

РОЗДІЛ І. ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА, МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТА МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 621.923.42

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-4(14)-9-17

Віталій Кальченко, Антоніна Кологойда, Ярослав Кужельний, Володимир Морочко ОДНОПРОХІДНЕ ДОВОДОЧНЕ ШЛІФУВАННЯ ЗІ СХРЕЩЕНИМИ ОСЯМИ КРУГА ТА ЦИЛІНДРИЧНОЇ ДЕТАЛІ

Актуальність теми дослідження. При шліфуванні циліндричних деталей на фінішних операціях через нерівномірний знос інструмента відбувається погіршення вихідної точності обробки.

Постановка проблеми. Кінцева точність деталей забезпечується доводочними операціями. При використанні схеми круглого шліфування спостерігаються значні температурні навантаження та нераціональне розподілення зрізаного шару вздовж кромки інструмента та його нерівномірний знос.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомі способи глибинного шліфування зі схрещеними осями інструмента та циліндричної деталі, де кут орієнтації інструмента вибирається з умови досягнення найбільшої продуктивності обробки. З огляду на великі припуски на обробку температура в зоні шліфування досягає значних величин, що викликає зміну фізико-механічних властивостей поверхневого шару деталі.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Нині не розроблено метод однопрохідного доводочного шліфування циліндричних деталей, що забезпечує необхідну точність фінішної обробки одночасно з досягненням максимальної продуктивності.

Постановка завдання. Розроблення нового способу однопрохідного доводочного шліфування циліндричних деталей орієнтованим інструментом. Створення загальної модульної 3D моделі різальної поверхні шліфувального круга, процесу формоутворення та зняття припуску. На базі запропонованої моделі визначити основні характеристики процесу обробки.

Виклад основного матеріалу. Розроблено новий спосіб однопрохідного доводочного шліфування циліндричної поверхні орієнтованим шліфувальним кругом. При цьому орієнтація інструмента визначається з умови повного завантаження різальної кромки та переважно залежить від припуску на обробку й висоти шліфувального круга. Оптимальна осьова подача вибирається з умови досягнення необхідної геометричної точності поверхні, а збільшення продуктивності обробки досягається за рахунок підвищення швидкості обертання деталі. Для нового способу однопрохідного доводочного шліфування розроблені модульні 3D моделі процесу формоутворення та зняття припуску. Запропонована методика визначення одиничних сил різання та питомої продуктивності обробки.

Висновки відповідно до статті. Запропоновано новий спосіб однопрохідного доводочного шліфування поверхні циліндричного валика орієнтованим абразивним інструментом. Розроблені модульні 3D моделі зняття припуску та формоутворення.

Ключові слова: шліфування; орієнтований інструмент; тривимірне моделювання; сили різання; шорсткість.

Рис.: 6. Бібл.: 9.

Постановка проблеми. Вимоги до якості оброблених поверхонь постійно зростають, що зумовлено потребою збільшення ресурсу обладнання та точності його роботи. Кінцева якість деталей забезпечується доводочними операціями. Найбільш поширеним способом фінішної обробки циліндричних поверхонь є кругле шліфування, при цьому осі обертання шліфувального круга й деталі перебувають у одній площині. Враховуючи кінематику процесу, основна частина припуску знімається периферією круга, водночас спостерігаються значні температурні навантаження та нераціональне розподілення зрізаного шару вздовж кромки інструмента, унаслідок чого відбувається його нерівномірний знос і, відповідно, зниження точності обробленої поверхні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомі способи глибинного шліфування зі схрещеними осями інструмента та циліндричної деталі [1; 2; 3], де кут орієнтації інструмента вибирається з умови досягнення найбільшої продуктивності обробки. З огляду на великі припуски на обробку температура в зоні шліфування досягає значних величин, що викликає зміну фізико-механічних властивостей поверхневого шару деталі. Також відомий метод шліфування [4] голчастої поверхні валиків карданних машин, в якому кут повороту шліфувального круга відносно осі, що перпендикулярна до осей деталі та круга і проходить через формоутворюючу ділянку, вибирається з умови повного завантаження різальної кромки інструмента, а подача на оберт – з умови максимально допустимої теплонапруженості. Для таких схем шліфування створені модульні 3D

моделі процесу зняття припуску та формоутворення, на базі яких було проведено дослідження точності обробки суцільної та переривчастої циліндричної поверхонь деталі, визначені силові залежності та температурні режими процесу шліфування.

