробки, способів підвищення продуктивності та точності обробки торцевих поверхонь деталей різних діаметрів шліфувальними кругами з плоскими торцевими поверхнями та калібруючими ділянками.

Виклад основного матеріалу. Одночасну обробку двох торців деталей різного діаметра здійснювали на двосторонньому торцешліфувальному верстаті 3342АДО шліфувальними кругами 1-450×305×63-25А40СТ1Б8 (рис. 1, а). Перед обробкою шліфувальні круги правились по торцевим поверхням, перпендикулярним осям їх обертання, для виконання чорнової обробки алмазними олівцями, які встановлені на пристроях, закріплених на корпусах шліфувальних бабок (рис. 1, б).



а



б

Рис. 1. Обробка торців деталей різного діаметра на верстаті 3342АДО:
а – шліфування торців деталей із різними діаметрами; б – правка шліфувальних кругів

На двосторонньому торцешліфувальному верстаті 3342АДО здійснювалась обробка торців штовхачів (рис. 2) з торцями різного діаметра – 8 мм та 28 мм відповідно, матеріал штовхачів – сталь 40Х.



Рис. 2. Штовхач і клапани

Перед обробкою деталей із торцями різних діаметрів на двосторонніх торцешліфувальних верстатах визначається величина припуску, яку необхідно зняти при шліфуванні.

Якщо припуск невеликий, доцільно виконувати обробку орієнтованими шліфувальними кругами без калібруючих ділянок [3].

У випадку обробки деталей зі зняттям великих припусків перевіряється можливість обробки орієнтованими шліфувальними кругами без калібруючих ділянок з одностороннім

розташуванням торців одного діаметра [1]. Цей варіант обробки обираємо, якщо похибка на торці більшого діаметра не більше допустимої.

Для забезпечення обробки деталей за один прохід та необхідної точності обробки у великосерійному та масовому виробництвах використовується спосіб шліфування орієнтованими кругами з калібруючими ділянками з одностороннім розташуванням торців одного діаметру. При цьому необхідно забезпечити різну довжину калібруючих ділянок шліфувальних кругів залежно від діаметра, відповідно більшого та меншого.

При визначенні продуктивності шліфування торців деталей необхідно враховувати величину припуску, що знімається, розміри деталі, швидкість обертання барабана подачі виробів, податливість системи, яка змінюється за координатою обробки, та температуру нагрівання деталі. Із залежностей, приведених у [7], можна визначити питомі Q_{yinD} , Q_{yind} та миттєві Q_{mD} , Q_{md} продуктивності шліфування для двох торців деталі різних діаметрів (D – більшого та d – меншого відповідно):

$$Q_{yinD}(T_D, \Pi_i) = \int_{\theta_{1ki}}^{\theta_{2ki}} \bar{V}_{in} \cdot \bar{n}_{in} \cdot (R_i - I_{in}(T_D)) \cdot \sin \alpha_{in} - \Pi_i \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{\sum b(t, \theta)}{b_0}\right) \right] \cdot d\theta_k, \quad (1)$$

$$Q_{yind}(T_d, \Pi_i) = \int_{\theta_{1ki}}^{\theta_{2ki}} \bar{V}_{in} \cdot \bar{n}_{in} \cdot (R_i - I_{in}(T_d)) \cdot \sin \alpha_{in} - \Pi_i \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{\sum b(t, \theta)}{b_0}\right) \right] \cdot d\theta_k, \quad (2)$$

$$Q_{mD}(T_D, \Pi_i) = \int_{i_1}^{i_2} \left(\int_{\theta_{1ki}}^{\theta_{2ki}} \bar{V}_{in} \cdot \bar{n}_{in} (R_i - I_{in}(T_D)) \cdot \sin \alpha_{in} - \Pi_i \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{\sum b(t, \theta)}{b_0}\right) \right] \cdot d\theta_k \right) \cdot \sqrt{\left(\frac{dR_{in}}{di}\right)^2 + \left(\frac{dZ_{in}}{di}\right)^2} di, \quad (3)$$

$$Q_{md}(T_d, \Pi_i) = \int_{i_1}^{i_2} \left(\int_{\theta_{1ki}}^{\theta_{2ki}} \bar{V}_{in} \cdot \bar{n}_{in} (R_i - I_{in}(T_d)) \cdot \sin \alpha_{in} - \Pi_i \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{\sum b(t, \theta)}{b_0}\right) \right] \cdot d\theta_k \right) \cdot \sqrt{\left(\frac{dR_{in}}{di}\right)^2 + \left(\frac{dZ_{in}}{di}\right)^2} di, \quad (4)$$

