

УДК 621.914.1

DOI: 10.25140/2411-5363-2019-2(16)-34-43

*Олена Следнікова, Володимир Винник, Василь Скляр, Ольга Аксьонова*

## МОДУЛЬНЕ ТРИВИМІРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЗНЯТТЯ ПРИПУСКУ ТА ФОРМОУТВОРЕННЯ ПРИ ФРЕЗЕРУВАННІ КУЛАЧКІВ ОРІЄНТОВАНИМ ІНСТРУМЕНТОМ

**Актуальність теми дослідження.** Забезпечення високої точності кулачків розподільчих валів та текстильних машин при забезпеченні високої продуктивності обробки цих деталей є актуальним завданням у машинобудуванні, автомобілебудуванні та текстильній промисловості.

**Постановка проблеми.** Висока точність та якість оброблених криволінійних поверхонь кулачків забезпечить правильну роботу вузлів та дозволить збільшити ресурс їх експлуатації.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відомі способи обробки криволінійних поверхонь кулачків розподільчих валів, але в цих способах подача по контуру нерівномірна, глибина різання різна, що знижує точність обробленої деталі та продуктивність обробки.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Дослідження процесу чорнового та чистового фрезерування криволінійних поверхонь кулачків розподільчих валів та текстильних машин орієнтованою фрезою за один установ, що забезпечує високі показники точності та продуктивності обробки.

**Постановка завдання.** Розробка нового способу чорнового та чистового фрезерування криволінійних поверхонь кулачків розподільчих валів та текстильних машин зі схрещеними осями фрези та деталі за один установ, що забезпечить підвищення точності, якості оброблених поверхонь та продуктивності обробки.

**Виклад основного матеріалу.** Представлений спосіб фрезерування криволінійних поверхонь кулачків розподільчих валів, де чорнова та чистова обробка ведеться фрезою, висота якої менша довжини кулачка. Фрезерування всіх кулачків розподільчого валу виконується за один установ інструментом зі схрещеними осями його та деталі. При обробці криволінійних поверхонь кулачків забезпечується стабілізація подачі по контуру та рівномірність зняття припуску. Це забезпечує підвищення точності та продуктивності обробки.

**Висновки відповідно до статті.** Запропонований спосіб фрезерування криволінійних поверхонь кулачків розподільчих валів та текстильних машин зі схрещеними осями фрези та деталі. Запропонована методика фрезерування криволінійних поверхонь на верстатах із ЧПК, де за один прохід відбувається чорнове та чистове фрезерування всіх кулачків.

**Ключові слова:** фрезерування кулачків; модульне тривимірне моделювання; орієнтований інструмент; розподільчий вал; кулачок текстильної машини; формоутворення.

Рис.: 10. Бібл.: 18.

**Актуальність теми дослідження.** Багато деталей, що виготовляють на машинобудівних, автомобілебудівних, суднобудівних та інших підприємствах, мають криволінійні робочі поверхні. Забезпечення високої точності та якості оброблених криволінійних поверхонь, а також продуктивності обробки деталей із різноманітними циліндричними поверхнями складного профілю при забезпеченні високої продуктивності є актуальним завданням.

**Постановка проблеми.** Фрезерування криволінійних поверхонь кулачків розподільчих валів та текстильних машин є продуктивним способом обробки. Для забезпечення високої точності та якості обробки циліндричних поверхонь складного профілю актуальним є розробка нових та вдосконалення існуючих способів фрезерування зі схрещеними осями інструмента та деталі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На підприємствах України [1] обробка криволінійних поверхонь кулачків здійснюється на верстатах із ЧПК. При обробці криволінійної поверхні кулачка розподільчий вал обертається, інструмент здійснює зворотно-поступальний рух у горизонтальній площині, забезпечуючи при цьому обкатку профілю.

Фірма Junker (Німеччина) [2; 3] виконує обробку кулачків розподільчих валів 1 на верстатах вузьким шліфувальним кругом 2, висота якого менша за довжину опорних шийок та кулачків (рис. 1). При обробці криволінійних поверхонь кулачків шліфувальний круг здійснює зворотно-поступальний рух у горизонтальній площині, що проходить через вісь обертання інструмента 2 та розподільчого вала 1. На рис. 2 зображені положення шліфувального круга 8, 9, 10, 11 при повороті кулачка 4, 5, 6, 7. При цьому глибина різання та подача по контуру змінюються за координатою обробки, що зменшує точність, якість обробленої поверхні та продуктивність обробки.

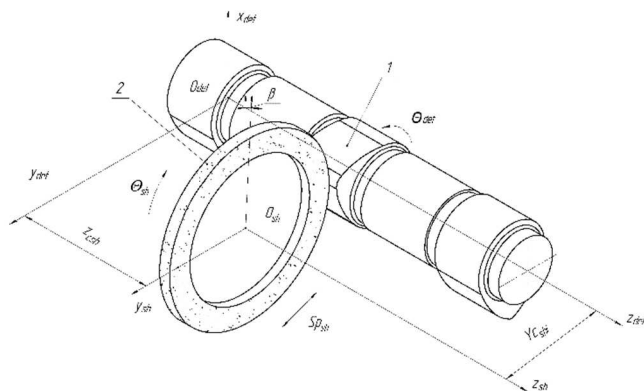


Рис. 1. Схема обробки розподільчого вала фірмою Junker

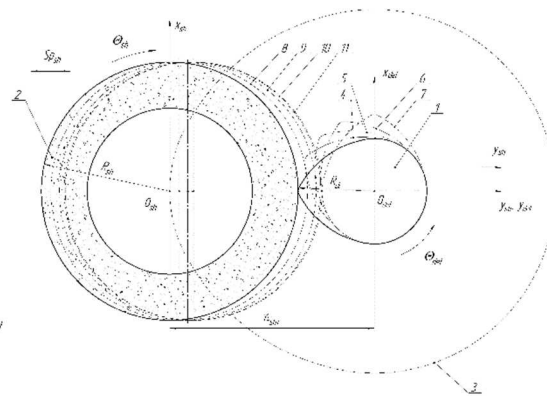


Рис. 2. Схема шліфування кулачка розподільчого вала фірмою Junker

Дослідження процесу шліфування колінчастих та розподільчих валів проведені в роботах [4; 5].

