Оригинальная статья / Original article

https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-5-82-93

CC BY 4.0

Моделирование фрезы с радиальной конструктивной подачей для обработки РК-профильных отверстий

В. В. Куц [1], М. С. Разумов [1] ✉, М. В. Митрофанов [1]

[1] ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»
ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: mika_1984_@mail.ru

Резюме

Цель исследования. *Целью данной статьи является поиск новых решений для обработки РК-профильных отверстий и моделирование фрезы с применением радиальной конструктивной подачи.*

Методы. *В статье приведены результаты определения исходного контура инструментальной поверхности фрезы при использовании основ геометрической теории. Теоретические положения основывались на использовании основных положений векторной алгебры, аналитической и дифференциальной геометрии, фундаментальных основ теории резания материалов. Приведены результаты моделирования конструкции фрез с использованием программного обеспечения КОМПАС 3D.*

Результаты. *Приведен анализ существующих методов обработки РК-профильных отверстий. Для повышения производительности обработки внутренних поверхностей с равноосным контуром предложен способ обработки фрезой с радиальной конструктивной подачей. Приведены результаты определения исходного контура инструментальной поверхности фрезы, построены модели её режущих кромок, передней и задней поверхности. Показан результат моделирования передней и задней поверхности зубьев фрезы с R_f = 24 мм, и шириной фрезы 50 мм с передним углом 5°, задним углом 10° и числом зубьев 16. Приведены результаты моделирования конструкции фрез с помощью 3D моделирования, которые в дальнейшем позволят изготовить инструментальную оснастку для предложенного метода и провести экспериментальные исследования по определению оптимальных технологических параметров.*

Заключение. *На основе построенных моделей становится возможным выполнение моделирования процесса фрезерования РК-профильных отверстий с целью определения рациональных значений обработки и конструктивных параметров. Результаты исследования могут быть использованы при разработке конструкторско-технологической документации при подготовке производства профильных отверстий с целью обеспечения заданных характеристик изделия.*

Ключевые слова: *фреза; равноосный контур; геометрическая модель; теория формообразования; отверстие; РК-профиль.*

Конфликт интересов: *Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.*

Финансирование: *Работа выполнена в рамках финансирования Стипендии Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам, осуществляющим перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики, на 2018-2020 годы СП-591.2018.1.*

Для цитирования: Куц В. В., Разумов М. С., Митрофанов М. В. Моделирование фрезы с радиальной конструктивной подачей для обработки РК-профильных отверстий // Известия Юго-Западного государственного университета. 2019; 23(5): 82-93. https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-5-82-93.

Статья поступила в редакцию 06.08.2019

Статья подписана в печать 30.08.2019

Статья опубликована 25.10.2019

© Куц В. В., Разумов М. С., Митрофанов М. В., 2019

Modeling of a milling cutter with radial constructional feed for EC-profile holes machining

Vadim V. Kuts [1], Mikhail S. Razumov [1] ✉, Maksim V. Mitrofanov [1]

[1] Southwest State University
50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: mika_1984_@mail.ru

Abstract

***Purpose of reseach**. The purpose of the paper is to find new solutions for equiaxial- contour (EC) holes machining and milling cutter modeling with the use of radial constructional feed.*
***Methods.** The results of the determination of the original contour of the milling cutter surface using the basics of the geometric theory are provided in the paper. Theoretical considerations were based on the use of the basics of the vector algebra, analytical and differential geometry, theory of material cutting. The results of the milling cutter design modeling with the application of software COMPAS 3D are presented in the paper.*
***Results.** The analysis of the existing methods for EC holes machining is provided. To improve the efficiency of EC internal surface machining there was proposed a method for milling with a miller cutter with radial constructional feed. The results of the determination of the original cutter surface are provided, the models of its cutting edges and front and flank surfaces were developed. The result of the modeling of the front and flank surface of the cutter teeth with R_f = 24 mm, and cutter width of 50 mm with the front rake angle of 5°, back angle of 10° and 16 teeth are presented. There are also provided the results of the milling cutter modeling by means of 3D modeling which in the future will make it possible to manufacture tool equipment for the proposed method and to conduct an experiment research to determine optimum technological parameters.*
***Conclusion.** On the basis of the developed models it's becoming possible to perform the modeling of the milling process of EC shaped holes in order to determine milling rational values and specifications. The research findings can be used for design-engineering documentation development during the preparation of shaped holes manufacturing in order to ensure specified item characteristics.*

***Keywords:** milling cutter; equiaxial contour; geometric model; theory of shaping; hole; EC-profile.*

***Conflict of interest.** The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.*

***Financing:** The work was carried out within the framework of funding the Scholarship of the President of the Russian Federation to young scientists and graduate students engaged in promising research and development in priority areas of modernization of the Russian economy for 2018-2020 SP-591.2018.1*

For citation: Kuts V. V., Razumov M. S., Mitrofanov M. V. Modeling of a milling cutter with radial constructional feed for EC-profile holes machining. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2019, 23(5): 82-93 (In Russ.). https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-5-82-93.