Нині набувають поширення методики визначення сил різання з використанням методу кінцевих елементів [5] у таких програмних продуктах, як Ansys, Abaqus, LS-Dyna та інші. Так, наприклад, у роботі [6] визначено сили різання в процесі шліфування, які діють на одне абразивне зерно. У роботі наведені залежності розподілу складових сил різання вздовж конічної поверхні абразивного зерна в радіальному та осьовому напрямках, що дає змогу більш точно спрогнозувати поведінку окремих абразивних зерен та інструмента загалом, визначити критичні режими різання та характер зносу шліфувального круга.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Однак не розроблено метод однопрохідного доводочного шліфування циліндричних деталей, головною метою якого є забезпечення необхідної точності фінішної обробки одночасно з досягненням максимальної продуктивності. Не уточнені методи розрахунку основних параметрів процесу при знятті невеликих припусків.

Мета статті. Головною метою роботи є розробка нового способу однопрохідного доводочного шліфування циліндричних деталей орієнтованим інструментом. Створення загальної модульної 3D моделі різальної поверхні шліфувального круга, процесу формоутворення та зняття припуску. На базі запропонованої моделі визначити основні характеристики процесу обробки.

Виклад основного матеріалу. Широко відомі способи глибинного шліфування циліндричних деталей орієнтованим інструментом. При цьому значна частина припуску зрізується торцем шліфувального круга або заправленою ділянкою периферії інструмента. У будь-якому випадку величина матеріалу, що знімається за один прохід, розбивається на декілька частин, що дозволяє розвантажити периферію круга та виділити деяку калібруючу ділянку, що і забезпечить кінцеву точність обробки [1; 3]. Ці схеми є оптимальними для високошвидкісного глибинного шліфування зі зняттям значного шару матеріалу, однак при однопрохідному доводочному шліфуванні з глибинами різання близько 0,01–0,3 мм вихідна точність обробки є недостатньою.

Запропоновано схему фінішної обробки гладкої циліндричної поверхні зі схрещеними осями інструмента та деталі (рис. 1). При цьому шліфувальний круг 1 повертають навколо осі Y_u , що перпендикулярна до осей обертання круга та деталі 2, і яка перебуває на відстані C від торця інструмента. Величину кута орієнтації інструмента β вибирають з умови повної завантаженості периферії інструмента, при цьому його торцева частина не бере участі в обробці (рис. 2). Зміщення осі Y_u , відносно якої здійснюють поворот інструмента, забезпечує наявність калібруючої ділянки довжиною C , що підвищує вихідну точність обробки циліндричного валика. Значення осьової подачі деталі визначається з умови досягнення необхідної шорсткості обробки.

Для забезпечення повного завантаження різальної кромки шліфувального круга необхідно повернути його таким чином, щоб деяка точка A , що знаходиться на перетині периферії та торця круга, збігалась з точкою на зовнішній поверхні заготовки радіусом $R_z = R_d + t$ (рис. 2). Довжина хорди AD визначається з рівняння

$$L_x = \sqrt{R_z^2 - R_d^2} = \sqrt{(R_d + t)^2 - R_d^2}, \quad (1)$$

де L_x – довжина хорди AC ; R_z – радіус заготовки; R_d – радіус деталі; t – глибина різання.

Тоді кут повороту β шліфувального круга

$$\beta = \frac{L_x}{B - C} = \frac{\sqrt{(R_d + t)^2 - R_d^2}}{B - C}, \quad (2)$$

де B – висота круга; C – довжина калібруючої ділянки круга.