У роботі [6] розроблено спосіб обробки циліндричних поверхонь орієнтованою фрезою. У цьому способі чорнова та чистова обробка циліндричних поверхонь відбувається за один прохід фрези.

Висока стійкість фрез при чистовій обробці забезпечується завдяки оснащенню їх пластинками з надтвердого матеріалу на основі кубічного нітриду бору [7; 8].

Дослідження процесу чистового фрезерування кулачків розподільних валів та текстильних машин наведено в статті [9].

Роботи [10-14] присвячені дослідженню процесу обробки ступінчастих валів.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Відсутність дослідження процесу чорнового та чистового фрезерування криволінійних поверхонь кулачків розподільчих валів та текстильних машин фрезою за один установ зі схрещеними осями інструмента та деталі. У відомих способах подача по контуру нерівномірна, припуск із глибини врізання більше величини припуску, що знімається, це знижує точність обробленої деталі та продуктивність обробки.

**Мета статті.** Метою роботи є розробка нового способу фрезерування криволінійних поверхонь кулачків, який забезпечить стабілізацію подачі по контуру та зняття припуску, підвищить точність оброблених поверхонь та продуктивність обробки. Створення модульних 3D-моделей інструментальної поверхні, процесів зняття припуску та формування при фрезеруванні криволінійних поверхонь кулачків.

**Виклад основного матеріалу.** Схема процесу фрезерування криволінійної поверхні кулачка розподільчого вала 1 повернутою на кут  $\alpha_{frez}$  фрезою 2, представлена на рис. 3, а. Чорнове та чистове фрезерування криволінійних поверхонь усіх кулачків розподільчого вала відбувається за один установ. Переріз А-А зображено на рис. 3, б, де чорновий припуск зрізається торцевою поверхнею фрези та периферією зуба, а чистова обробка здійснюється периферією, вісь повороту інструмента знаходиться в точці А для забезпечення роботи всієї периферії.

При фрезеруванні криволінійної поверхні кулачка 1 (рис. 4, а, б) відбувається нерівномірне обертання розподільчого вала 2, фреза обертається та рухається в двох площинах, що забезпечує рівномірне зняття припуску та подачу по контуру. При обробці криволінійної поверхні кулачка, при обертанні розподільчого вала 1 на кут  $\theta_{kcs}$  точка контакту 3 інструмента 2 з кулачком 1 переміщується за рахунок синхронних вертикального й поперечного рухів інструмента  $S_{frez}$ , вона завжди перебуває в горизонтальній площині, яка проходить через вісь обертання інструмента та центр кривизни кулачка. При обробці ділянки кулачка (положення  $l_0, l_1, l_2$ ), центр якої збігається з центром роз-

подільного вала (рис. 4, а), фреза тільки обертається, поперечного та вертикального рухів немає. При обробці ділянок кулачка (положення 1<sub>3</sub>, 1<sub>4</sub>, 1<sub>5</sub>), центри яких не збігаються з центром розподільного вала (рис. 4, б), фреза обертається та рухається в поперечному та вертикальному напрямках (положення 2<sub>1</sub>, 2<sub>2</sub>, 2<sub>3</sub>).

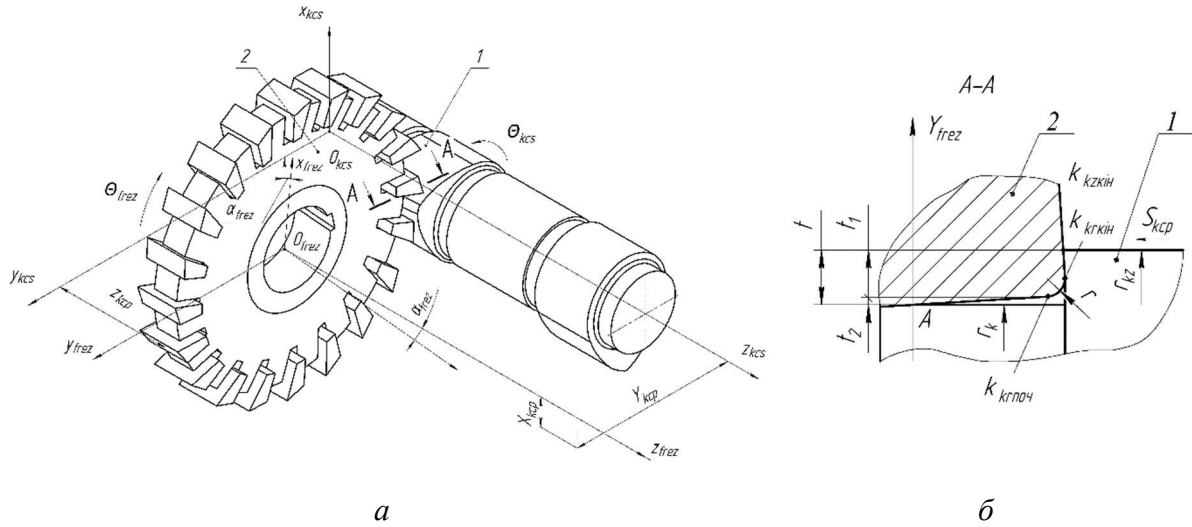


Рис. 3. Схема фрезерування кулачка розподільного вала зі схрещеними осями інструмента та деталі