де \bar{V}_{in} – вектор швидкості відносного руху;

\bar{n}_{in} – вектор нормалі i -тої точки профілю круга після обробки n деталей;

R_i – радіус координати i -тої точки профілю круга після правки;

$I_{in}(T_D)$, $I_{in}(T_d)$ – знос шліфувальних кругів, який залежить від тимчасового опору та температури T нагрівання деталі, при обробці різних торців деталі з різними діаметрами;

α_{in} – кут нахилу дотичної в i -тій точці профілю, що визначає напрямок зносу шліфувального круга;

Π_i – коефіцієнт, що враховує податливість системи;

θ_k – кутовий параметр круга;

i_1 , i_2 – граничні значення параметра i осевого перерізу круга в зоні контакту;

θ_{1ki} , θ_{2ki} – кутові координати плями контакту на радіусі;

$1 - \exp\left(-\frac{\sum b(t, \theta)}{b_0}\right)$ – вірогідність видалення матеріалу заготовки.

Використовуючи залежності, наведені в [6; 7], визначимо знос шліфувальних кругів при обробці торцевих поверхонь деталі з різними діаметрами:

$$q(T_D, \Pi_i) = \frac{Q_a}{Q_{yin}(T_D, \Pi_i)} = C_q \cdot Q_{yin}(T_D, \Pi_i)^{m-1}, \tag{5}$$

$$q(T_d, \Pi_i) = \frac{Q_a}{Q_{yin}(T_d, \Pi_i)} = C_q \cdot Q_{yin}(T_d, \Pi_i)^{m-1}, \tag{6}$$

де Q_a – об’ємна кількість зношеного абразиву за одиницю часу;

$Q_{yin}(T_D, \Pi_i)$, $Q_{yin}(T_d, \Pi_i)$ – швидкість зняття металу, яка залежить від температури нагрівання торців деталі та податливості системи;

C_q – коефіцієнт, що дорівнює швидкості зносу.

З метою врахування температури нагрівання деталі в процесі обробки при розрахунку складових сил різання враховується величина напруження зсуву [7; 8; 9]:

$$\tau_s(T) = \tau_{s20} \cdot k_T(T), \tag{7}$$

де τ_{s20} – напруження зсуву при температурі 20 °С;

$k_T(T)$ – коефіцієнт, що враховує зміну властивостей оброблюваного матеріалу при зміні температури T .

Величину коефіцієнта, який враховує зміну властивостей матеріалу оброблюваних штовхачів (сталь 40Х) при їх нагріванні в процесі шліфування, наведено на рис. 3. Оскільки торцеві поверхні штовхачів різного діаметра, їх нагрівання при обробці відбуватиметься нерівномірно, а тому для кожного торця деталі коефіцієнт $k_T(T)$ буде набувати різних значень: $k_T(T_D)$ – для більшого та $k_T(T)_d$ – для меншого діаметрів відповідно.

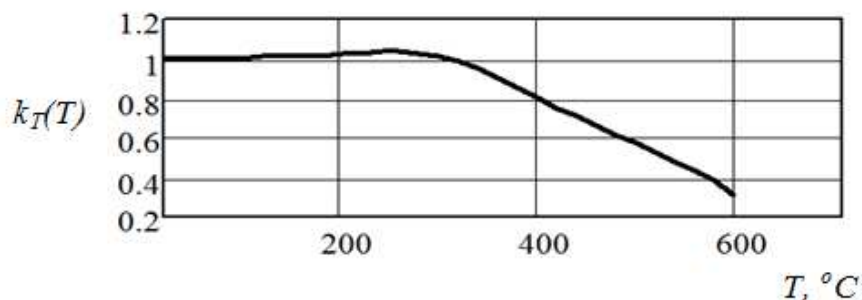


Рис. 3. Зміна величини коефіцієнта $k_T(T)$ для сталі 40Х

З метою забезпечення високої продуктивності шліфування застосовувався метод математичного планування експерименту для визначення оптимальних значень величини повороту кругів у вертикальній площині, припуску та швидкості кругової подачі деталі. Як параметр оптимізації Y була обрана продуктивність шліфування Q , як фактори – поворот кругів φ у вертикальній площині, величина припуску δ та швидкість деталі v_d . Використано повний факторний експеримент типу 2^3 із взаємодіями.