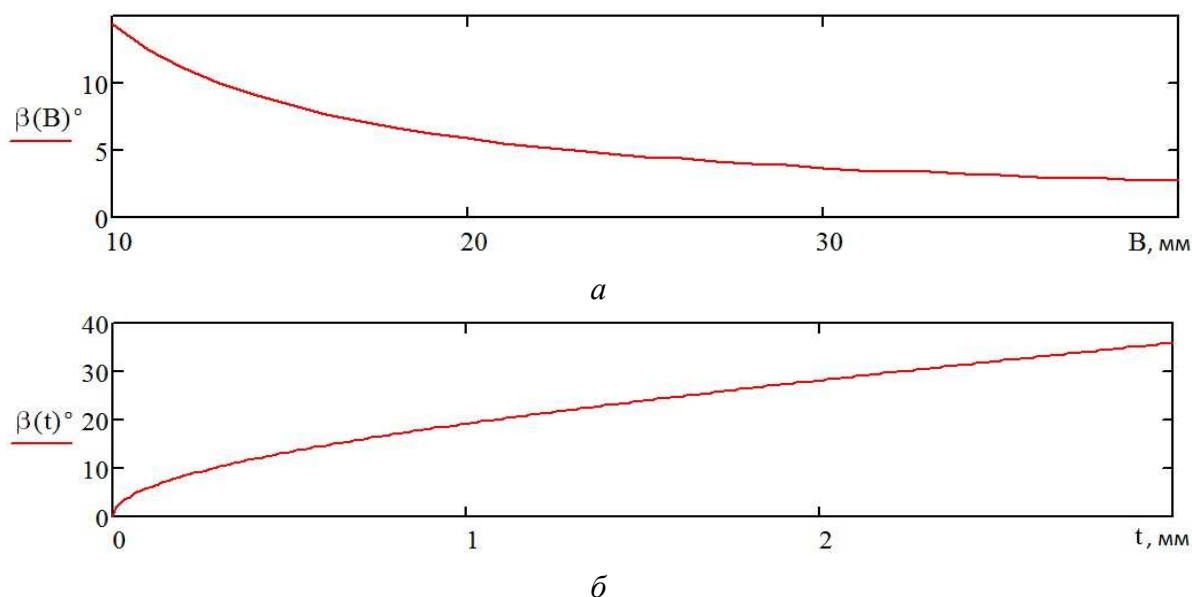


Рис. 3. Графік зміни кута орієнтації інструмента:
 а – залежно від висоти круга; б – залежно від глибини різання

З метою визначення значення оптимальної подачі деталі та інших характеристик процесу однопрохідного доводочного шліфування проведемо модульне 3D моделювання процесу формоутворення та зняття припуску, з використанням матричного апарату [3; 7].

Радіус вектор поверхні інструмента визначається циліндричним модулем

$$Shk(x, \theta) = C_{x, \theta}^u = M1(x) \cdot M4(\theta) \cdot M2(R_u) \cdot e4, \quad (3)$$

де $e4$ – одиничний радіус вектор початку координат; $M1...M6$ – матриці переміщення та повороту відносно координатних осей; $C_{x, \theta}^u$ – циліндричний модуль інструментальної поверхні; $R_u = 100 \text{ мм}$ – радіус шліфувального круга; $x = 0...B$ – лінійна координата на периферії круга, яка змінюється від 0 до значення висоти інструмента $B = 20 \text{ мм}$; $\theta = 0...360^\circ$ – кутова координата профілю шліфувального круга.

З метою визначення профілю обробленої деталі необхідно шліфувальний круг перенести в систему координат деталі, що досягається введенням матриці переносу, а для правильної орієнтації інструмента відносно деталі вводиться модуль орієнтації.

$$M^{nep} \cdot C_{\beta}^o = M2(-y_c) \cdot M5(-\beta) \cdot M1(-B + C), \quad (4)$$

де $M^{nep} = M2(-y_c)$ – матриця переходу із системи координат інструмента в систему координат деталі; $C_{\beta}^o = M5(-\beta) \cdot M1(-B + C)$ – циліндричний модуль орієнтації інструмента; β – кут повороту шліфувального круга; $y_c = R_u + R_d$ – відстань між осями інструмента та деталі; C – довжина калібрувальної частини круга.