Received 06.08..2019

Accepted 30.08.2019

Published 25.10.2019

***

Введение

В последнее время большое внимание отечественными учеными уделяется обработке РК-профильных валов. Однако недостаточное внимание уделяется

обработке ступицы. Исходя из того, что эти детали работают в паре и эксплуатационные характеристики данного соединения зависят в большей степени от точности изготовления ступицы, задача формообразования ступичного профильного отверстия является актуальной [1-9].

Недостатком имеющихся существующих методов обработки РК-профильных отверстий является придание заготовке и инструменту гармонических перемещений [9-20]. Таким образом, целью дальнейшего исследования является: поиск новых решений для обработки РК-профильных отверстий и моделирование фрезы с применением радиальной конструктивной подачи.

Материалы и методы

Для повышения производительности обработки внутренних поверхностей с равноосным контуром предложен способ обработки фрезой, имеющий следующую схему (рис.1). Отсутствие гармонических перемещений обусловлено конструктивным исполнением предлагаемой фрезы.

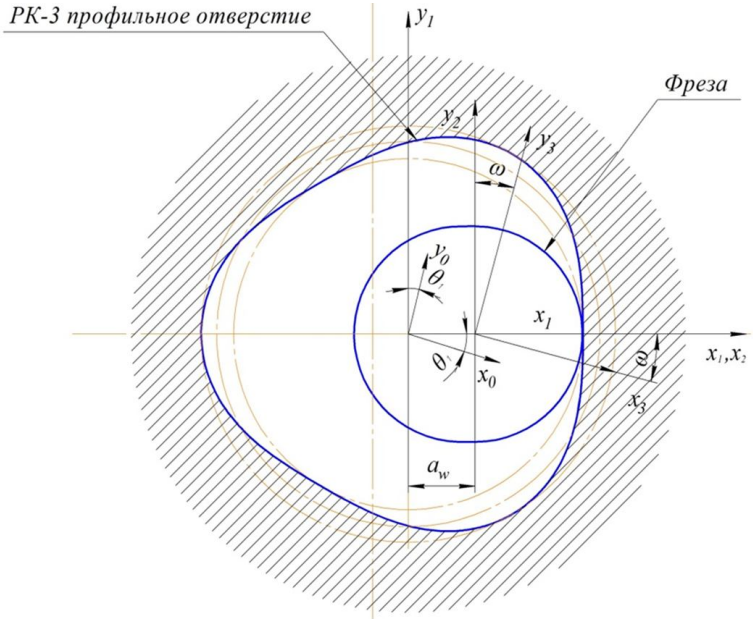


Рис. 1. Схема фрезерования РК-3 профильного отверстия фрезой с переменным радиусом

Fig. 1. Scheme of milling RK-3 profile hole milling cutter with a variable radius

Данная схема формообразования отверстия будет описываться уравнением

$$\bar{r}_0(\theta) = A^{\{6\}}(\theta_1)A^{\{1\}}(x)A^{\{6\}}(\omega)\bar{r}_4, \quad (1)$$

где $\bar{r}_0(\theta)$ – уравнение обрабатываемой поверхности РК-3 профильного отверстия

$$\bar{r}_0(\theta) = \begin{pmatrix} [R - e\cdot\cos(N\cdot\theta)]\cdot\cos\theta - N\cdot e\cdot\sin(N\cdot\theta)\cdot\sin\theta \\ [R - e\cdot\sin(N\cdot\theta)]\cdot\sin\theta - N\cdot e\cdot\sin(N\cdot\theta)\cdot\cos\theta \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad (2)$$

R – радиус средней окружности профильного вала; θ – угловой параметр профиля; e – эксцентриситет профиля; N – количество граней, $A^{\{6\}}(\theta_1)$ – матрица, соответствующая повороту заготовки

$$A^{\{6\}}(\theta_1)=\begin{bmatrix}\cos\theta_1 & -\sin\theta_1 & 0 & 0\\ \sin\theta_1 & \cos\theta_1 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 1 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 1\end{bmatrix},$$

где θ_1 – угол поворота заготовки; $A^{\{1\}}(x)$ – матрица поперечного перемещения фрезы

$$A^{\{1\}}(x)=\begin{bmatrix}1 & 0 & 0 & x\\ 0 & 1 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 1 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 1\end{bmatrix},$$

где x – параметр поперечного перемещения фрезы относительно оси x; $A^{\{6\}}(\omega)$ – матрица поворота фрезы

$$A^{\{6\}}(\omega)=\begin{bmatrix}\cos\omega & -\sin\omega & 0 & 0\\ \sin\omega & \cos\omega & 0 & 0\\ 0 & 0 & 1 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 1\end{bmatrix},$$

где ω – угол поворота фрезы; $\bar{r}_4$ – уравнение производящей поверхности фрезы.