Нульовий рівень для повороту круга φ у вертикальній площині – 0,12 мм, величини припуску δ – 0,3 мм, швидкості деталі v_d – 0,68 м/хв. Діапазони варіювання факторів: φ – 0,1-0,17 мм; δ – 0,15-0,4 мм; v_d – 0,38-0,98 м/хв.

Для розрахунку коефіцієнтів складемо матрицю планування експерименту 2^3 з ефектом взаємодії (табл.).

Таблиця

Матриця планування експерименту

№	X_1 (φ , мм)	X_2 (δ , мм)	X_3 (v_d , м/хв)	$X_1 X_2$	$X_1 X_3$	$X_2 X_3$	$X_1 X_2 X_3$	Y (Q)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	+	+	+	+	+	+	+	83,81
2	-	+	+	-	-	+	-	25,56
3	+	-	+	-	+	-	-	83,11

1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	-	-	+	+	-	-	+	30,70
5	+	+	-	+	-	-	-	35,11
6	-	+	-	-	+	-	+	11,07
7	+	-	-	-	-	+	+	41,52
8	-	-	-	+	+	+	-	25,54

Рівняння математичної моделі в кодованих значеннях:

$$Y = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + b_3 \cdot X_3 + b_{12} \cdot X_1 \cdot X_2 + b_{13} \cdot X_1 \cdot X_3 + b_{23} \cdot X_2 \cdot X_3 + b_{123} \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (8)$$

Визначені значення коефіцієнтів в рівнянні математичної моделі:

$$Y = 69,18 + 5,96 \cdot X_1 - 15,18 \cdot X_2 + 27,91 \cdot X_3 + 8,12 \cdot X_1 \cdot X_3 - 12,11 \cdot X_2 \cdot X_3. \quad (9)$$

Аналіз рівняння регресії (9) показав, що вплив на продуктивність обробки здійснюють поворот кругів φ у вертикальній площині, величина припуску δ та швидкість деталі v_d .

У процесі експериментального дослідження знос інструмента контролювався оптико-волоконним датчиком (рис. 4), закріпленим у барабані подачі виробів, щуп якого дотикається до профілю шліфувального круга.



а



б



в

Рис. 4. Визначення зносу шліфувального круга:

а – підготовка оптико-волоконного датчика; б, в – стенд для визначення зносу інструмента в процесі обробки за допомогою оптико-волоконного датчика

На рис. 5 зображено профіль шліфувального круга, виміряний за допомогою оптико-волоконного датчика, після обробки штовхачів.

Для визначення зносу шліфувального круга його профіль замірюється перед та після обробки деталей. Експериментально отримане значення питомого зносу шліфувального круга $K = 25$. Розрахована величина питомого зносу шліфувального круга становила $K = 20$.

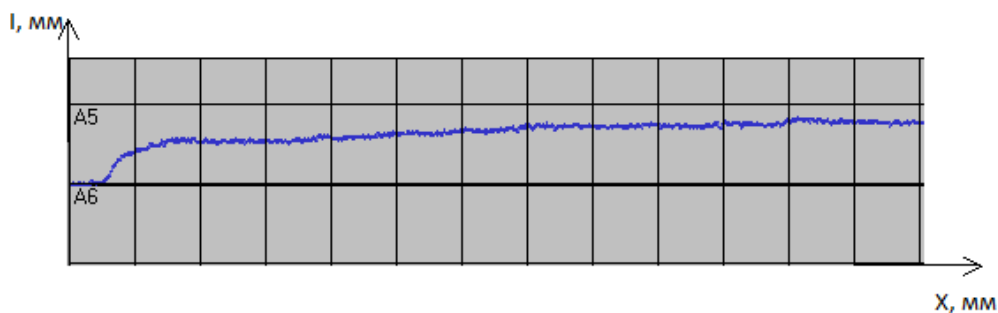


Рис. 5. Профіль шліфувального круга, отриманий за допомогою оптико-волоконного датчика

Також були проведені експериментальні дослідження потужності та сил різання при двосторонньому торцевому шліфуванні штовхачів із різними діаметрами торців за координатою обробки.