Процес обробки деталі та отримання її номінального профілю описується модулем формоутворення

$$C_{\theta_d}^{\phi} = M1(\theta_d \cdot p_z) \cdot M4(\theta_d), \quad (5)$$

де $C_{\theta_d}^{\phi}$ – циліндричний модуль формоутворення; θ_d – кутовий параметр деталі (кут повороту навколо власної осі); $p_z = \frac{S}{2 \cdot \pi}$ – крок гвинтової лінії подачі; $S = 10 \text{ мм}$ – осьова подача деталі.

Отже, поверхня деталі може бути описана рівнянням

$$\begin{aligned}
 Det(x, \theta, \theta_d) &= C^{\phi_{\theta_d}} \cdot M^{nep} \cdot C^{\circ_{\beta}} \cdot C^u_{x,\theta} \cdot e4 = \\
 &= M1(\theta_d \cdot p_z) \cdot M4(\theta_d) \cdot M2(-y_c) \cdot M5(-\beta) \cdot M1(-B + C) \cdot M1(x) \cdot M4(\theta) \cdot M2(R_u) \cdot e4.
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

Для остаточного визначення профілю деталі скористаємося рівнянням:

$$\frac{\partial \det(x, \theta, \theta_d)}{\partial x} \times \frac{\partial \det(x, \theta, \theta_d)}{\partial \theta} \cdot \frac{\partial \det(x, \theta, \theta_d)}{\partial \theta_d} = 0.
 \tag{7}$$

Точки лінії контакту інструмента та деталі можна знайти, використовуючи розрахунковий блок

$$\begin{aligned}
 &\theta \leftarrow 0 \\
 &\text{for } j \in 0..N \\
 &\quad x \leftarrow x_{\min} + \frac{x_{\max}}{N} \cdot j \\
 LK = &\quad \theta \leftarrow \text{root} \left(\frac{\partial \bar{r}(x, \theta, \theta_d)}{\partial x} \times \frac{\partial \bar{r}(x, \theta, \theta_d)}{\partial \theta} \cdot \frac{\partial \bar{r}(x, \theta, \theta_d)}{\partial \theta_d}, \theta \right), \\
 &\quad M^{(j+1)} \leftarrow \begin{pmatrix} x \\ \theta \end{pmatrix} \\
 &M^T,
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

де $x_{\min} = 0$, $x_{\max} = B$ - мінімальна та максимальна координати точок на профілю шліфувального круга; N - кількість точок на периферії інструмента, які розглядають для визначення лінії контакту; θ - кутова координата точки контакту на поверхні інструмента; M - матриця координат точок лінії контакту.

Для зручності подальшої роботи виконаємо інтерполяцію точок лінії контакту у функціональну залежність за допомогою функції:

$$LK(x) = \text{int } \text{erp}(cspline(LK^{(1)}, LK^{(2)}), LK^{(1)}, LK^{(2)}, x).
 \tag{9}$$

Відповідність отриманої функції початковому набору точок наведено на рис. 4.

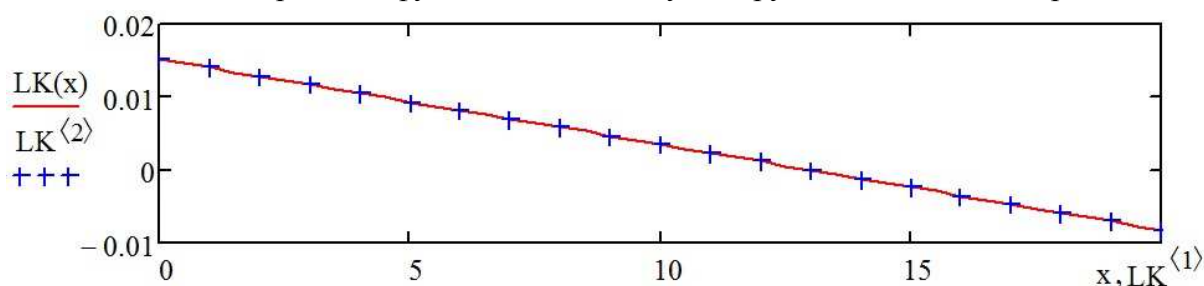


Рис. 4. Положення точок лінії контакту на периферії інструмента

Тоді рівняння лінії контакту інструмента й деталі при однопрохідному доводочному шліфуванні має вигляд

$$\begin{aligned}
 LK(x) &= M1(0 \cdot p_z) \cdot M4(0) \cdot M2(-y_c) \times \\
 &\times M5(-\beta) \cdot M1(-B + C) \cdot M1(x) \cdot M4(LK(x)) \cdot M2(R_u) \cdot e4.
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

