

УДК 621.923.42

*Олена Следнікова***МОДУЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОФІЛІВ КРУГІВ, ЗНЯТТЯ ПРИПУСКУ ТА ФОРМОУТВОРЕННЯ ПРИ ДВОСТОРОННЬОМУ ШЛІФУВАННІ ТОРЦІВ НЕКРУГЛИХ ДЕТАЛЕЙ***Елена Следникова***МОДУЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОФИЛЕЙ КРУГОВ, СНЯТИЯ ПРИПУСКА И ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ДВУСТОРОННЕМ ШЛИФОВАНИИ ТОРЦОВ НЕКРУГЛЫХ ДЕТАЛЕЙ***Olena Sliednikova***MODULAR MODELING OF WHEELS' PROFILES, STOCK REMOVAL AND FORMATION WITH BILATERAL GRINDING OF ENDS OF NON-CIRCULAR DETAILS**

*Розроблено модульне тривимірне геометричне моделювання інструментів, процесів зняття припуску та формоутворення оброблених торцевих поверхонь деталей з некруглим профілем орієнтованими профільованими шліфувальними кругами на базі п'яти уніфікованих модулів: інструментального, орієнтації, переносу, транспортування і подачі деталей та формоутворення. Шліфування деталей з некруглим профілем відбувається за один прохід абразивними кругами, які мають ділянки для зняття чорного припуску та калібруючі. При цьому інструменти орієнтуються у двох площинах для забезпечення зняття всього припуску за один прохід, а перед обробленням здійснюють правку ділянок для зняття чорного припуску та калібруючих алмазними олівцями.*

**Ключові слова:** модульне тривимірне геометричне моделювання, двостороннє торцешліфування, деталі з некруглим профілем, орієнтовані шліфувальні круги, комбінована правка.

*Рис.: 5. Бібл.: 14.*

*Разработано модульное трехмерное геометрическое моделирование инструментов, процессов снятия припуска и формообразования обрабатываемых торцевых поверхностей деталей с некруглым профилем ориентированными профилированными шлифовальными кругами на базе пяти унифицированных модулей: инструментального, ориентации, переноса, транспортировки и подачи деталей и формообразования. Шлифование деталей с некруглым профилем происходит за один проход абразивными кругами, которые имеют участки для снятия черного припуска и калибрующие. При этом инструменты ориентируются в двух плоскостях для обеспечения снятия всего припуска за один проход, а перед обработкой осуществляют правку участков для снятия черного припуска и калибрующих алмазными карандашами.*

**Ключевые слова:** модульное трехмерное геометрическое моделирование, двустороннее торцешлифование, детали с некруглым профилем, ориентированные шлифовальные круги, комбинированная правка.

*Рис.:5. Библ.:14.*

*Developed modular three-dimensional geometric modeling tools, processes, stock removal and shaping the processed end faces of parts with non-circular profile oriented profiled grinding wheels on the basis of the five unified modules: the instrumental, orientation, migration, transport and supply of parts and shaping. Grinding parts with a non-circular profile occurs in a single pass abrasive wheels which have areas of rough allowance for removal and calibrating. At the same time the tools are oriented in two planes to ensure removal of all allowance in one pass, and before the treatment is performed to remove portions editing rough allowance and calibrating diamond pencil.*

**Key words:** modular three-dimensional geometric modeling, two-sided face grinding, the parts with non-circular profile, oriented grinding wheels, dressing combination.

*Fig.:5. Bibl.: 14.*

**Постановка проблеми.** У сучасному машинобудуванні наявна тенденція розвитку тривимірного моделювання. В існуючих тривимірних моделях недостатньо враховують особливості інструментів і зняття припуску в процесі двостороннього шліфування орієнтованими шліфувальними кругами. Для машинобудівних підприємств України, метою яких є підвищення точності та продуктивності оброблення, ця проблема набуває актуальності.

На сучасних машинобудівних підприємствах України під час оброблення відповідальних торцевих поверхонь деталей машин з метою забезпечення високої точності використовують операції шліфування. Зазвичай оброблення торців деталей відбувається на плоскошліфувальних, односторонніх торцешліфувальних, двосторонніх торцешліфувальних верстатах. Більш продуктивним та точним способом оброблення є шліфування торців деталей на двосторонніх торцешліфувальних верстатах.