Для реализации данного способа необходимо обеспечить следующие кинематические связи:

$$\omega=N\theta_1, \quad (3)$$

$$x=R-R_f, \quad (4)$$

где R_f – средний радиус фрезы с конструктивной подачей.

Для определения исходной инструментальной поверхности инструмента уравнение (1) приведем к виду

$$\bar{r}_4 = A_{\Sigma}^{-1}(\theta_1)\cdot\bar{r}_0(\theta), \quad (5)$$

где $A_{\Sigma}(\theta_1)$ – матрица формообразующей системы технологического оборудования

$$A_{\Sigma} = A^{\{6\}}(\theta_1)A^{\{1\}}(x)A^{\{6\}}(-N\theta_1). \quad (6)$$

На параметр θ_1, входящий в формулу (6), наложим связь огибания, которую определим путем решения относительно параметра θ_1 уравнения,

$$\frac{\partial\bar{r}_4}{\partial\theta_1}\cdot\frac{\partial\bar{r}_4}{\partial\theta}=0. \quad (7)$$

На рис. 2 показан результат расчета исходной инструментальной поверхности фрезы для обработки отверстия под вал РК-профиля $D_{PK}=80\ e/2e=3{,}4/6{,}8$, количество граней $N=3$, при радиусе инструмента $R_f=24$ мм.

На основе уравнения профиля исходной инструментальной поверхности $\bar{r}_4(\theta)$, задаваясь величиной θ_i и параметром ширины фрезы z, получаем уравнение прямолинейной i-ой режущей кромки фрезы $\bar{r}_{4i}(\theta_i,z)$.

Построение модели режущих кромок фрезы связано с описанием векторов нормали к передней и задней поверхности зубьев. Для определения уравнения векторов нормали к передней $\overline{N}_i$ и задней поверхности $\overline{N}_{zi}$ i–той режущей кромки фрезы рассчитаем матрицу $A_{wi}(\theta_i,z)$ установки системы

координат радиальной секущей плоскости с центром, проходящим через начало системы координат и режущую кромку [21], по векторам: задающим положительное направление оси x_w, как $\bar{r}_{4i}(\theta_i, z)\big|_{z=0}$; положительное направление оси z_w, как $[0,0,1,0]^{\mathrm{T}}$; положение начала системы координат $X_w Y_w Z_w$ как $\bar{r}_{4i}(\theta_i, z)$.

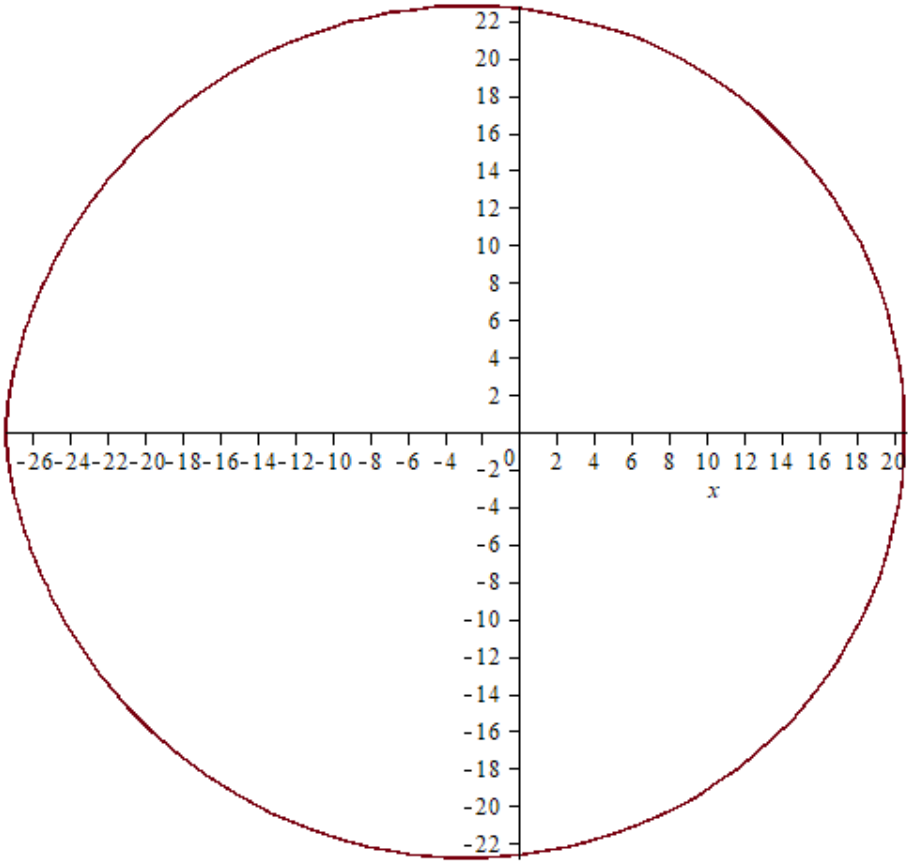


Рис. 2. Производящая поверхность инструмента для обработки РК-3 профильного отверстия с R_f = 24 мм