Радіус-вектор поверхні деталі описується таким рівнянням

$$\begin{aligned}
 Det(x, \theta, \theta_d) &= M1(\theta_d \cdot p_z) \cdot M4(\theta_d) \cdot M2(-y_c) \times \\
 &\times M5(-\beta) \cdot M1(-B + C) \cdot M1(x) \cdot M4(LK(X)) \cdot M2(R_u) \cdot e4.
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

Радіус-вектор поверхні інструмента

$$Shk(x, \theta) = M2(-y_c) \cdot M5(-\beta) \cdot M1(-B + C) \cdot M1(x) \cdot M4(\theta) \cdot M2(R_u) \cdot e4. \quad (12)$$

Модульні 3D моделі поверхонь деталі, інструмента та лінії їх контакту описані рівняннями (9), (10), (11) і зображені на рис. 5.

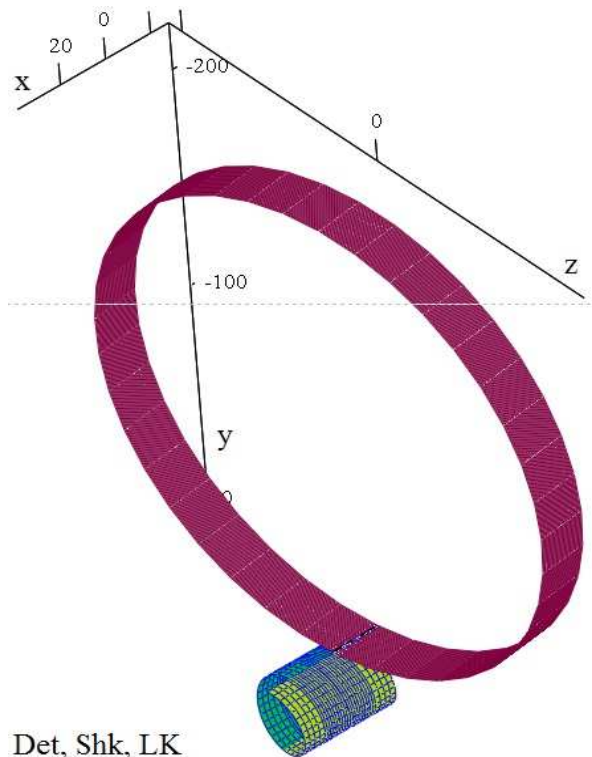


Рис. 5. Модульні 3D моделі деталі, інструмента та лінії їх контакту

Для знаходження геометричної шорсткості деталі опишемо рівняння сліду профіля деталі в площині OXY, для цього скористаємося наступним розрахунковим блоком

$$Sil = \begin{cases} k_{\min} \leftarrow 0 \\ \text{for } j \in 0..N \\ k \leftarrow k_{\min} + \frac{k_{\max}}{N} \cdot j \\ x \leftarrow Det(k, 0)_{1,1} \\ y \leftarrow Det(k, 0)_{2,1} \\ M^{(j+1)} \leftarrow \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \\ M^T, \end{cases} \quad (13)$$

де $k_{\min} = 0$, $k_{\max} = B$ – мінімальна та максимальна координати точок на профілю деталі в осьовому перерізі; N – кількість точок на деталі, які розглядають для визначення сліду від шліфувального круга; M – матриця координат точок сліду.

Знаючи рівняння для декількох послідовних осьових слідів, можна спрогнозувати вихідний профіль деталі (рис. 6) та визначити геометричну шорсткість поверхні за координатою точки перетину двох послідовних слідів

$$Ra(x1) = Sil(x1) - Det(x1) = 1,69 \text{ мкм}, \quad (14)$$

де $x1$ – координата по осі X перетину двох послідовних слідів круга на поверхні деталі.