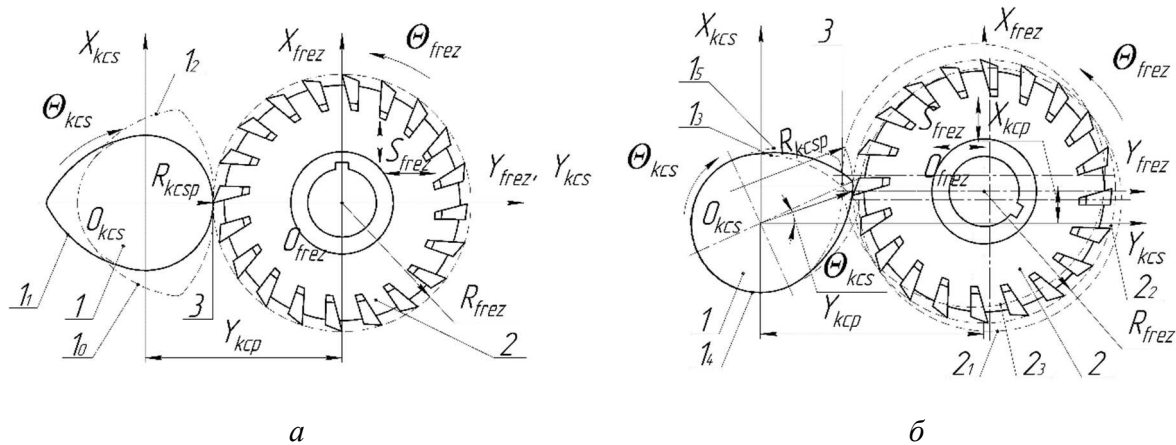


Рис. 4. Схема фрезерування криволінійної поверхні кулачка

Модульну тривимірну модель кулачка можна описати за допомогою інструментального модуля, перенесеного в систему координат деталі:

$$\bar{r}_{kcs} = MD_{kcs} \cdot \bar{r}_{fr} \tag{1}$$

Циліндричний інструментальний модуль, що описує модульну тривимірну модель поверхні фрези:

$$\bar{r}_{fr} = C^{MI}_{Z_{frez}(k) \cdot \Theta_{frez}} \cdot R_{frez}(k) \cdot \bar{e}_4, \tag{2}$$

де  $\bar{r}_{fr}$  – радіус-вектор інструментальної поверхні;  $C^{MI}_{Z_{frez}(k) \cdot \Theta_{frez}} \cdot R_{frez}(k)$  – циліндричний інструментальний модуль формоутворення;  $\bar{e}_4$  – радіус-вектор початку системи координат [15];  $Z_{frez}(k)$  – k-та координата інструментальної поверхні,  $\Theta_{frez}$  – кут повороту фрези навколо осі  $O_{frez}Z_{frez}$ ,  $R_{frez}(k)$  – k-тий радіус інструментальної поверхні.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Модуль формоутворення фрези описується добутком однокоординатних матриць:

$$C^{MI} Z_{frez}(k) \cdot \Theta_{frez} \cdot R_{frez}(k) = M^3(Z_{frez}(k)) \cdot M^6(\Theta_{frez}) \cdot M^2(R_{frez}(k)), \quad (3)$$

де  $M^1, M^2, M^3$  – однокоординатні матриці, які описують переміщення вздовж осей  $O_{frez}X_{frez}, O_{frez}Y_{frez}, O_{frez}Z_{frez}$  відповідно;  $M^4, M^5, M^6$  – однокоординатні матриці, які описують повороти навколо осей  $O_{frez}X_{frez}, O_{frez}Y_{frez}, O_{frez}Z_{frez}$ , відповідно [16].

Для описання номінальної поверхні оброблюваної деталі запишемо добуток модулів орієнтації та формоутворення:

$$MD_{kcs} = C^{MF} Z_{kcp}(\Theta_{D_{kcs}}) \cdot \Theta_{D_{kcs}} \cdot Y_{kcp}(\Theta_{D_{kcs}}) \cdot S^{MO} \alpha_{frez} \cdot X_{kcp}, \quad (4)$$

де  $\alpha_{frez}$  – кут нахилу інструмента відносно осі  $O_{frez}Y_{frez}$ ;  $X_{kcp}, Y_{kcp}$  – міжосьова відстань фрези і деталі в вертикальній та горизонтальній площині відповідно;  $\Theta_{D_{kcs}}$  – кут повороту деталі;  $Z_{kcp}$  – подача, яка описує рух деталі вздовж осі  $O_{kcs}Z_{kcs}$  відносно фрези.