Тому розроблення нових модульних тривимірних геометричних моделей інструментів, процесів зняття припуску та формоутворення дозволяє описати процес двостороннього торцевого шліфування торців деталей з некруглим профілем профільованими шліфуваль-

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

ними кругами, що складаються з двох ділянок та орієнтуються у двох площинах, будуть сприяти розробленню нових високоефективних способів та технологій шліфування.

**Аналіз досліджень і публікацій.** У роботах [1; 2; 3] наведено модульні тривимірні геометричні моделі формують систем верстатів та оброблюваної поверхні при двосторонньому торцевому шліфуванні, які використовуються під час розрахунку точності формоутворення та процесу зняття припуску.

Відома фірма Saturn (Німеччина) [4] виконує обробку різноманітних деталей на двосторонніх торцешліфувальних верстатах, де шліфування відбувається з невеликим нахилом інструментів в одній площині. За такого способу максимальний діаметр на вході деталі в зону оброблення виконує чорнову обробку, а також її чистове шліфування на виході, що знижує точність оброблення за рахунок зносу шліфувального круга.

У роботі [5] розглядається двостороннє шліфування торців циліндричних деталей з круглим профілем, які обертаються під час оброблення. Такий спосіб оброблення не потребує орієнтації деталей у барабані.

У роботі [6] розглядається двостороннє шліфування торців деталей, які не обертаються під час оброблення. Орієнтація шліфувального круга здійснюється у двох площинах. Але відсутнє дослідження орієнтації деталей у барабані подачі виробів.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Відсутність модульних тривимірних моделей інструментів, процесів зняття припуску та формоутворення торцевих поверхонь некруглих деталей на двосторонніх торцешліфувальних верстатах.

**Мета статті.** Головною метою роботи є створення модульних моделей інструментів, процесів зняття припуску та формоутворення оброблюваних торцевих поверхонь деталей з некруглим профілем орієнтованими профільованими шліфувальними кругами та оптимізація кута орієнтації деталей у барабані подачі виробів. Це дозволить аналізувати процеси зняття припуску та формоутворення, створити нові способи, а на їх базі – високоефективні технології шліфування торцевих поверхонь деталей з некруглим профілем.

**Виклад основного матеріалу.** На рис. 1 зображено розрахункову схему процесу двостороннього шліфування торців деталей з некруглим профілем орієнтованими шліфувальними кругами. Заготовки 7, закріплені у втулках 6 барабана подачі виробів 5, орієнтуються для підвищення точності обробки. Шліфувальні круги 3, 4 разом з шліфувальними бабками 1, 2 повернуті на кути  $\psi$  у вертикальній та  $\varphi$  у горизонтальній площинах відносно сферичних шарнірів 10. Кути орієнтації шліфувальних кругів обираються залежно від припуску, що знімається із заготовки. Правка шліфувальних кругів відбувається алмазними олівцями 8, 9.

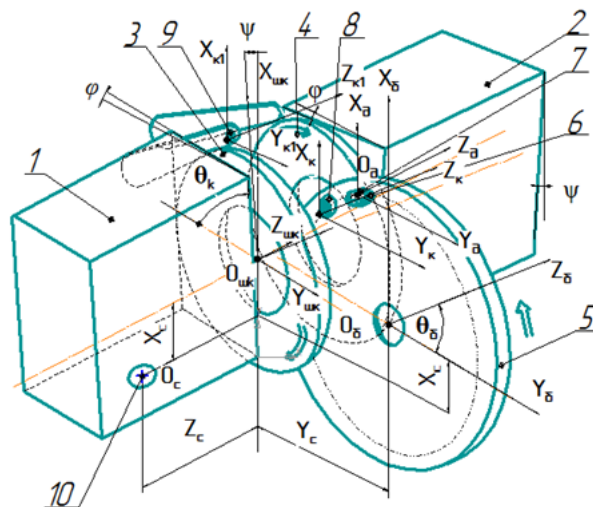


Рис. 1. Розрахункова схема формоутворення торців циліндричних деталей з некруглим профілем

Перед початком процесу оброблення абразивний інструмент правлять алмазними олівцями на верстаті, де виконуватиметься шліфування деталей.