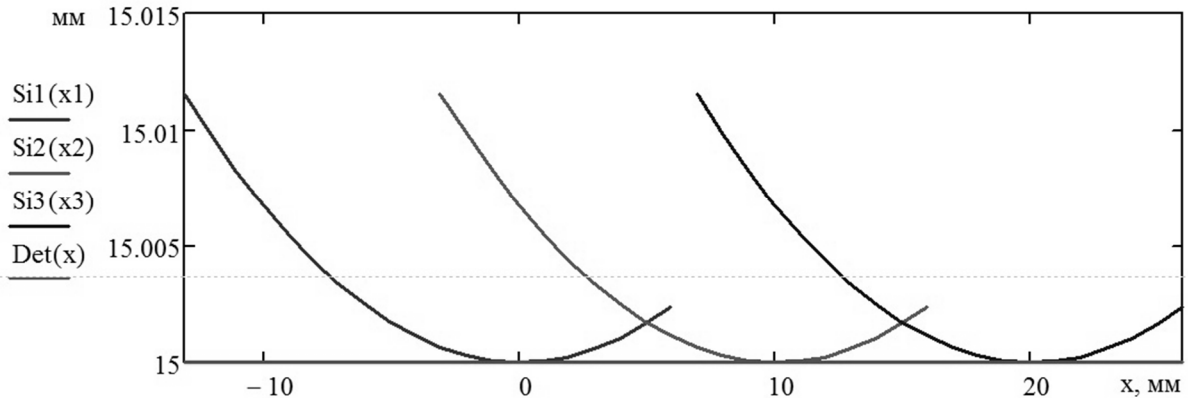


Рис. 6. Геометричний осьовий профіль поверхні деталі

Тобто при подачі на оберт, яка дорівнює $S = 0,5 \cdot B = 10$, геометрична шорсткість поверхні становить $Ra(x1) = 1,69$ мкм. Оптимальну осьову подачу визначаємо з умови досягнення необхідної точності профілю, а для досягнення необхідної продуктивності збільшуємо швидкість обертання деталі. Геометричну шорсткість поверхні, при різних значеннях подачі на оберт, орієнтовно можна визначити за рис. 6.

Питому продуктивність доводочного шліфування можна визначити з виразу [8; 9]

$$Q(x) = \int_{\theta_1}^{\theta_2} Vn(x, \theta) \cdot Shk(x) d\theta, \quad (15)$$

де θ_1, θ_2 – кути входу та виходу круга в деталь; $Vn(x, \theta)$ – добуток швидкості відносно-го руху на одиничну нормаль на поверхні круга в точці з координатами (u, i) .

При визначенні товщини зрізаного шару металу однією різальною кромкою необхідно враховувати різновисотність різальних кромek [9]. Рельєф поверхні шліфувального круга описується законом бета-розподілу:

$$Nz(x) = Nn \cdot A \cdot \int_0^x t^{\gamma-1} \cdot (1-t)^{\eta-1} dt, \quad (16)$$

де $Nz(x)$ – кількість різальних кромek на довжині 1 мм на рівні x ; x – приведений рівень шліфувального круга, на якому визначається $Nz(x)$; n, γ, η – параметри бета-розподілу.

Силу різання, що діє в зоні обробки, на кожне абразивне зерно можна знайти за методикою, запропонованою Л. М. Філімоновим [9]. На окрему різальну кромку діють сили зсуву P_{co} , тертя P_{mp} та інерції P_{un} :

$$P^r = P_{co}^r + P_{mp}^r + P_{un}^r = \frac{\tau_s \cdot az \cdot b \cdot \sin(\beta + \varphi_s)}{\sin(\beta) \cdot \sin(\varphi_s)} + \frac{\pi \cdot \tau_s \cdot b^2 \cdot \mu}{12 \cdot \mu_s} + az \cdot b \cdot \rho_t \cdot V_{un}^2 \cdot \left(1 - \frac{\sin(\beta) \cdot \sin(\gamma)}{\cos(\beta - \gamma)}\right), \quad (17)$$

$$P^n = P_{co}^n + P_{mp}^n + P_{un}^n = \frac{\tau_s \cdot az \cdot b \cdot \cos(\beta + \varphi_s)}{\sin(\beta) \cdot \sin(\varphi_s)} + \frac{\pi \cdot \tau_s \cdot b^2}{12 \cdot \mu_s} + az \cdot b \cdot \rho_t \cdot V_{un}^2 \cdot \left(1 - \frac{\sin(\beta) \cdot \cos(\gamma)}{\cos(\beta - \gamma)}\right), \quad (18)$$