Активну потужність вимірювали за допомогою вимірювального перетворювача активної потужності С.А 8220 (рис. 6).



Рис. 6. Вимірювальний перетворювач активної потужності С.А 8220

Сили різання розраховувались для різних діаметрів торців деталі за допомогою експериментально визначеної величини потужності за залежністю [10]:

$$Pz_{iD} = \frac{Npiz_{iD}}{V_i}; \tag{10}$$

$$Pz_{id} = \frac{Npiz_{id}}{V_i}, \tag{11}$$

де $Npiz_{iD}$, $Npiz_{id}$ – потужність шліфування торців більшого (D) та меншого (d) діаметрів торців деталі;

V_i – швидкість різання.

За результатами експериментального дослідження отримані графіки активної потужності та сил різання за координатою обробки θ_b на двох торцях одного штовхача (рис. 7). Потужності показані кривими 1 та 2, а сили різання – кривими 3 та 4 відповідно для більшого та меншого торців деталі.

Як видно з отриманого графіка, при чорновій обробці величина потужності (криві 1, 2) збільшується пропорційно площі оброблюваної деталі, при напівчистовій та чистовій обробці – залишається майже незмінною, а на калібруючій ділянці шліфувальних кругів – значно зменшується, що забезпечує високу точність обробленої поверхні.

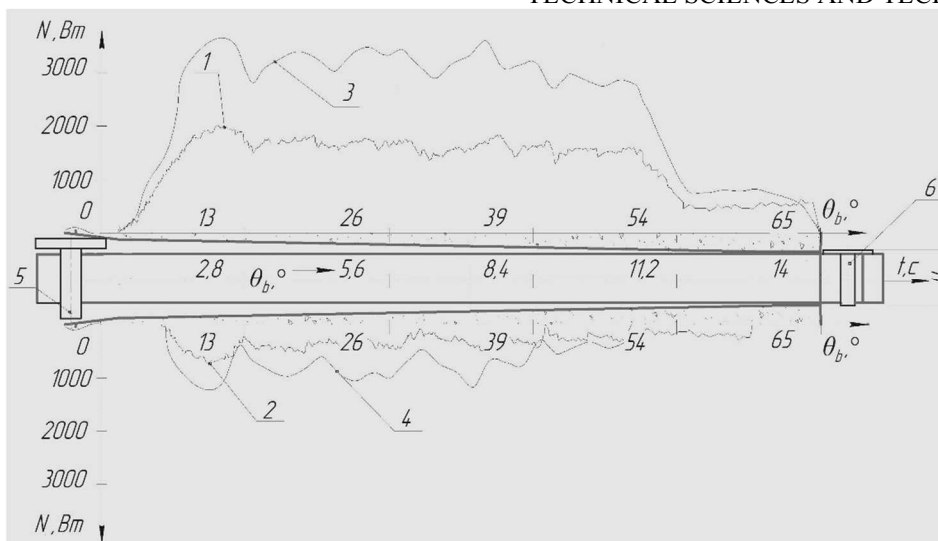


Рис. 7. Активна потужність (криві 1, 2) та сили різання (криві 3, 4) за координатою обробки θ_b на двох торцях штовхача: 5, 6 – штовхач до та після обробки відповідно

Експериментально визначено температуру при двосторонньому торцевому шліфуванні деталей із різними діаметрами торців, встановлених у барабані подачі виробів. Температуру на торцях заготовки вимірювали за допомогою термопар «хромель-капель» (рис. 8).



Рис. 8. Вимірювання температури за допомогою термопар «хромель-капель»

Спай термопар фіксувався на торцях заготовки. Для посилення напруги термопар, розташованих на торцях заготовки, використовувався підсилювач постійного струму. Напруга на виході підсилювача контролювалась мілівольтметром ВЗ-53. Для запису показань використовувався самозаписувач Н3031/1. Аналіз отриманої осцилограми (рис. 9) показав, що температура на торцях деталі прямопропорційно залежить від припуску, що зрізується, та швидкості подачі деталей у зону обробки.