У процесі оброблення деталей на двосторонньому торцешліфувальному верстаті використовуються круги, що складаються з двох ділянок: для зняття чорнового припуску та калібруючих. Правка ділянок для зняття чорнового припуску відбувається пристроєм для правки, що постачається разом з верстатом і знаходиться на корпусі шліфувальної бабки, а калібруючих – алмазним олівцем, що розташовується в барабані подач виробів.

Структура формуючої системи двостороннього торцешліфувального верстата (рис. 2) відрізняється від наведеної в [1] тим, що відбувається правка двох ділянок шліфувальних кругів алмазними олівцями. Вона складається з оброблюваної деталі  $D$ , формуючої системи верстата  $\Phi C D$ , яка описує формоутворення під час оброблення деталей, абразивного інструмента  $I$ , формуючої системи верстата  $\Phi C I I$  та алмазного олівця  $Ia1$  при профілюванні ділянки для зняття чорнового припуску й формуючої системи верстата  $\Phi C I 2$  і алмазного олівця  $Ia2$  при профілюванні калібруючої ділянки.

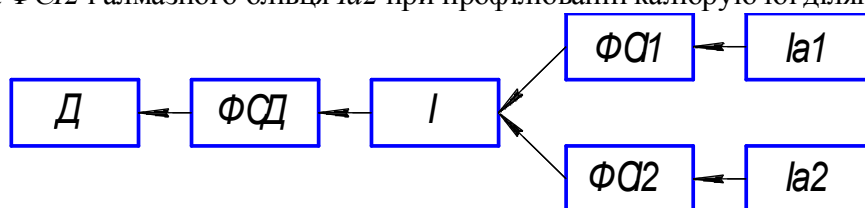


Рис. 2. Структура формуючої системи двостороннього торцешліфувального верстата

Під час розроблення тривимірної моделі інструмента спочатку описується форма твірної, яка рухається по напрямній. При описанні профілю круга використана та ж сама методика, як і для лезового інструмента [7], який представляє собою твірну з трьома ділянками. Профіль інструмента у процесі оброблення торової поверхні складається з однієї ділянки [8], а під час оброблення ступінчастих валів – із двох ділянок [9].

Для побудови профілю шліфувального круга (рис. 3) об'єднаємо чорнову та калібруючу ділянки за допомогою функції Хевісайда:

$$Z_{ins}(i) = L \cdot (1 - \Phi(i - i_{12})) + (L + (i - i_{12}) \cdot \sin(\alpha)) \cdot (\Phi(i - i_{12}) - \Phi(i - i_{13})), \quad (1)$$

$$R_{ins}(i) = (R_1 + i)(1 - \Phi(i - i_{12})) + (R_1 + i_{12} + (i - i_{12}) \cdot \cos(\alpha)) \cdot (\Phi(i - i_{12})), \quad (2)$$

де  $R_{ins}(i)$ ,  $Z_{ins}(i)$  – координати профілю шліфувального круга вздовж осей  $O_{шк}Y_{шк}$  та  $O_{шк}Z_{шк}$  системи координат  $X_{шк}Y_{шк}Z_{шк}$  відповідно;

$\Phi$  – функція Хевісайда;

$i$  –  $i$ -та координата профілю шліфувального круга (рис. 3, а);

$R_1$  – початковий радіус абразиву круга та початок  $i$ -тої координати;

$i_{12}$  – координата початку калібруючої ділянки шліфувального круга;

$L$  – відстань від початку системи координат до торця інструмента;

$\alpha$  – кут нахилу калібруючої ділянки шліфувального круга відносно ділянки для зняття чорнового припуску.

Інструментальна поверхня описується циліндричним модулем, який складається з трьох однокоординатних матриць, описаних у роботі [10]:

$$\bar{r}_{ins} = C_{Z_{ins}(i)\theta_{ms}R_{ins}(i)}^I \cdot \bar{e}_4, \quad (3)$$

де  $\bar{r}_{ins}$  – радіус-вектор точок шліфувального круга;

$C_{Z_{ins}(i)\theta_{ms}R_{ins}(i)}^I$  – циліндричний модуль інструментальної поверхні;

$\theta_{ins}$  – параметр поверхні шліфувального круга, що відповідає за кутове положення точки робочої поверхні круга

$\vec{e}_4$  – радіус-вектор початку системи координат.