Модуль орієнтації:

$$S^{MO} \alpha_{frez} \cdot X_{kcp} = M^5(\alpha_{frez}) \cdot M^1(X_{kcp}(\Theta_{D_{kcs}})). \quad (5)$$

Модуль формоутворення:

$$C^{MF} Z_{kcc}(\Theta_{D_{kcs}}) \cdot \Theta_{D_{kcs}} \cdot Y_{kcp}(\Theta_{D_{kcs}}) = M^3(Z_{kcc}(\Theta_{D_{kcs}})) \cdot M^6(\Theta_{D_{kcs}}) \cdot M^2(Y_{kcp}(\Theta_{D_{kcs}})). \quad (6)$$

Номінальну поверхню оброблюваної деталі знаходимо, підставляючи рівняння (2), (4) в (1):

$$\begin{aligned} \bar{r}_{kcs} = & MC^{MF} Z_{kcp}(\Theta_{D_{kcs}}) \cdot \Theta_{D_{kcs}} \cdot Y_{kcp}(\Theta_{D_{kcs}}) \cdot S^{MO} \alpha_{frez} \cdot X_{kcp} \times \\ & \times C^{MI} Z_{frez}(k) \cdot \Theta_{D_{kcs}} \cdot R_{frez}(k) \cdot \bar{e}4. \end{aligned} \quad (7)$$

При обробці криволінійної поверхні кулачка координати  $X_{kcp}, Y_{kcp}$  змінюються й залежать від кутової координати повороту кулачка. При обробці ділянки кулачка, центр якої збігається з віссю розподільчого вала  $Y_{kcp}$  не змінюється, а  $X_{kcp}$  дорівнює нулю.

Умова контакту профілів інструмента і деталі в різні моменти часу [17; 18] використовується для визначення профілю обробленої поверхні деталі:

$$\left( \frac{\partial \bar{r}_{kcs}}{\partial k} \times \frac{\partial \bar{r}_{kcs}}{\partial \Theta_{frez}} \right) \cdot \frac{\partial \bar{r}_{kcs}}{\partial \Theta_{D_{kcs}}} = 0, \quad (8)$$

де  $\frac{\partial \bar{r}_{kcs}}{\partial k} \times \frac{\partial \bar{r}_{kcs}}{\partial \Theta_{frez}} = \bar{n}$  – вектор нормалі;  $\frac{\partial \bar{r}_{kcs}}{\partial \Theta_{D_{kcs}}} = \bar{v}$  – вектор швидкості руху інструмента відносно деталі.

Плями контакту розподільчого вала з фрезою 4 при обробці кулачка 5 зображені на рис. 5 та 6, вони обмежені лініями перетину 1, 2, 3 (1 – лінія перетину зовнішнього циліндра заготовки та інструмента, 2 – контакту, 3 – перетині фрези і торця кулачка) орієнтованого інструмента і торця заготовки.

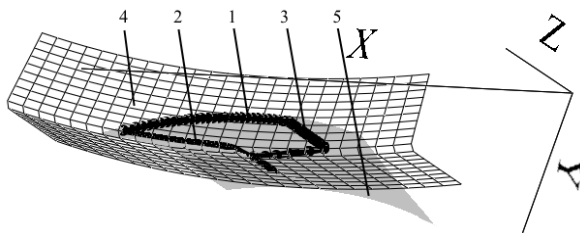


Рис. 5. Пляма контакту фрези й кулачка розподільчого вала при обробці ділянки кулачка, центр якої збігається з центром кулачка

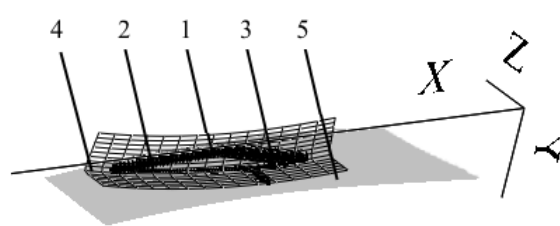
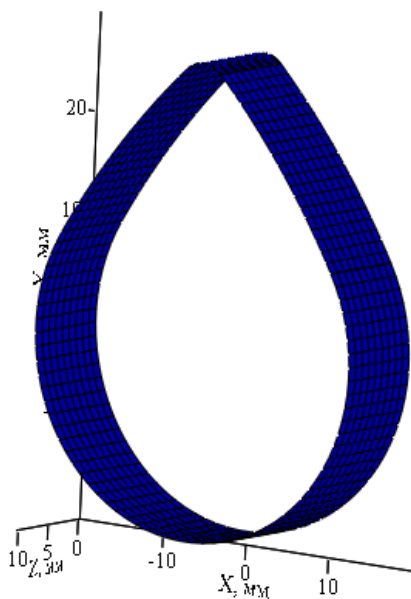
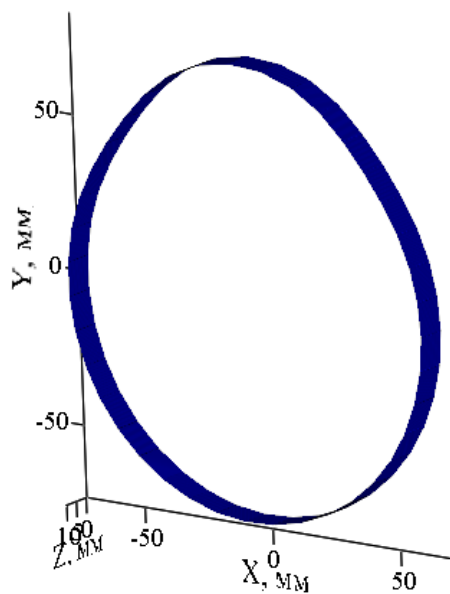


Рис. 6. Пляма контакту фрези й кулачка розподільчого вала при обробці ділянки кулачка найбільшого радіуса

3D-модель криволінійної поверхні кулачка розподільчого вала (рис. 7, а) утворена рухом лінії контакту по еквідистанті (рис. 7, б) до поверхні кулачка.