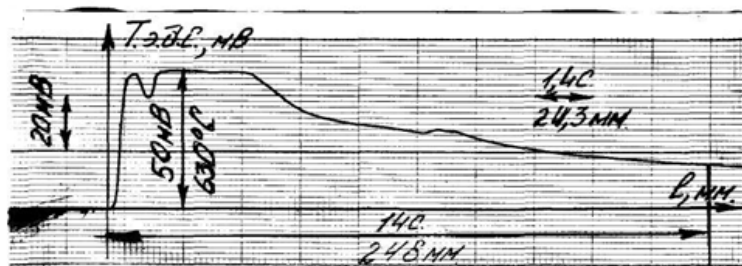


Рис. 9. Осцилограми Т.Е.Д.С. по координаті обробки

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Вимірювання шорсткості Ra торцевих поверхонь деталей виконувалось на профілографі-профілометрі моделі 201, а також за допомогою портативного профілометра Rocket Surf III. Із отриманої профілограми (рис. 10) шорсткість при обробці торців штовхача склала $Ra = 0,16-0,32$ мкм.



Рис. 10. Профілограма обробленої торцевої поверхні штовхача

Торцеве биття (рис. 11) вимірювалась приладом «TALYROUND». Експериментально отримане значення торцевого биття на діаметрі 25 мм становить 10 мкм.

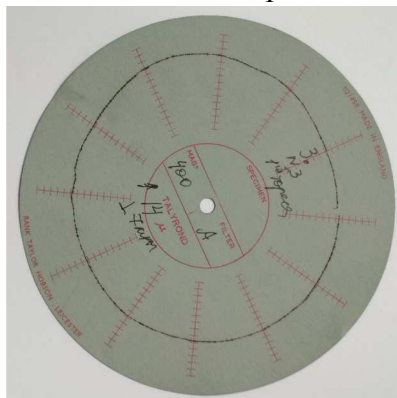


Рис. 11. Результати вимірювання торцевого биття штовхача на діаметрі 25 мм

Висновки відповідно до статті. Представлений спосіб двостороннього шліфування торцевих поверхонь деталей різного діаметра орієнтованими шліфувальними кругами з калібруючими ділянками, що забезпечує підвищення точності (ІТ 6-7) та продуктивності обробки.

З метою обробки деталей за один прохід та отримання заданої точності в багатосерійному та масовому виробництві використовується спосіб шліфування орієнтованими кругами з калібруючими ділянками з одностороннім розташуванням торців одного діаметра. При цьому правкою шліфувальних кругів забезпечується різна довжина їх калібруючих ділянок залежно від діаметра оброблюваних торців деталі, відповідно більшого та меншого.

Для забезпечення високої продуктивності обробки проведено планування повного факторного експерименту з трьома факторами. Аналіз рівнянь регресії показав, що при двосторонньому торцевому шліфуванні торців штовхачів із різними діаметрами вплив на продуктивність обробки має величина припуску, що знімається, швидкість обертання барабана подачі виробів та орієнтація шліфувальних кругів.

Експериментальні дослідження розробленого способу двостороннього шліфування торцевих поверхонь деталі з різними діаметрами показали, що калібруюча ділянка на вході не бере участі в знятті припуску, тому ділянка для чорнового зняття припуску більше зношується, а калібруюча – мало піддається зносу. Експериментально отримане значення питомого зносу становить $K = 25$. Виміряні максимальні значення температур становлять $420-630$ °C і не викликають структурних перетворень у матеріалі.

Шорсткість оброблених поверхонь деталей під час експериментального дослідження становила $Ra = 0,16-0,32$ мкм. Розбіжність результатів, отриманих під час експериментального та теоретичного дослідження, становить 12 %.