Fig. 2. The producing surface of the tool for processing RK-3 profile holes with R_f = 24 mm

Тогда уравнение вектора нормали к передней поверхности, определяется как (рис. 3)

$$\bar{N}_{pi}(\theta_i, z, \gamma_i) = A_{wi}(\theta_i, z) A^{\{5\}}(-\gamma_i) \bar{k}_{pi}, \quad (8)$$

где γ_i – передний угол; $A^{\{5\}}(-\gamma_i)$ – матрица поворота секущей плоскости вокруг оси y_{wi} на угол γ_i; $\bar{k}_{pi}$ – орт, соответствующий положительному направлению оси z_{pi}.

Уравнение вектора нормали к задней поверхности определим как (рис. 4)

$$\bar{N}_{zi}(\theta_i, z, \alpha_i) = \\ = A_{wi}(\theta_i, z) A^{\{5\}}\left(\frac{\pi}{2} + \alpha\right) \bar{k}_{zi}, \quad (9)$$

где $A^{\{5\}}\left(\frac{\pi}{2} + \alpha\right)$ – матрица поворота секущей плоскости вокруг оси y_{wi} на

угол $\frac{\pi}{2}+\alpha$; α – величина заднего угла; $\overline{k}_{zi}$ – орт, соответствующий положительному направлению оси z_{zi} .

На рис. 5 показан результат моделирования передний и задней поверхности зубьев фрезы с R_f = 24 мм, и шириной фрезы 50 мм с передним углом 5°, задним углом 10° и числом зубьев 16.

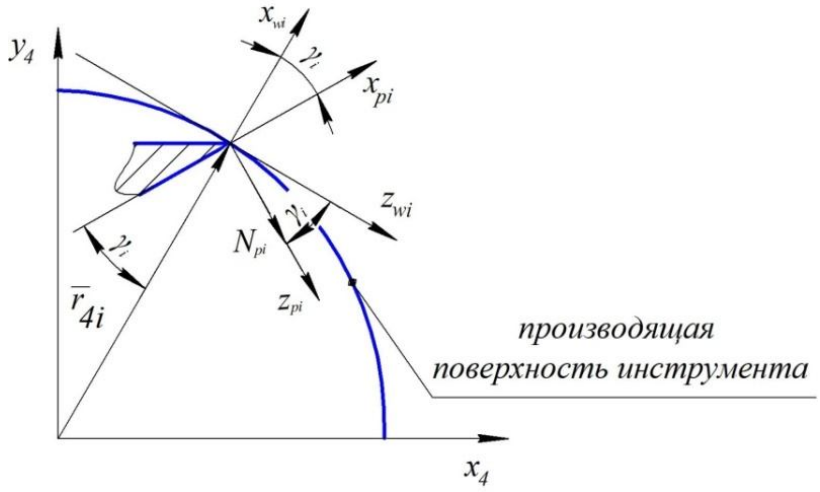


Рис. 3. Схема установки плоскости передней поверхности

Fig. 3. Installation diagram of the front surface plane

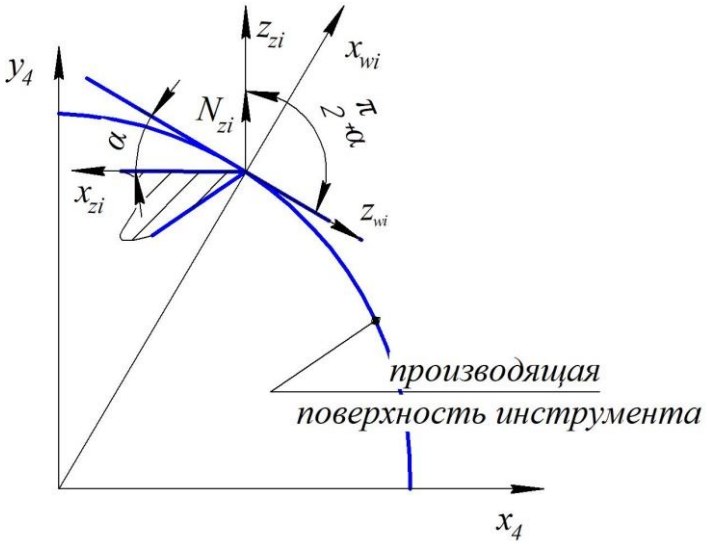


Рис. 4. Схема установки плоскости задней поверхности

Fig. 4. Scheme of installation of the plane of the rear surface

Результаты и их обсуждение

На рис. 6 показан результат построения 3D модели фрезы для обработки РК-профильного отверстия, соответствующего исходной модели инструмента (см. рис. 5).