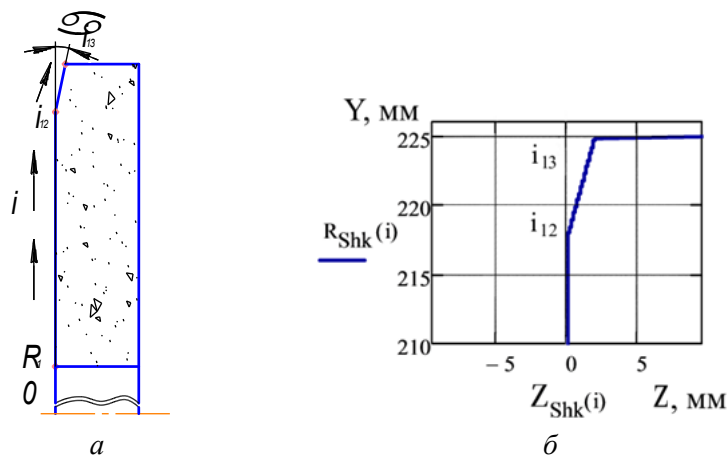


Рис. 3. Профіль шліфувального круга

3D-модель поверхні інструмента, отримана за допомогою рівняння (3), представлена на рис. 4.

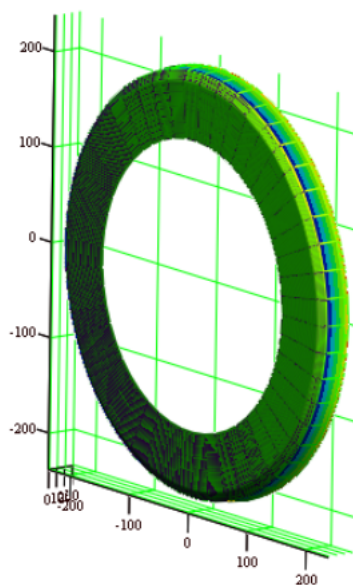


Рис. 4. 3D-модель поверхні інструмента

З метою забезпечення необхідної точності виконується комбінована правка (рис. 5). Пристрій для правки 3 чорнових ділянок шліфувальних кругів 1, на якому закріплений алмазний олівець 2 (рис. 5, а), монтується на корпусі бабки. Пристрій для правки повертається на ті ж кути, що і шліфувальні круги. Правка калібруючих ділянок, суміжної із зовнішнім діаметром інструмента 1 (рис. 5, б), відбувається алмазним олівцем 2, який закріплений у барабані подачі деталей 3. При цьому на вході деталі в зону обробки калібруюча ділянка інструмента не бере участь у зрізанні чорнового припуску. Зняття чорнового припуску здійснюється центральними ділянками шліфувальних кругів, а остаточна точність оброблюваних деталей формується калібруючими ділянками.

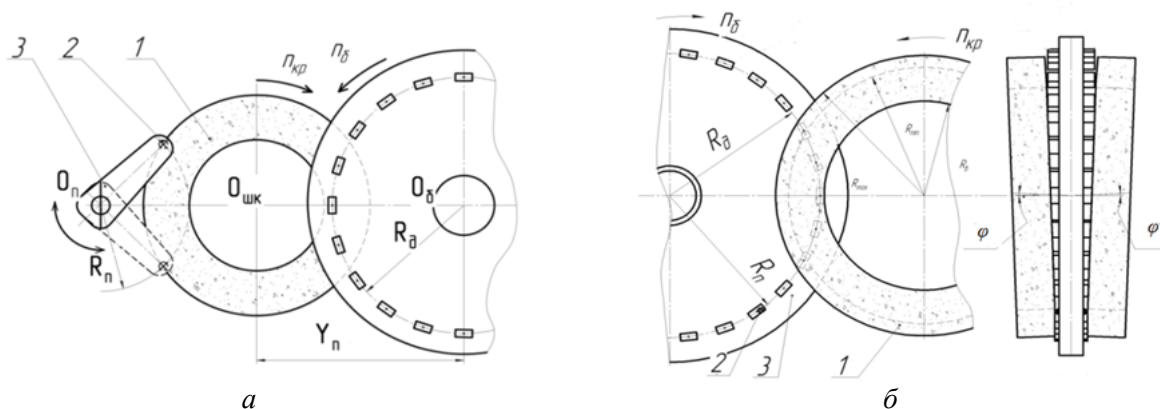


Рис. 5. Комбінована схема правки

При правці чорнової ділянки радіус-вектор точок траєкторії руху алмазного олівця в системі координат круга дорівнює:

$$\bar{R}_{Плм} = S_{\theta_n, \varphi, \psi}^{\Phi n} \cdot S_{\varphi, \psi, X_c}^{O n} \cdot P_{Z_c, Y_c, X_c}^{II} \cdot C_{\theta_n, R_n}^{In} \cdot \bar{e}4, \tag{4}$$

$$C_{\theta_n, R_n}^{In} = M_6(\theta_n) \cdot M_2(R_n), \tag{5}$$

$$P_{Z_c, Y_c, X_c}^{II} = M_3(Z_c) \cdot M_2(Y_c) \cdot M_1(X_c), \tag{6}$$

$$S_{\varphi, \psi, X_c}^{O n} = M_4(\varphi) \cdot M_5(-\psi) \cdot M_1(-X_c), \tag{7}$$

$$S_{\theta_n, \varphi, \psi}^{\Phi n} = M_4(-\varphi) \cdot M_5(\psi) \cdot M_6(\theta_n), \tag{8}$$

де  $C_{\theta_n, R_n}^{In}$  – інструментальний модуль правки чорнової ділянки;

$P_{Z_c, Y_c, X_c}^{II}$  – модуль переносу;

$S_{\varphi, \psi, X_c}^{O n}$  – модуль орієнтацій при правці;

$S_{\theta_n, \varphi, \psi}^{\Phi n}$  – модуль формоутворення при правці;

$M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6$  – матриці перетворення систем координат, які моделюють поступальний рух та повороти навколо відповідних осей;

$X_c, Y_c, Z_c$  – розміри, які визначають положення центра сферичного пальця щодо барабана подачі і робочої площини круга;

$\varphi, \psi$  – кут орієнтації шліфувальної бабки в горизонтальній та вертикальній площинах відповідно;

$\theta_n$  – параметр поверхні шліфувального круга, що відповідає за кутове положення точки робочої поверхні круга;

$R_n$  – радіус, на якому розташовується алмазний олівець і пристрої правки;

$e4 = (0,0,0,1)^T$  – радіус-вектор вершини алмазного олівця.

При правці калібруючої ділянки радіус-вектор точок траєкторії руху алмазного олівця в системі координат інструмента дорівнює:

$$\bar{R}_{Плк} = C_{\theta_n, R_n}^{\Phi nk} \cdot S_{\varphi, \psi, X_c}^O \cdot P_{Z_c, Y_c, X_c}^{II} \cdot C_{\theta_n, R_n}^{Ink} \cdot \bar{e}4, \tag{9}$$

$$C_{\theta_n, R_n}^{Ink} = M_6(\theta_n) \cdot M_2(R_n), \tag{10}$$

$$S_{\varphi, \psi, X_c}^O = M_4(\varphi) \cdot M_5(-\psi) \cdot M_1(-X_c), \tag{11}$$

$$C_{\theta_n}^{\Phi nk} = M_6(\theta_n). \tag{12}$$

де  $C_{\theta_6, R_6}^{Ink}$  – інструментальний модуль правки калібруючої ділянки;

$\theta_6$  – параметр поверхні шліфувального круга, що відповідає за кутове положення точки робочої поверхні круга;

$R_6$  – радіус, на якому розташовуються осі заготовок у барабані подачі.

Номинальна поверхня оброблюваної деталі описується рівнянням:

$$\bar{R}_D = M_D \cdot C^I \cdot \bar{e}4, \quad (13)$$

де  $M_D$  – матриця переходу із системи координат інструмента в систему координат деталі.

Підставивши вираз (3) у вираз (13), отримаємо модульну 3D-модель формоутворення торцевих поверхонь, яка описується добутком 5 модулів: інструментального  $C^I$ , орієнтації  $S^O$ , переносу  $P^{II}$ , транспортування та подачі деталей  $C^T$ , формоутворення  $C^\Phi$  та системою зв'язків.