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. Кальченко В. В. Формоутворення не обертаючихся при обробці циліндричних деталей профільованими і орієнтованими кругами / В. В. Кальченко, Г. В. Пасов // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – 1999. – № 9. – С. 11–17.
3. 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.
4. Дослідження процесу однопрохідного двостороннього шліфування / В. І. Кальченко, В. В. Кальченко, А. В. Рудик, В. І. Венжега // Вісник Чернігівського державного технологічного університету : збірник наукових праць. – 2006. – Вип. 28. – С. 35–44.
5. Кальченко В. В. Профилирование ориентированных кругов при двустороннем шлифовании торцов цилиндрических деталей / В. В. Кальченко, Г. В. Пасов // Информационные технологии: наука, техника, образование, здоровье : тезисы докл. VII Междунар. науч.-техн. конф. (15-16 мая 1999 г., Харьков). – Х. : ХГПУ, 1999. – № 7, ч. 2. – С. 131–133.
6. Грабченко А. И. Шлифование со скрещивающимися осями инструмента и детали : монография / А. И. Грабченко, В. И. Кальченко, В. В. Кальченко. – Издание 2-е, дополненное. – Чернигов : ЧНТУ, 2015. – 504 с.
7. Венжега В. І. Підвищення ефективності шліфування торців при схрещених осях деталі та круга з калібрувальною ділянкою : дис. канд. техн. наук : спец. 05.03.01 / Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». – Х., 2009. – 214 с.
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. – С. 72–82.
9. 3D-модельювання інструментів та формоутворення при шліфуванні торців непереточуваних прямокутних пластин орієнтованим кругом / В. І. Кальченко, О. С. Следнікова, Д. В. Кальченко, Д. Г. Музичка // Вісник Чернігівського державного технологічного університету : збірник наукових праць. – 2014. – Вип. 2 (73). – С. 55–62.
10. Дослідження способу шліфування валків стрічкопрокатних станів зі схрещеними осями інструмента та деталі / В. І. Кальченко, В. В. Кальченко, А. М. Єрошенко, Н. М. Сіра // Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. – 2016. – № 4/2016. – С. 80–88.

References

1. Junker, E. (2005). *Saturn End-grinding with twin grinding wheels: Journal for Junkermaschinen customers*. Nordrash, Germany [in English].
2. Kalchenko, V. V., Passover, G. V. (1999). Formoutvorennia ne obertaiuchyhsia pry obrobtsti tsylindrychnykh detalei profilovanymy i oriientovanymy kruhamy [Formation of non-rotating cylindrical details by profiled and oriented circles]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu – Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series “Technical sciences”*, 9, 11–17 [in Ukrainian].
3. Kalchenko, V. V., Zhadan, O. V. (2005). *Sposib odnochasnoho shlifuvannia dvokh tortsiv tsylindrychnykh detalei [Method of simultaneous grinding of two ends of cylindrical parts]*. Declarative patent 10636 Ukraine for invention (utility model), IPC B24B5/04 [in Ukrainian].
4. Kalchenko, V. I., Kalchenko V. V., Rudik A. V., Venzha V. I. (2006). Doslidzhennia protsesu odnoprokhidnoho dvostoronnoho shlifuvannia [Study of the process of one-pass bilateral polishing]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu – Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series “Technical sciences”*, 28, 35–44 [in Ukrainian].
5. Kalchenko, V. V., Pasov, G. V. (1999). Profilirovanie orientirovannykh krugov pri dvustoronnem shlifovanii tortsov tsilindricheskikh detalei [Profiling of oriented circles with bilateral sanding of

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

ends of cylindrical parts]. Proceeding from *Informatsionnye tekhnologii: nauka tekhnika obrazovanie zdorove: VII Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. – VII International scientific and technical conference «Information technology: science, technology, education, health»* (May 15-16, 1999, Kharkov) (pp. 131-133). Kharkiv: KhGPU, 7, Part 2 [in Russian].

6. Grabchenko, A. I., Kalchenko, V. I., Kalchenko, V. V. (2015). *Shlifovanie so skreshchivaiushchimisia osiami instrumenta i detali [Grinding with cross-axis tool and detail]* (2nd ed., supplemented). Chernigov: CSTU [in Russian].

7. Vengega, V. I. (2009). *Pidvyshchennia efektyvnosti shlifuvannia tortsiv pry skhreshchenykh osiakh detali ta kruha z kalibruvalnoiu diliankoiu [Improving the effectiveness of grinding end faces in crossed axes parts and circles with a calibration area]*. (Candidate's thesis). NTU "KhPI", Kharkiv [in Russian].