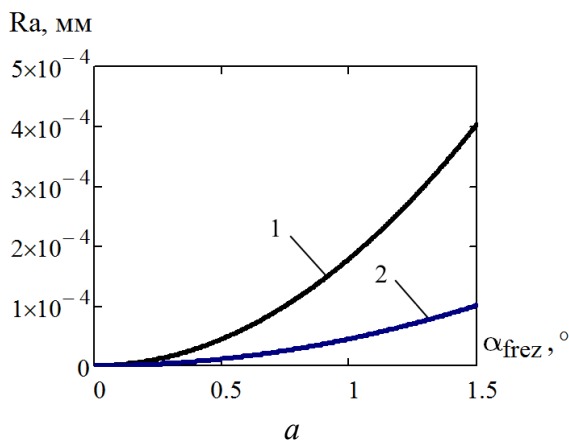
а



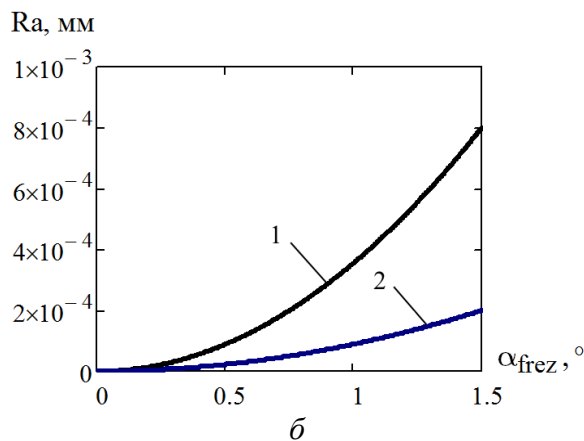
б

Рис. 7. 3D-модель поверхні кулачка (а) розподільчого вала та еквідистанти до його поверхні (б)

Отримані графіки залежності величини геометричної шорсткості  $Ra$  від кута орієнтації фрези  $\alpha_{frez}$  при подачах деталі (рис. 8):  $s_{kcs}=1$  мм/об (крива 1) та  $s_{kcs}=0,5$  мм/об (крива 2) при фрезеруванні ділянки кулачка, центр якої збігається з центром кулачка (рис. 8, а) та при обробці ділянки кулачка найбільшого радіуса (рис. 8, б).



а



б

Рис. 8. Залежність геометричної шорсткості  $Ra$  від кута орієнтації фрези  $\alpha_{frez}$

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

За методикою, наведеною в роботі [6], отримані графіки залежності величини відхилення від круглості  $\delta$  від частоти обертання інструменту  $\omega_{frez}$  (рис. 9, а, б) та діаметра інструмента  $D_{frez}$  (рис. 10, а, б) при фрезеруванні ділянки кулачка, центр якої збігається з центром кулачка (рис. 9, а, 10, а) та при обробці ділянки кулачка найбільшого радіуса (рис. 9, б, 10, б).

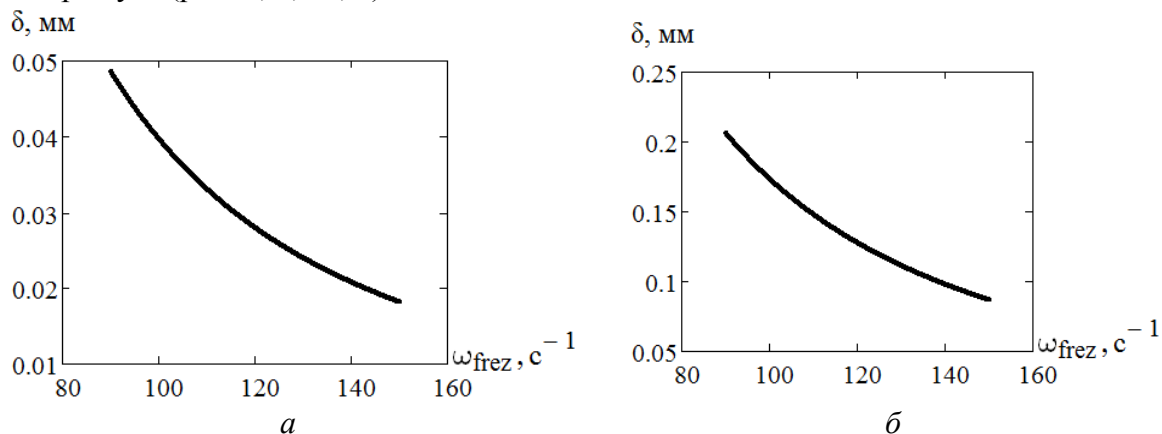


Рис. 9. Залежність відхилення від круглості  $\delta$  ділянки кулачка від частоти обертання  $\omega_{frez}$

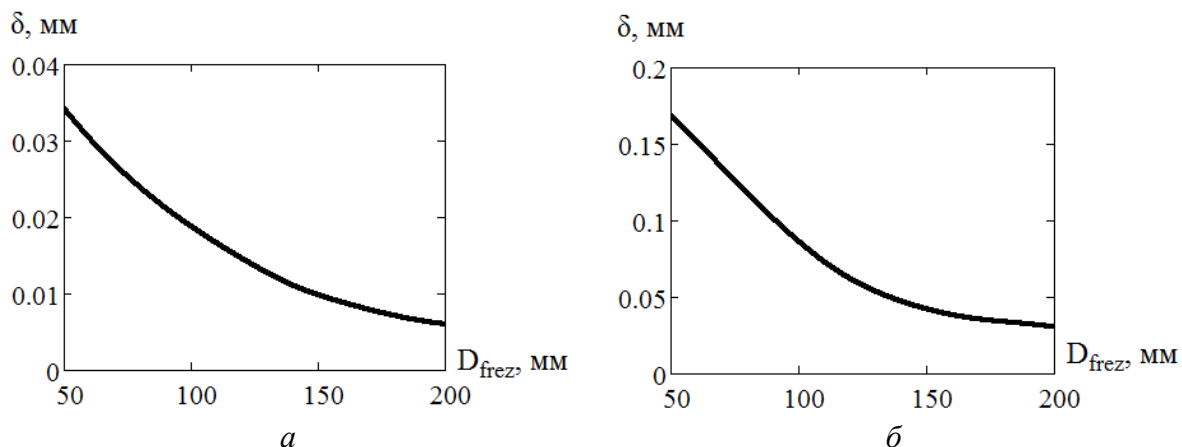


Рис. 10. Залежність відхилення від круглості  $\delta$  ділянки кулачка від діаметра фрези  $D_{frez}$