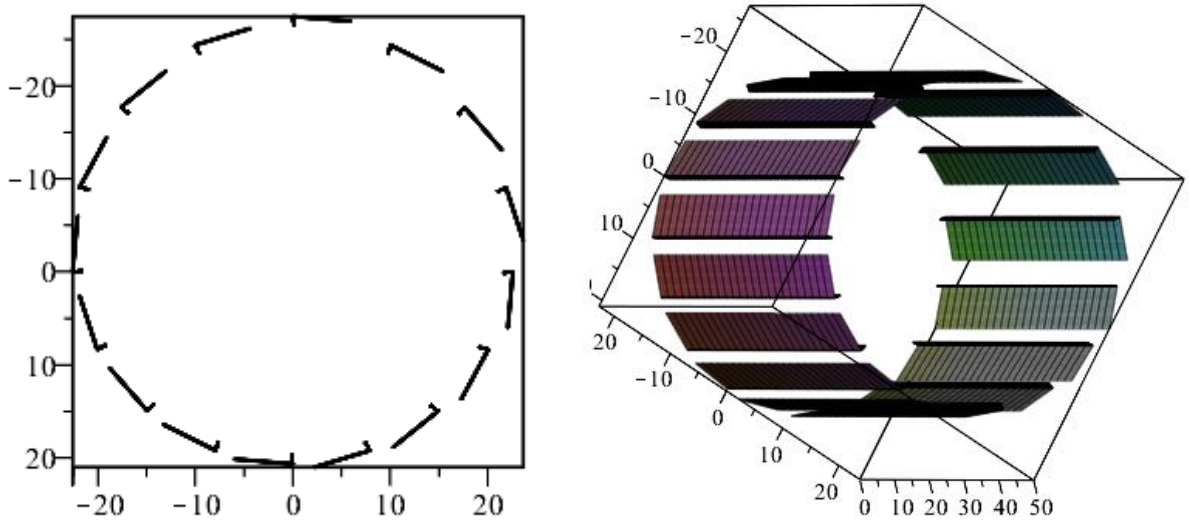
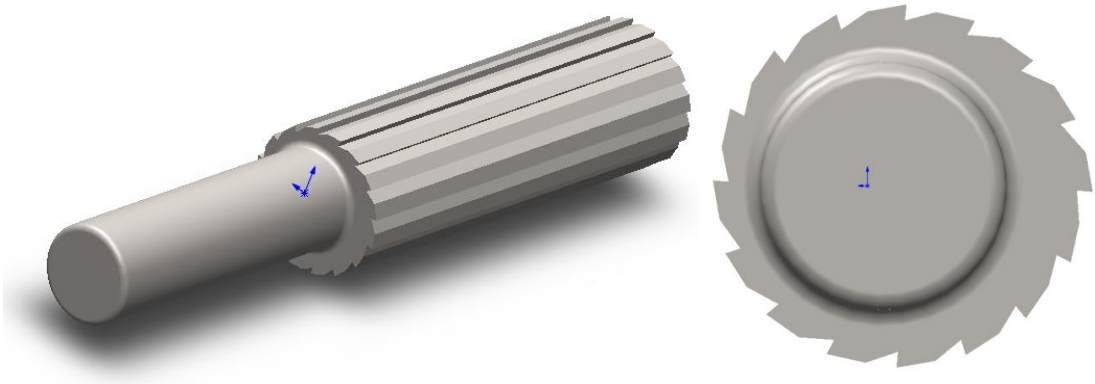


Рис. 5. Результаты моделирования зубьев фрезы для обработки РК-профильных отверстий

Fig. 5. The results of modeling the teeth of the cutter for processing RK-profile holes



а) б)

Рис. 6. 3D модель фрезы для обработки РК-3 профильных отверстий: а – аксонометрия; б – профильный вид

Fig. 6. 3D model of the cutter for processing RK-3 profile holes: a – axonometry; б – profile view

Выводы

На основе построенных моделей становится возможным выполнение моделирования процесса фрезерования РК-профильных отверстий с целью определения рациональных значений обработки и конструктивных параметров.

Полученные данные могут быть полезны при подготовке конструкторско-технологической документации на производственных площадках с целью обеспечения требуемых характеристик детали.