де P^r, P^n – тангенціальна і нормальна сили мікрорізання одним абразивним зерном; τ_s – напруження зсуву; b – ширина площини врізання; β – кут зсуву матеріалу деталі; φ_s – кут тертя в площині зсуву μ_s, μ – коефіцієнти тертя в площині зсуву і на задній поверхні кромки; ρ_t – густина матеріалу заготовки; V_{un} – швидкість шліфування; γ – передній кут різальної кромки.

Висновки відповідно до статті. Запропоновано новий спосіб однопрохідного доводочного шліфування поверхні циліндричного валика орієнтованим абразивним інструментом. При цьому орієнтація інструмента визначається з умови повного завантаження різальної кромки та переважно залежить від припуску на обробку й висоти шліфувального круга. Оптимальна осьова подача вибирається з умови досягнення необхідної геометричної точності поверхні, а збільшення продуктивності обробки досягається підвищенням швидкості обертання деталі. Для нового способу однопрохідного доводочного шліфування розроблені модульні 3D моделі процесу формоутворення та зняття припуску. Запропонована методика визначення одиничних сил різання та питомої продуктивності обробки.

Список використаних джерел

1. 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 – С. 58–73.
2. Kalchenko V. V., Yeroshenko A. M., Boiko S. V., Sira, N. M. Determination of cutting forces in grinding with crossed axes of tool and workpiece // *Acta mechanica et automatica*. – 2017. – Vol. 11, no. 1. – Pp. 58–63.
3. 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.
4. Кологойда, А. В. Визначення силових залежностей при заточуванні голчастої гарнітури / А. В. Кологойда // *Технічні науки та технології*. – 2016. – № 4 (6). – С. 70–75.
5. Криворучко Д. В. Моделирование процессов резания методом конечных элементов: методологические основы : монография / Д. В. Криворучко, В. А. Залого ; под общей ред. В. А. Залого. – Сумы : Университетская книга, 2012. – 434 с.
6. Дослідження сил різання одиничного абразивного зерна при шліфуванні зі схрещеними осями круга та деталі / В. І. Кальченко, В. В. Кальченко, Н. М. Сіра, Я. В. Кужельний // *Технічні науки та технології*. – 2018. – №2 (12). – С. 59–68.
7. Портман В. Т. Точность металлорежущих станков / В. Т. Портман, Д. Н. Решетов. – М., 1986. – 320 с.
8. Маслов Е. Н. Теория шлифования материалов / Е. Н. Маслов. – М. : Машиностроение, 1974. – 320 с.
9. Филимонов Л.Н. Высокоскоростное шлифование / Л. Н. Филимонов. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1979. – 248 с.

References

1. Kalchenko, V. I., Pogiba, N. N. & Kalchenko, D. V. (2012). *Opredelenie sostavliaiushchikh sily rezaniia pri glubinnom shlifovanii poverkhnostei vrashcheniia orientirovannym elborovym krugom* [Determination of the components of the cutting force for deep grinding of surfaces of revolution by an oriented elbor wheel]. *Sverkhтвердые материалы – Superhard materials*, 2 (196), 58-73 [in Russian].
2. Kalchenko, V., Yeroshenko, A., et al. (2017). *Determination Of Cutting Forces In Grinding With Crossed Axes Of Tool And Workpiece*. *Acta mechanica et automatica*, 11, 1, 58-63 [in English].
3. Grabchenko, A. I., Kalchenko, V. I., Kalchenko, V. V. (2009). *Shlifovanie so skreshchivaiushchimisia osiami instrumenta i detali* [Grinding with crossed axes tool and workpiece]. Chernigov: ChGTU [in Russian].
4. Kolohoida, A. V. (2016). *Vyznachennia sylovykh zalezhnostei pry zatochuvanni holchastoi harnitury* [Determination of power dependencies when sharpening a needle headset]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, 4 (6), 84–88 [in Ukrainian].
5. Krivoruchko, D. V., Zaloga, V. A. (2012). *Modelirovanie protsessov rezaniia metodom konechnykh elementov: metodologicheskie osnovy* [Modeling of finite element cutting processes: methodological foundations]. Sumy: Universitetskaia kniga [in Russian].
6. Kalchenko, V. I., Kalchenko, V. V., Sira, N. M., Kuzhelnyi, Ya. V. (2018). *Doslidzhennia syl ryzania odynychnoho abrazyvnoho zerna pry shlifuvanni zi skhreshchenymy osiamy kruha ta detali* [Investigation of the cutting forces of a single abrasive grain when grinding with crossed axes of a circle and a part]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, 2(12), 59-68 [in Ukrainian].
7. Portaman, V. T., Reshetov, D. N. (1986). *Tochnost metallorzhushchih stankov* [Accuracy of machine tools]. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