**Висновки відповідно до статті.** Розроблено новий спосіб фрезерування криволінійних поверхонь кулачків розподільчих валів та текстильних машин. У цьому способі чорнова та чистова обробка відбувається за один установ фрезою, при цьому чорновий припуск зрізається торцевою поверхнею фрези та периферією зуба, а чистова обробка здійснюється периферією. Деталь обертається нерівномірно, фреза рухається вертикально та поперечно для забезпечення дотику інструмента до деталі по нормалі, дотична до поверхонь завжди вертикальна, що забезпечує стабілізацію глибини різання та подачі по контуру. Це підвищує точність та якість обробленої деталі. Запропонована в роботі методика обробки криволінійних поверхонь кулачків розподільчих валів на верстатах із ЧПК враховує тільки форму деталі, виключає вплив радіуса фрези та її знос на точність формоутворення оброблюваної циліндричної поверхні складного профілю. Ця методика може використовуватися при обробці колінчастих валів і інших деталей із криволінійним профілем при обробці орієнтованим інструментом.

**Список використаних джерел**

1. Шлифовальные станки завод «Харверст». Харьковский станкостроительный завод «Харверст». Харьков, 20 с. URL: [www.harverst.com.ua](http://www.harverst.com.ua).
2. Шлифование распределительных валов кругами из кубического нитрида бора. *Перспектива фірми «Junker maschinen» на станки «JUCAM 1000», «JUCAM 3000», «JUCAM 5000», «JUCAM 6000»*. Erwin Junker. Maschinen fabric GmbH, Junkerstraße 2. 77787 Nordrath. Germany. 2006. 8 с.
3. CBN crankshaft grinding. *Перспектива фірми «Junker maschinen» на машини «JUCRANK 1000», «JUCRANK 3000», «JUCRANK 5000», «JUCRANK 6S/L/XL»*. Erwin Junker. Maschinen fabric GmbH, Junkerstraße 2. 77787 Nordrath. Germany. 2012. 12 р.
4. Кальченко В. І., Кальченко Д. В. Модульне 3D-моделювання інструментів, процесу зняття припуску та формоутворення при шліфуванні зі схрещеними осями колінчастого вала і круга. *Резание и инструмент в технологических системах*: Межд. научн.-техн. сб. Харьков, 2014. Вып. 84. С. 107–114.
5. Кальченко В. І., Кальченко Д. В., Следнікова О. С. Модульне 3D-моделювання інструментів, процесу зняття припуску та формоутворення при шліфуванні зі схрещеними осями розподільного вала і круг. *Резание и инструмент в технологических системах*. Харьков, 2015. Вып. 85. С. 98–106.
6. Кальченко В. В., Сіра Н. М., Кальченко Д. В., Аксьонова О. О. Дослідження процесу фрезерування циліндричних поверхонь зі схрещеними осями інструмента та вала. *Технічні науки та технології*: науковий журнал. 2018. № 4 (14). С. 18–27.
7. Клименко С. А., Петруша И. А., Копейкина М. Ю., Мельничук Ю. А., Муковоз В. С. Разработка ПСТМ на основе КНБ для оснащения высокоэффективных режущих инструментов. *Резание и инструмент в технологических системах – Cutting & tool in technological system*: междунар. науч.-техн. сб. Харьков, 2011. Вып. 79. С. 93–101.
8. Клименко С. А., Копейкина М. Ю., Клименко С. А., Манохин А. С. Концепция повышения работоспособности режущих инструментов из поликристаллических композитов на основе кубического нитрида бора. *Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві*. 2016. Вып. 2(13). С. 108–114.
9. Следнікова О. С., Винник В. О., Скляр В. М., Аксьонова О. О. Модульне 3D-моделювання інструментів, процесу зняття припуску та формоутворення при фрезеруванні кулачків зі схрещеними осями інструмента та деталі. *Технічні науки та технології*: науковий журнал. 2019. № 1 (15). С. 53–62.
10. Кальченко В. І., Кальченко В. В., Сіра Н. М. Модульне 3D-моделювання інструментів, процесів зняття припуску та формоутворення при шліфуванні зі схрещеними осями циліндричного та ступінчастого вала і ельборового круга. *Резание и инструмент в технологических системах*: Междунар. науч.-техн. сб. Харьков, 2016. Вып. 86. С. 36–48.
11. Кальченко В. І., Кальченко Д. В. Модульне 3D-моделювання інструментів, процесу зняття припуску та формоутворення при шліфуванні зі схрещеними осями ступінчастого вала і круга. *Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки»*. 2013. № 3 (67). С. 68–77.
12. Кальченко В. И., Погиба Н. Н., Кальченко Д. В. Определение составляющих силы резания при глубинном шлифовании поверхностей вращения ориентированным эльборовым кругом. *Сверхтвердые материалы*: научно-теоретический журнал. 2012. № 2(196). С. 58-73.
13. Kalchenko V., Yeroshenko A., Boyko S., Sira N. Determination of cutting forces in grinding with crossed axes of tool and workpiece. *Acta Mechanica et Automatica*. 2017. Vol. 11. No. 1 (39). P. 58-63. DOI: 10.1515/ama-2017-0009.
14. Кальченко В. І., Кологойда А. В., Кужельний Я. В., Морочко В. В. Однопрохідне доводочне шліфування зі схрещеними осями круга та циліндричної деталі. *Технічні науки та технології*. 2018. № 4 (14). С. 9–17.
15. Грабченко А. И., Кальченко В. И., Кальченко В. В. Шлифование со скрещивающимися осями инструмента и детали: монография. Чернигов: ЧДТУ, 2009. 256 с.
16. Решетов Д. Н., Портман В. Т. Точность металлорежущих станков. Москва: Машиностроение, 1996. 336 с.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