Список литературы

1. Емельянов С.Г. , Гладышкин А.О., Разумов М.С. Автоматизация технологической подготовки производства профильных валов // Известия Юго-Западного государственного университета. 2012. № 1-1. С. 164-168.

2. Барботько А.И., Понкратов П.А., Разумов М.С. Анализ погрешности формы профильного вала при обработке фасонным долбяком // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2012. №2. Ч.1. С. 54-57.

3. Барботько А.И., Понкратов П.А., Разумов М.С. Аспекты контроля профильных соединений на базе треугольника РЕЛО // Сборник научных трудов Sworld. 2013. Т. 4. № 2. С. 92-94.

4. Барботько А.И. , Понкратов П.А., Разумов М.С. Метод генераторной обработки профильных валов долбяками // Машиностроение – основа технологического развития России (ТМ-2013): материалы V Междунар. науч.-практ. конф. Курск, 2013. С. 440-442.

5. Куц В.В., Разумов М.С., Мальнева Ю.А. Моделирование производящих поверхностей фрез с конструктивной радиальной подачей для обработки эксцентриковых валов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2016. № 8-1. С. 126-131.

6. Моделирование производящих поверхностей охватывающих фрез с конструктивной радиальной подачей для обработки валов с равноосным контуром / В.В. Куц, М.А. Сидорова, М.С. Разумов, Ю.А. Мальнева // Вестник Брянского государственного технического университета. 2016. № 4 (52). С. 146-150.

7. Ивахненко А.Г., Куц В.В. Структурно-параметрический синтез технологических систем. Курск, 2010. 153 с.

8. Куц О.Г., Емельянов С.Г., Горохов А.А. Моделирование номинальной поверхности тонкостенной детали с малыми углами конусности // Современные материалы, техника и технологии. 2015. № 2 (2). С. 74-80.

9. Куц О.Г., Емельянов С.Г., Горохов А.А. Моделирование профиля производящей поверхности набора фрез, предназначенного для обработки тонкостенной детали с малыми углами конусности // Современные материалы, техника и технологии. 2015. № 2 (2). С. 81-87.

10. Куц О.Г., Горохов А.А. Синтез вариантов схем установки сменных многогранных пластин относительно профиля производящей поверхности фасонных фрез // Прогрессивные технологии и процессы: сборник научных статей 2-й Международной молодежной научно-практической конференции. Курск, 2015. С. 122-130.

11. Мальнева Ю.А., Куц В.В., Горохов А.А. Новый способ обработки валов с равноосным контуром дисковой фрезой с радиальной конструктивной подачей // Моло-

дежь и XXI век -2015: материалы V Международной молодежной научной конференции. Курск, 2015. С. 142-145.

12. Исследование особенностей формирования погрешности обработки при планетарном формообразовании отверстий длинных тонкостенных деталей / В.А. Гречишников, В.В. Куц, И.В. Ванин, М.С Разумов., А.Н. Гречухин // Современные материалы, техника и технологии. 2018. № 1 (16). С. 11-15.

13. Математическое представление режущих кромок спирального сверла в системе MAPLE / О.С. Зубкова, В.В. Куц, Л.Н. Лыкова, Н.Н. Лыкова // Современные материалы, техника и технологии. 2017. № 7 (15). С. 21-28.

14. Кузьменко А.П., Куц В.В., Максименко Ю.А. Построение модели режущих кромок дисковой фрезы для обработки валов с равноосным контуром // Известия Юго-Западного государственного университета. 2012. № 1-1 (40). С. 116-120.

15. Аникеева О.В., Ивахненко А.Г., Куц В.В. Управление качеством этапа планирования процесса ремонта металлорежущих станков // Известия Юго-Западного государственного университета. 2012. № 4-2 (43). С. 120-126.

16. Куц В.В., Ивахненко А.Г., Сторублев М.Л.Синтез производящих поверхностей фрез -протяжек для обработки валов с равноосным контуром // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2012. № 8. С. 42-48.

17. Куц В.В., Ивахненко А.Г. Схема структурно-параметрического синтеза металлорежущих систем // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2009. № 3-2. С. 20-25.

18. Пат. 2463129 Российская Федерация. Способ обработки профильного вала со сторонами равной ширины / Барботько А.И., Понкратов П.А., Разумов М.С. 22.03.2011А.

19. Разумов М.С., Куц В.В. Формообразования РК-профильных отверстий на электроэрозионном станке, с применением профильного полого электрода // Современные материалы, техника и технологии. 2018. № 5 (20). С. 4-7.

20. Барботько А.И., Понкратов П.А., Разумов М.С. Особенности изготовления долбежного инструмента для обработки профильных соединений // Техника и технологии: пути инновационного развития: материалы II международной научно-практической конференции. Курск, 2012. С. 36-39.