$$\bar{R}_D = C^\Phi \cdot C^T \cdot P^{II} \cdot S^O \cdot C^I \cdot \bar{e}4, \quad (14)$$

$$C_{Z_{ins}(i), \theta_{ins}, R_{ins}(i)}^I = M_3(Z_{ins}(i)) \cdot M_6(\theta_{ins}) \cdot M_2(R_{ins}(i)), \quad (15)$$

$$C_{Z_\phi, \theta_\phi, Y_\phi}^T = M_3(Z_\phi) \cdot M_6(\theta_\phi) \cdot M_2(Y_\phi), \quad (16)$$

$$C_{Z_\phi, \theta_\phi, Y_\phi}^\Phi = M_3(Z_\phi) \cdot M_6(\theta_\phi) \cdot M_2(Y_\phi), \quad (17)$$

де  $Y_\phi$ ,  $Z_\phi$  – координати оброблюваної деталі в системі координат подавального барабана;

$Z_\phi$ ,  $\theta_\phi$ ,  $Y_\phi$  – аргументи однокоординатних матриць формоутворення.

Система зв'язків:

$$X_c, Y_c, Z_c = const, \quad (18)$$

$$R_{ins} = R_{ins}(i), \quad (19)$$

$$Z_{ins} = Z_{ins}(i), \quad (20)$$

$$Y_\phi = R_\phi, \quad (21)$$

$$Z_\phi = Z_\phi(\theta_\phi), \quad (22)$$

$$Z_\phi = Z_\phi(\theta_\phi), \quad (23)$$

$$\theta_\phi = \theta_\phi(\theta_\phi), \quad (24)$$

$$\psi, \varphi = const, \quad (25)$$

$$Y_\phi = const, \quad (26)$$

де  $const$  – значення параметрів, які не змінюються під час оброблення: відстань від осі обертання барабана подачі виробів до шарніра  $X_c$ ,  $Y_c$ ,  $Z_c$ , кути орієнтації шліфувальних кругів  $\varphi$ ,  $\psi$ ;

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

$Z_\phi(\theta_\phi)$  – координата оброблюваної деталі в системі координат подавального барабана, яка змінюється залежно від кута повороту барабана подачі виробів  $\theta_\phi$ .

$Z_\phi(\theta_\phi)$ ,  $\theta_\phi(\theta_\phi)$  – координати формоутворення поверхні деталі, що змінюються залежно від кута повороту барабана подачі виробів  $\theta_\phi$ .

Умова контакту профілів інструмента та деталі (25)

$$\frac{\partial \bar{R}_D}{\partial \theta_{ins}} \times \frac{\partial \bar{R}_D}{\partial i} \cdot \frac{\partial \bar{R}_D}{\partial \theta_o} = 0. \quad (27)$$

**Висновки.** Запропоноване модульне тривимірне моделювання інструментів, процесів зняття припуску та формоутворення торцевих поверхонь оброблюваних деталей з некруглим профілем орієнтованими профільованими кругами на базі п'яти уніфікованих модулів: інструментального, орієнтації, переносу, транспортування і подачі деталей та формоутворення, що сприятиме створенню нових способів оброблення.

З аналізу моделей розроблені нові способи шліфування торців некруглих деталей, де досліджено вплив орієнтації деталі на точність оброблення її торцевої поверхні [11–13].

Для збільшення продуктивності оброблення шліфувальні круги орієнтують у двох площинах. При цьому профіль інструмента складається з двох ділянок для зняття чорнового припуску та калібруючі, що підвищує точність оброблення, розділення чорнкової та чистової обробок. З метою забезпечення високої точності використовується комбінована правка інструментів. Чорнові ділянки правлять алмазними олівцями, закріпленими у пристрої, що постачається разом з верстатом, а калібруючі – алмазними олівцями, які кріпляться в барабані подачі виробів.

Така методика може бути використана під час шліфування деталей з некруглим профілем на односторонніх торцешліфувальних, плоскошліфувальних та заточувальних верстатах. При шліфуванні на заточувальних верстатах орієнтація кругів у двох площинах замінюється одним кутом орієнтації інструмента [14].