17. Родин П. Р. Основы формообразования поверхностей резанием. Киев: Вища школа, 1977. 192 с.

18. Кальченко В. И., Погиба Н. Н., Кальченко Д. В. Повышение производительности и точности шлифования со скрещивающимися осями эльборового круга и ступенчатого валика. *Резание и инструмент в технологических системах*: Межд. научн.- техн. сб. Харьков, 2011. Вып. 80. С. 131–140.

### References

1. Shlifovalnye stanki zavod «Kharverst» [Grinding machines Plant Harverst]. Kharkiv. Retrieved from www.harverst.com.ua.

2. Shlifovanie raspredelitelnykh valov krugami iz kubicheskogo nitrída bora [Grinding camshafts with cubic boron nitride circles] (2006). *Prospekt firmy «Junker maschinen» na stanki «JUCAM 1000», «JUCAM 3000», «JUCAM 5000», «JUCAM 6000» – Prospectus of the company «Junker maschinen» on machine tools «JUCAM 1000», «JUCAM 3000», «JUCAM 5000», «JUCAM 6000»*. Erwin Junker. Maschinen fabric GmbH, Junkerstraße 2. 77787 Nordrach. Germany [in Russian].

3. CBN crankshaft grinding (2012). Prospect firm «Junker maschinen» on machines «JUCRANK 1000», «JUCRANK 3000», «JUCRANK 5000», «JUCRANK 6S/L/XL». Erwin Junker. Maschinen fabric GmbH, Junkerstraße 2. 77787 Nordrach. Germany [in German].

4. Kalchenko, V. I., Kalchenko, D. V. (2014). Modular 3D modeling of tools, process of pulling down and shaping when grinding with crossed axles of crankshaft and a circle [Modular 3D modeling of tools, process of pulling down and shaping when grinding with crossed axles of crankshaft and a circle]. *Rezanie i instrument v tekhnologicheskikh sistemakh – Cutting & tool in technological system*, 84, 107–114 [in Ukrainian].

5. Kalchenko, V. I., Kalchenko, D. V., Sliednikova, O. S (2015). Modulne 3D-modeliuvannia instrumentiv, protsesu zniattia pryusku 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*, 85, 98–106 [in Ukrainian].

6. Kalchenko, V. V., Sira N. M. & Kalchenko, D. V. (2018). Doslidzhennia protsesu frezeruvannia tsylindrychnykh poverkhon zi skhreshchenymy osiamy instrumenta ta vala [Investigation of the milling cylindrical surfaces process with tool and shaft crossed axes] *Tekhnichni nauky ta tekhnologii – Technical sciences and technologies*, 4 (14), 18–17 [in Ukrainian].

7. Klimenko, S. A. (2011). Razrabotka PSTM na osnove KNB dlya osnascheniya vyisokoeffektivnykh; rezhushchih instrumentov [Development of PSTM based on CBN for equipping high-performance cutting tools]. *Rezanie i instrument v tekhnologicheskikh sistemakh – Cutting and tool in technological systems*, 79, 93–101 [in Russian].

8. Klimenko, S. A., Kopeikina, M. Iu., Klimenko, S. A., Manokhin, A. S. (2016). Kontseptsiya povysheniya rabotosposobnosti rezhushchih instrumentov iz polikristallicheskih kompozitov na osnove kubicheskogo nitrída bora [The concept of improving the performance of cutting tools from polycrystalline composites based on cubic boron nitride]. *Informatsiyni tehnologii v osviti, nauksi ta virobnitstvi – Information technology in education, science and production*, 2 (13), 108–114 [in Russian].

9. Sliednikova, O. S, Vynnyk, V. O. & Sklyar V. M. (2019). Modulne 3D-modeliuvannia instrumentiv, protsesu zniattia pryusku ta formoutvorennia pry frezeruvanni kulachkiv zi skhreshchenymy osiamy instrumenta ta detali [Modular 3D modeling of tools, process of adaptation removal and forming at milling the cams with crossing tools and details] *Tekhnichni nauky ta tekhnologii – Technical sciences and technologies*, 1 (15), 53–62 [in Ukrainian].

10. Kalchenko, V. I., Kalchenko, V. V. & Sira N. M. (2016). Modulne 3D-modeliuvannia instrumentiv, procesiv zniattia pryusku ta formoutvorennia pry shlifuvanni zi shreshchenymy osiamy tsylindrychnoho ta stupinchastoho vala i elborovoho kruha [Modular 3D-modeling tools, processes of removal allowance and shaping in grinding with crossed axes stepped cylindrical shaft and CBN wheel]. *Rezanie i instrument v tekhnologicheskikh sistemakh – Cutting and tool in technological systems*, 86, 36–48 [in Ukrainian].