8. Maslov, E. N. (1974). *Teoriya shlifovaniya materialov [Theory of grinding materials]*. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].

9. Filimonov, L. N. (1979). *Vysokoskorostnoe shlifovanie [High-speed grinding]*. Leningrad: Mashinostroenie leningradskoe otделение [in Russian].

UDC 621.923.42

Vitalii Kalchenko, Antonina Kolohoida, Yaroslav Kuzhelnyi, Volodymyr Morochko

SINGLE PASS FINISHING GRINDING WITH CROSSED AXES TOOL AND CYLINDRICAL PART

Urgency of the research. There is a deterioration in output machining accuracy when grinding cylindrical parts in finishing operations due to uneven tool wear.

Target setting. Finite accuracy of parts is ensured by fine-tuning operations. When using the round grinding scheme, there are significant temperature loads and uneven distribution of the cut layer along the tool edge and its uneven wear.

Actual scientific researches and issues analysis. Known methods of deep grinding with crossed axes of the tool and the cylindrical part, where the angle of orientation of the tool is selected from the condition of achieving the highest processing performance. Given the large allowances for processing, the temperature in the grinding zone reaches significant values, which causes a change in the physicochemical properties of the surface layer of the part.

Uninvestigated parts of general matters defining. The method of single-pass finishing grinding of cylindrical parts has not been developed, which main goal is to ensure the required accuracy of finishing with the achievement of maximum productivity.

The research objective. Development of a new method for single-pass finishing grinding of cylindrical parts with an oriented tool. Creating a common modular 3D model of the cutting surface of the grinding wheel, the process of shaping and removing the stock. Based on the proposed model, the definition of the main characteristics of the process.

The statement of basic materials. A new method of single-pass finishing grinding of a cylindrical surface with an oriented grinding wheel has been developed. At the same time, the orientation of the tool is determined from the condition of full loading of the cutting edge and mainly depends on the machining allowance and the height of the grinding wheel. The optimal axial feed is selected from the condition of achieving the required geometric accuracy of the surface, and the increase in processing performance is achieved by increasing the speed of rotation of the part. Modular 3D models of the process of shaping and removing the allowance have been developed for the single-pass finishing grinding method. The proposed method for the determination of unit cutting forces and specific processing performance.

Conclusions. A new method of single-pass finishing grinding the surface of a cylindrical roller with an oriented abrasive tool is proposed. Modular 3D models of stock removal and shaping is developed.

Keywords: grinding; oriented tool; 3D modeling; forces of cutting; roughness.

Fig.: 6. References: 9.

Кальченко Віталій Іванович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Kalchenko Vitalii – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Road Transport and Industrial Engineering Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: kalchenkovi@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9850-7875>

ResearcherID: G-9477-2014

Кологойда Антоніна Вікторівна – старший викладач кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Kolohoida Antonina – senior teacher of Road Transport Industry and Mechanical Engineering Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenko Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: kolohoida@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1742-2686>

ResearcherID: I-1118-2014

Кужельний Ярослав Володимирович – аспірант кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Kuzhelnyi Yaroslav – PhD student of the Department of Automobile Transport and Sectoral Machine Building, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: k.y.v.immortal@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5269-8557>

ResearcherID: J-1127-2016

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

Morochko Volodymyr – master, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 1405 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: itmia@ukr.net