#### Список використаних джерел

1. *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.
2. *Кальченко В. В.* Наукові основи ефективного шліфування зі схрещеними осями абразивного інструменту та деталі : дис. ... д-ра техн. наук / В. В. Кальченко. – Х. : НТУ «ХП», 2006. – 489 с.
3. *Кальченко В. В.* Модульне 3D-моделювання формоутворюючих систем шліфувальних верстатів, інструментів та оброблюваних поверхонь / В. В. Кальченко // Вісник Тернопільського державного технологічного університету. – 2005. – Т. 12. – С. 68–79.
4. *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.
5. *Дослідження* процесу однопрохідного двостороннього шліфування / В. І. Кальченко, В. В. Кальченко, А. В. Рудик, В. І. Венжега // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – 2006. – Вип. 28. – С. 35–44.
6. *Кальченко В. В.* Формоутворення не обертаючихся при обробці циліндричних деталей профільованими і орієнтованими кругами / В. В. Кальченко, Г. В. Пасов // Вісник ЧДТУ. – 1999. – № 9. – С. 11–17.
7. *Модульное 3D-моделирование инструментов, процесса съема припуска и формообразования при растачивании седел клапанов ориентированной пластинкой* / В. И. Кальченко, В. В. Кальченко, Г. А. Веремей, Е. С. Следникова // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2015. – № 2 (78). – С. 51–60.
8. *Кальченко В. І.* Модульне 3D-моделювання інструментів, процесу зняття припуску та формоутворення при шліфуванні зі схрещеними осями ступінчастого вала і круга / В. І. Кальченко, Д. В. Кальченко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2013. – № 3 (67). – С. 91–99.
9. *Кальченко В. І.* 3D-моделювання інструментів, процесу зняття припуску та формоутворення при шліфуванні зі схрещеними осями торової поверхні і круга / В. І. Кальченко, О. С. Следникова, Д. В. Кальченко // Технічні науки та технології. – 2015. – № 2 (2). – С. 31–38.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

10. Кальченко В. І. Модульне 3D-моделювання інструментів, процесу зняття припуску та формоутворення при шліфуванні зі схрещеними осями розподільного вала і круга / В. І. Кальченко, Д. В. Кальченко, О. С. Следнікова // Резание и инструмент в технологических системах. – 2015. – Вып. 85. – С. 98–106.

11. Пат. №99707 Україна, МПК В24В7/17. Спосіб двостороннього шліфування торців некруглих деталей / Следнікова О. С., Кальченко Д. В. – опубл. 25.06.2015. Бюл. № 12.

12. Пат. №99832 Україна, МПК В24В5/00. Спосіб шліфування торців прямокутних непереточуваних пластин орієнтованим кругом / Кальченко В. І., Музичка Д. Г., Кальченко Д. В., Следнікова О. С. – опубл. 25.06.2015. Бюл. № 12.

13. Пат. №97946 Україна, МПК В24В7/00 Спосіб шліфування торців непереточуваних пластин з прямокутним профілем / Кальченко В. І., Музичка Д. Г., Кальченко Д. В., Следнікова О. С. – опубл. 10.04.2015. Бюл. № 7.

14. 3D-моделювання 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. Серія «Технічні науки». – 2014. – № 2 (73). – С. 55–62.

## References

1. 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: ChNTU (in Russian).

2. Kalchenko, V.V. (2006). *Naukovi osnovy efektyvnoho shlifuvannia zi skreshchenymy osiamy abrazivnoho instrumentu ta detali [Scientific bases of effective cross-axes grinding abrasive tools and parts]*. Doctor's thesis. Kharkiv: NTU «KPI» (in Ukrainian).

3. Kalchenko, V.V. (2005). *Modulne 3D modelyuvannya formoutvoryuyuchykh system shlifovalnykh verstativ, instrumentiv ta obroblyvanykh poverhon [Modular 3D modeling formative systems of grinding machines, tools and machined surfaces]*. *Visnyk Ternopil'skoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu – Journal of Ternopil State Technological University*, vol. 12, pp. 68–79 (in Ukrainian).

4. Saturn. *Tortsevoe shlifovanie sparennymi shlifovalnymi krugami: [Zhurnal dlia klientov firmy «Junkermaschinen»] [Saturn. Mechanical grinding paired grinding wheels [Customer magazine company «Junkermaschinen»]]* (2005). ErwinJunker: Maschinenfabric GmbH, Junkerstraße 2. Postfach 25. D 77787. Nordrash, Germany (in Russian).

5. Kalchenko, V.I., Kalchenko, V.V., Rudyk, A.V., Venzheha, V.I. (2006). *Doslidzhennia protsesu odnoprokhidnoho dvostoronnoho shlifuvannia [Investigation of single-pass bilateral grinding]*. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu – Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series “Technical sciences”*, issue 28, pp. 35–44 (in Ukrainian).