8. Kalchenko, V. I., Kalchenko, V. V., Slednikova, O. S. (2016). Doslidzhennia protsesu shlifuvannia tortsiv oriietovanykh detalei profilovanykh kruhamy [Investigation of the process of grinding of ends of oriented details with profiled circles]. *Visnyk Cherkaskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Serii: Tekhnichni nauky – Bulletin of the Cherkasy State Technological University. Series: Engineering. – Cherkasy: CHTTU, 4, 72-82* [in Ukrainian].

9. Kalchenko, V. I., Slednikova, O. S., Kalchenko, D. V., Muzychka, D. G. (2014). 3D-modeliuvannia instrumentiv ta formoutvorennia pry shlifuvanni tortsiv neperetochuvanykh priamokutnykh plastyn oriietovanykh kruhom [3D modeling of tools and shaping when grinding ends of non-retractable rectangular plates oriented circle]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu – Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series "Technical sciences", 2 (73), 55-62* [in Ukrainian].

10. Kalchenko V. I., Kalchenko V. V., Yeroshenko A. M., Gray N. M. (2016). Doslidzhennia sposobu shlifuvannia valkiv strichkopokatnykh staniv zi skhreshchenykh osiamy instrumenta ta detali [Investigation of the method of grinding rolls of tape-rolling mills with crossed axes of the tool and the part]. *Visnyk Cherkaskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Serii: Tekhnichni nauky – Bulletin of the Cherkasy State Technological University. Series: Engineering, 4/2016, 80–88* [in Ukrainian].

UDC 621.923.42

Nataliia Sira, Oleksandr Lytvyn, Dmytro Kalchenko, Volodymyr Morochko

**EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THERMAL EFFICIENCY
OF THE PROCESS OF CIRCLE WEAR, CUTTING POWER AND CAPACITY
IN THE BILATERAL SANDING OF SCRAPERS OF TRAILERS
WITH DIFFERENT DIAMETERS**

Urgency of the research. In order to ensure high competitiveness, a solution is required to develop new grinding methods that improve the processing performance of parts.

Target setting. The increase in the precision of the manufacture of parts is due to the increase in cost, therefore, for the achievement of high technical and economic indicators the most promising is the application of new solutions and improvement of processing methods.

Actual scientific researches and issues analysis. In order to ensure high accuracy of the face surfaces of parts of the same diameter, the German company Saturn processes them on two-sided end-grinding machines with abrasive discs without calibration portions.

Uninvestigated parts of general matters defining. When machining pushers on two-sided end-milling machines, their fixation is carried out in an axial direction. There is no study of the effect of the method of fixing pushers in an axial direction on the accuracy of shaping their face surfaces with different diameters.

The research objective. High requirements for the accuracy and quality of the end surfaces of the specified parts can be achieved by improving existing or developing new high-performance grinding methods.

The statement of basic materials. For the processing of parts in one pass, a method is used for grinding orientated circles with calibrated areas with one-sided arrangement of ends of the same diameter. The length of the calibration sections of the grinding wheels corresponds to the larger and smaller diameter.

Conclusions. The profile of the tool was measured and the wear of the abrasive disc was determined after processing of 10 parts, which was 15 mm. The experimentally determined temperature value in the contact zone of the tool and the part is 400 °C, does not cause structural transformations in the material. The roughness of the processed surfaces of parts $Ra = 0.16-0.32 \mu m$. The difference between the results obtained from experimental and theoretical studies is within the range of 12 %.

Keywords: grinding; ends of different diameters; abrasive circle; cutting forces; crossed axes.

Fig.: 10. Table: 1. References: 10.

Сіра Наталія Миколаївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Sira Nataliia – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Road Transport Industry and Mechanical Engineering Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: nnseraya@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3248-0593>

ResearcherID: K-2658-2017

Литвин Олександр Олександрович – аспірант кафедри інформаційних технологій та програмної інженерії, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Lytvyn Oleksandr – PhD student of the Department of Information Technologies and Software Engineering, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: xpower4718@gmail.com

Кальченко Дмитро Володимирович – магістр, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Kalchenko Dmytro Volodymyrovych – master, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: itmia@ukr.net

Морочко Володимир Вікторович – магістр, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Morochko Volodymyr Viktorovych – master, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: itmia@ukr.net