21. Определение положения зубьев охватывающей фрезы с радиальной конструктивной подачей для обработки РК-профильных валов / А.В. Исаев, В.В. Куц, М.С. Разумов, А.Н. Гречухин, М.А. Сидорова // Вестник МГТУ Станкин. 2018. № 3 (46). С. 112-115.

References

1. Emelyanov S. G., Gladyshkin A. O., Razumov M. S. Avtomatizatsiya tekhnologicheskoi podgotovki proizvodstva profil'nykh valov [Automation of technological preparation of

production of profile shafts]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*, 2012, no. 1-1, pp. 164-168 (In Russ.).

2. Barbotko A. I., Ponkratov P. A., Razumov M. S. Analiz pogreshnosti formy profil'nogo vala pri obrabotke fasonnym dolbyakom [Analysis of the error of the shape of the profile shaft when processing shaped chisel]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*, 2012, no. 2-1, pp. 54-57 (In Russ.).

3. Barbotko A. I., Ponkratov P. A., Razumov M. S. Aspekty kontrolya profil'nykh soedinenii na baze treugol'nika RELO [Aspects of control of profile connections on the basis of triangle RE-LO]. *Sbornik nauchnykh trudov Sworld = Collection of scientific papers Sworld*, 2013, vol. 4, no. 2, pp. 92-94 (In Russ.).

4. Barbotko A. I., Ponkratov P. A., Razumov M. S. [Method of generator processing of profile shafts by dolbyaks]. *Mashinostroenie -osnova tekhnologicheskogo razvitiya Rossii (TM-2013). Materialy V Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Materials of the V International scientific and practical conference "Mechanical engineering-the basis of technological development of Russia (TM-2013)"]. Kursk, 2013, pp. 440-442 (In Russ.).

5. Kuts V. V., Razumov M. S., Malneva Yu. Modelirovanie proizvodyashchikh poverkhnostei frez s konstruktivnoi radial'noi podachei dlya obrabotki ekstsentrikovykh valov [Modeling of producing surfaces of mills with constant radial feed for processing eccentric shafts]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki = Proceedings of Tula State University. Technical science*, 2016, no. 8-1, pp. 126-131 (In Russ.).

6. Kuts V. V., Sidorova M. A., Razumov M. S., Malneva Yu. Modelirovanie proizvodyashchikh poverkhnostei okhvatyvayushchikh frez s konstruktivnoi radial'noi podachei dlya obrabotki valov s ravnoosnym konturom [Modeling of producing surfaces covering mills with constructive radial feed for processing shafts with equiaxial contour]. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Bryansk State Technical University,* 2016, no. 4 (52), pp. 146-150 (In Russ.).

7. Ivakhnenko A. G., Kutz V. V. Strukturno-parametricheskii sintez tekhnologicheskikh sistem [Structural-parametric synthesis of techno-logical systems]. Kursk, 2010, 153 p. (In Russ.).

8. Kuts O. G., Emelianov S. G., Gorokhov A. A. Modelirovanie nominal'noi poverkhnosti tonkostennoi detali s malymi uglami konusnosti [Modeling of the nominal surface of a thin-walled part with small taper angles]. *Sovremennye materialy, tekhnika i tekhnologii = Modern materials, techniques and technologies*, 2015, no. 2 (2), pp. 74-80 (In Russ.).

9. Kuts O. G., Emelianov S. G., Gorokhov A. A. Modelirovanie profilya proizvodyashchei poverkhnosti nabora frez, prednaznachennogo dlya obrabotki tonkostennoi detali s malymi uglami konusnosti [Modeling of the profile of the producing surface of a set of cutters intended for processing of a thin-walled detail with small angles of radius]. *Sovremennye materialy, tekhnika i tekhnologii = Modern materials, technics and technologies*, 2015, no. 2 (2), pp. 81-87 (In Russ.).

10. Kuts O. G., Gorokhov A. A. [Synthesis of variants of schemes of installation of replaceable polyhedral plates concerning a profile of a producing surface of shaped cutters]. *Progressivnye tekhnologii i protsessy. Sbornik nauchnykh statei 2-i Mezhdunarodnoi molodezhnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* = [Collection of scientific articles of the 2nd international youth scientific and practical conference "Progressive technologies and processes"]. Kursk, 2015, pp. 122-130 (In Russ.).

11. Malneva Yu. A., Kuts V. V., Gorokhov A. A. [A new method of processing shafts with an equiaxial contour disk cutter with radial constructive feed]. *Materialy V Mezhdunarodnoi molodezhnoi nauchnoi konferentsii "Molodezh' i XXI vek - 2015"* = [Collection Proceedings of the V International youth scientific conference "Youth and the XXI century - 2015"] Kursk, 2015, pp. 142-145 (In Russ.).