6. Kalchenko, V.V., Pasov, H.V. (1999). *Formoutvorennia ne obertaiuchykhstia pry obrobtsi tsylindrychnykh detalei profilovanyh i oriientovanyh kruhamy [Shaping is not rotating in the processing of cylindrical parts shaped and oriented circles]*. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu – Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series “Technical sciences”*, no. 9, pp. 11–17 (in Ukrainian).

7. Kalchenko, V.I., Kalchenko, V.V., Veremei, G.A., Slednikova, E.S. (2015). *Modulnoe 3D-modelirovanie instrumentov protsesa sema pripuska i formoobrazovaniia pri rastachivani i sedel klapanov oriientirovanoi plastinkoi [Modular 3D-modeling tools, process, stock removal and forming in boring valve seats oriented plate]*. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu – Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series “Technical sciences”*, no. 2 (78), pp. 51–60 (in Russian).

8. Kalchenko, V.I. & Kalchenko, D.V. (2013). *Modulne 3D-modelyuvannya instrumentiv, procesu znyattya pryprusku ta formoutvorennia pry shlifuvanni zi shreshhenymy osyamy stupinchastogo vala i kruga [Modular 3D-modeling tools, process of removal allowance and forming in grinding with crossed axes stepped shaft and wheel]*. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu – Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series “Technical sciences”*, no. 3, pp. 91–99 (in Ukrainian).



9. Kalchenko, V.I., Sliednikova, O.S., Kalchenko, D.V. (2015). 3D-modeliuvannya instrumentiv, protsesu zniattia pryvysku ta formoutvorennia pry shlifuvanni zi skhreshchenymy osiamy torovoi poverkhni i kruha [3D-modeling tools, process and removal allowance forming in grinding with crossed axes and circular torus surface]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, no. 2 (2), pp. 31–38 (in Ukrainian).

10. Kalchenko, V.I., Kalchenko, D.V., Sliednikova, O.S. (2015). Modulne 3D-modeliuvannya instrumentiv, protsesu zniattia pryvysku ta formoutvorennia pry shlifuvanni zi skhreshchenymy osiamy rozpodilchoho vala i kruha [Modular 3D-modeling tools, process and removal allowance forming in grinding with crossed axes and circular distribution shaft]. *Rezanie i instrument v tekhnologicheskikh sistemakh – Cutting & tool in technological system*, issue 85, pp. 98–106 (in Ukrainian).

11. Sliednikova, O.S., Kal'chenko, D.V. (2015). *Sposib dvostoronnoho shlifuvannya tortsiv nekruglykh detalei [Method bilateral ends noncircular grinding parts]*. Pat. №99707 Ukraina, MPK V24V7/17 (in Ukrainian).

12. Kalchenko, V.I., Muzychka, D.H., Kalchenko D.V., Sliednikova O.S. (2015). *Sposib shlifuvannya tortsiv priamokutnykh neperetochuvanykh plastyn oriietovanykh kruhom [The method of polishing the ends of the rectangular plates oriented around neperetochuvanyh]*. Pat. №99832 Ukraina, MPK V24V5/00 (in Ukrainian).

13. Kalchenko, V.I., Muzychka, D.H., Kalchenko, D.V., Sliednikova, O.S. (2015). *Sposib shlifuvannya tortsiv neperetochuvanykh plastyn z prjamokutnym profilem [The method of grinding ends neperetochuvanykh plates with square profile]*. Pat. №97946 Ukraina, MPK V24V7/00 (in Ukrainian).

14. Kalchenko, V.I., Sliednikova, O.S., Kalchenko, D.V., Muzychka, D.H. (2014). 3D-modeliuvannya instrumentiv ta formoutvorennia pry shlifuvanni tortsiv neperetochuvanykh prkamokutnykh plastyn oriietovanykh kruhom [3D-modeling tools and forming the grinding ends neperetochuvanykh rectangular plates oriented around]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu – Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series “Technical sciences”*, no. 2 (73), pp. 55–62 (in Ukrainian).

**Следнікова Олена Сергіївна** – аспірант, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Следникова Елена Сергеевна** – аспірант, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Sliednikova Olena** – PhD student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027, Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** s\_lena\_s@bigmir.net

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-5444-1747>

**ResearcherID:** N-4430-2015