11. Kalchenko, V. I., Kalchenko, D. V. (2013). Modulne 3D-modeliuvannia instrumentiv, protsesu zniattia pryusku ta formoutvorennia pry shlifuvanni zi skhreshchenymy osiamy stupinchastoho vala i kruha [Modular 3D modeling of tools, process of pull-down and shaping when grinding with crossed



axes of a step shaft and a circle]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Seriya «Tekhnichni nauky» – Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series «Technical sciences»*, 3 (67), 68–77 [in Ukrainian].

12. Kalchenko, V. I., Pogiba, N. N. & Kalchenko, D. V. (2012). Opredelenie sostavliayushchikh sil rezaniya pri glubinnom shlifovanii poverkhnostei vrashcheniya orientirovannym el'borovym krugom [Determining cutting forces components in deep grinding of revolution surfaces oriented el'bor wheel]. *Sverkhverdnye materialy – Journal of Superhard Materials*, 2 (196), 58–73 [in Russian].

13. Kalchenko, V. V., Yeroshenko, A. M. & Boyko, S. V. (2017). Determination of cutting forces in grinding with crossed axes of tool and workpiece. *Acta Mechanica et Automatica*, 11 (1 (39)), 58–63 [in English].

14. Kalchenko, V. I., Kolohoida, A. V., Kuzhelnyi, Ya. V. & Morochko V. V. (2018). Od-nopromishlovo dovedochne shlifuvannya zi skhreshchenymy osiamy kruha ta tsylindrychnoi detali [Singlepass finishing grinding with crossed axes tool and cylindrical part]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, 4 (14), 9–17 [in Ukrainian].

15. Grabchenko, A. I., Kalchenko, V. I. & Kalchenko, V. V. (2009). *Shlifovanie so skreshhivayushhimisya osyami instrumenta i detail [Grinding with crossed axes of tool and workpiece]*. Chernigov: ChDTU [in Russian].

16. Reshetov, D. N. & Portman, V. T. (1996). *Tochnost metallorzhushchikh stankov [Precision of machine tools]*. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].

17. Rodin, P. R. (1977). *Osnovy formoobrazovaniya poverkhnostej rezaniem [Fundamentals of forming surfaces with cutting]*. Kiev: Vyshha shkola [in Russian].

18. Kalchenko, V. I., Pogiba, N. N. & Kalchenko, D. V. (2011). Povyshenie proizvoditelnosti i tochnosti shlifovaniya so skreshchivayushhimisya osiamy elborovogo kruga i stupenchatogo valika [Increased productivity and precision of grinding with crossed axes CBN wheel and stepped shaft]. *Rezanie i instrument v tekhnologicheskikh sistemakh – Cutting and tool in technological systems*, 80, 131–140 [in Ukrainian].

UDC 621.914.1

Olena Sliednikova, Volodymyr Vynnyk, Vasyl Sklyar, Olga Aksonova

## MODULAR THREE-DIMENSIONAL MODELING OF THE PROCESS OF REMOVAL OF ADAPTATION AND FORMATION FORMING THE CAMS WITH AN ORIENTED TOOL

**Urgency of the research.** Providing high precision cam camshafts and textile machinery while ensuring high processing performance of these parts is an urgent task in the engineering, automotive and textile industries.

**Target setting.** The high accuracy and quality of machined curved surfaces of the cams will ensure the correct operation of the nodes and will increase their service life.

**Actual scientific researches and issues analysis.** Known methods of processing the curved surfaces of the cams of the camshafts, but in these methods, the flow along the contour is uneven, the depth of cut is different, which reduces the accuracy of the machined part and the processing performance.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** The study of the process of rough and fair milling of the curved surfaces of the cams of the camshafts and textile machines oriented mill for one installation, which will provide high rates of accuracy and productivity of processing.

**The research objective.** The development of a new method of rough and fair milling of the curved surfaces of the cams of the camshafts and textile machines with crossed cutter axes and parts in one fastening will provide an increase in the accuracy and quality of the processed surfaces and processing performance.

**The statement of basic materials.** The presented method of milling the curvilinear surfaces of the cams of the camshafts, where the roughing and finishing work is carried out by a cutter whose height is less than the length of the cam. Milling of all cams of a camshaft is carried out in one fixing with a tool with crossed axes and parts. When machining the cam-shaped cam surfaces, stabilization of the contour feed and removal of the seam allowance is ensured. That provides increased accuracy and processing performance.

**Conclusions.** The proposed method of milling the curved surfaces of the cams of the camshafts and textile machines with crossed axes of the cutter and parts. The proposed method of milling curvilinear surfaces on CNC machines, where in one pass, roughing and finishing milling of all cams takes place.

**Keywords:** cam milling; modular three-dimensional modeling; oriented tool; camshaft; cam textile machine; shaping.

Fig.: 10. References: 18.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

**Следнікова Олена Сергіївна** – доцент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).  
**Slidnikova Olena** – PhD in Technical Sciences, associated professor of road transport industry and mechanical engineering, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** slidnikova@gmail.com

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

**ResearcherID:** N-4430-2015

**Винник Володимир Олександрович** – аспірант, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Vynnyk Volodymyr** – PhD student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** vowavynnyk7@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-4179-5765>

**ResearcherID:** F-8938-2016

**Скляр Василь Михайлович** – асистент, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Sklyar Vasyl** – assistant, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035, Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** uslhj@meta.ua

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0563-6887>

**ResearcherID:** J-1138-2016

**Аксьонова Ольга Олегівна** – асистент, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Aksonova Olga** – assistant, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenko Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** itmia@ukr.net