12. Grechishnikov V. A., Kuts V. V., Vanin I. V., Razumov M. S., Grechukhin A. N. Issledovanie osobennostei formirovaniya pogreshnosti obrabotki pri planetarnom formoobrazovanii otverstii dlinnykh tonkostennykh detalei [Research of features of formation of an error of processing at planetary shaping of apertures of long thin-walled details]. *Sovremennye materialy, tekhnika i tekhnologii = Modern materials, technics and technologies*, 2018, no. 1 (16), pp. 11-15 (In Russ.).

13. Zubkova O. S., Kutz V. V., Lykova L. N., Lykova N. N. Matematicheskoe predstavlenie rezhushchikh kromok spiral'nogo sverla v sisteme MAPLE [Mathematical representation of the cutting edges of a spiral drill in the MAPLE system]. *Sovremennye materialy, tekhnika i tekhnologii = Modern materials, technique and technology*, 2017, no. 7 (15), pp. 21-28 (In Russ.).

14. Kuzmenko A. P., Kuts V. V., Maksimenko Yu. A. Postroenie modeli rezhushchikh kromok diskovoi frezy dlya obrabotki valov s ravnoosnym konturom [Construction of a model of cutting edges of a disc cutter for cutting shafts with an equi-axial contour]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*, 2012, no. 1-1 (40), pp. 116-120 (In Russ.).

15. Anikeeva O. V., Ivakhnenko A. G., Kuts V. V. Upravlenie kachestvom etapa planirovaniya protsessa remonta metallorezhushchikh stankov [Quality management of the planning stage of the repair process of machine tools]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University,* 2012, no. 4-2 (43), pp. 120-126 (In Russ.).

16. Kuts V. V., Ivakhnenko A. G., Storublev M. L. Sintez proizvodyashchikh poverkhnostei frez -protyazhek dlya obrabotki valov s ravnoosnym konturom [Synthesis of producing surfaces of milling broaches for processing shafts with equiaxial contour]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. = Izvestiya Tula State University. Technical science,* 2012, no. 8, pp. 42-48 (In Russ.).

17. Kuts V. V., Ivakhnenko A. G. Skhema strukturno-parametricheskogo sinteza metallorezhushchikh sistem [Scheme of structural-parametric synthesis of metal-cutting systems].

Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii = Fundamental and applied problems of engineering and technology, 2009, no. 3-2, pp. 20-25 (In Russ.).

18. Barbotko A. I., Ponkratov P. A., Razumov M. S. Sposob obrabotki profil'nogo vala so storonami ravnoi shiriny patent na izobretenie [Method of processing profile shaft with sides of equal width patent for invention]. Patent RF, no. 2463129 22.03.2011 (In Russ.).

19. Razumov M. S., Kuts V. V. Formoobrazovaniya RK-profil'nykh otverstii na elektroerozionnom stanke, s primeneniem profil'nogo pologo elektroda [Forming of RK-profile holes on the electroerosion machine, with application of the profile hollow electrode]. *Sovremennye materialy, tekhnika i tekhnologii = Modern materials, technics and technologies*, 2018, no. 5 (20), pp. 4-7 (In Russ.).

20. Barbotko A. I., Ponkratov P. A., Razumov M. S. [Features of production of the slotting tool for processing of profile connections in the collection]. *Tekhnika i tekhnologii: puti innovatsionnogo razvitiya. Materialy II mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Materials of the II international scientific and practical conference "Technics and technologies: ways of innovative development"]. Kursk, 2012, pp. 36-39 (In Russ.).

21. Isaev A.V., Kuts V. V., Razumov M. S., Grechukhin A. N., Sidorova M. A. Opredelenie polozheniya zub'ev okhvatyvayushchei frezy s radial'noi konstruktivnoi podachei dlya obrabotki RK-profil'nykh valov [Determination of position of teeth of the covering mill with radial constructive giving for processing of RK-profile shafts]. *Vestnik MGTU Stankin = Bulletin of MSTU Stankin*, 2018, no. 3 (46), pp. 112-115 (In Russ.).

Информация об авторах / Information about the Authors

Куц Вадим Васильевич, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: kuc-vadim@yandex.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3244-1359

Vadim V. Kuts, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Southwest State University, Kursk, Russian Federation
e-mail:kuc-vadim@yandex.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3244-1359

Разумов Михаил Сергеевич, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: mika_1984_@mail.ru

Mikhail S. Razumov, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Southwest State University, Kursk, Russian Federation
e-mail: mika_1984_@mail.ru

Митрофанов Максим Владимирович, студент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: mitrofanovmaksim@list.ru

Maksim V. Mitrofanov, Student, Southwest State University, Kursk, Russian Federation
e-mail: mitrofanovmaksim@list.ru