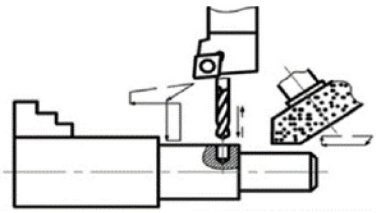
Наукоёмкие технологии механической обработки заготовок



Наукоёмкие технологии в машиностроении. 2022. №3 (129). С. 14-17.
Science intensive technologies in mechanical engineering. 2022. №3 (129). P. 14-17.

Научная статья
УДК 621.785.53.062
doi: 10.30987/ 2223-4608-2022-3-14-17

Моделирование производящей поверхности фрезы-протяжки для обработки валов с равноосным контуром с поперечным расположением осей инструмента и вала

Вадим Васильевич Куц [1], д.т.н.,
Юлия Андреевна Мальнева [2], к.т.н.
[1,2] Юго-Западный государственный университет, Курск, Россия
[1]kuc-vadim@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-3244-1359
[2]yuliyamaximencko2010@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-7923-1431

Аннотация. *Рассмотрен новый способ формообразования валов с равноосным контуром (РК) фрезой-протяжкой, имеющей поперечное расположение осей заготовки и инструмента, а также процесс моделирования производящей поверхности данного инструмента.*

Ключевые слова: РК-профиль, фреза-протяжка, производящая поверхность, моделирование

Благодарность: материал подготовлен в рамках реализации внутриуниверситетского гранта по программе развития ЮЗГУ (ПРИОРИТЕТ-2030). Номер проекта – ПР2030/2021-31.

Для цитирования: Куц В.В., Мальнева Ю.А. Моделирование производящей поверхности фрезы-протяжки для обработки валов с равноосным контуром с поперечным расположением осей инструмента и вала // Наукоёмкие технологии в машиностроении. – 2022. – №3 (129). – С. 14-17. doi: 10.30987/ 2223-4608-2022-3-14-17.

Original article

Vadim V. Kutz [1], Dr. Sc. Tech.,
Yulia A. Malneva [2], Can. Sc. Tech.
Southwest State University, Kursk, Russia
[1]kuc-vadim@yandex.ru, [2]yuliyamaximencko2010@yande.ru

Generating surface modeling of rotary tool-pull broach for shaft work of shafts having an equiaxial contour with a transverse arrangement of the axes of the tool and shaft

Annotation. *New molding process of shafts having an equiaxial contour by using rotary tool-pull broach with a transverse arrangement of the tool axes together with generating surface modeling of this tool is described.*

Keywords: EC (equiaxial contour)- profile, generating surface, modeling

Acknowledgements: the material was prepared as part of the implementation of an intra-university grant under the Southwestern State University development Program (PRIORITY- 2030). The project number is PR2030/2021 31.

For citation: Kutz V.V., Malneva Yu.A. Generating surface modeling of rotary tool-pull broach for shaft work of shafts having an equiaxial contour with a transverse arrangement of the axes of the tool and shaft. / Science intensive technologies in Mechanical Engineering, 2022, no.3 (129), pp. 14-17. doi: 10.30987/ 2223-4608-2022-3-14-17.

 © Куц В.В., Мальнева Ю.А., 2022

Существуют различные способы формообразования РК-профильных валов [1 – 4], в том числе и с применением фрез с конструктивной подачей [5 – 7]. Основным их недостатком является то, что формообразование осуществляется в результате точечного контакта производящей поверхности фрезы с профилем вала, а с учетом наличия режущих кромок на производящей поверхности фрезы, этот контакт становится ещё и дискретным.

Это является причиной невысокой точности обработки РК-профильных валов данными способами, что может приводить к увеличению габаритов данных фрез. Для снижения величины погрешности формообразования необходимо увеличить длину контакта режущей кромки фрез с профилем обрабатываемого вала. В частности, авторами была предложена следующая схема формообразования (рис. 1).

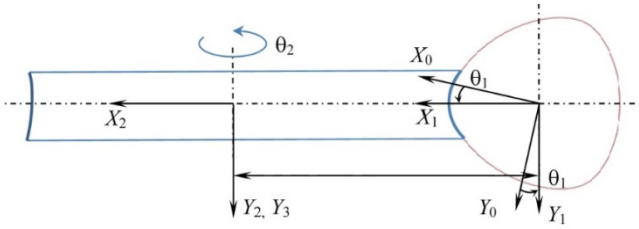


Рис. 1. Схема фрезопротягивания РК-профильного вала с поперечным расположением оси инструмента

Предполагается, что в рамках данной схемы частота оборотов вала равна трем (кратным числу граней вала) оборотам инструмента. Основной задачей при создании подобного инструмента является определение уравнения его производящей поверхности, которое может быть получено, исходя из основного уравнения формообразования [8], соответствующего данной схеме:

$$\overline{r}_0(\theta) = A_{01}^{\{6\}}(\theta_1)\cdot A_{12}^{\{1\}}(H)\cdot A_{23}^{\{5\}}(-\theta_2)\cdot \overline{r}_3, \quad (1)$$

где $\overline{r}_0(\theta)$ – уравнение РК-профиля:

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

где θ – профильный угол обрабатываемого вала; N – количество граней профильного вала (для РК-3 профильного вала $N = 3$); e – эксцентриситет; R – средний радиус профильного вала; $A_{01}^{\{6\}}(\theta_1)$ – матрица, соответствующая повороту вала на угол θ_1:

$$A_{0,1}^{\{6\}}(\theta_1) = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & -\sin\theta_1 & 0 & 0 \\ \sin\theta_1 & \cos\theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где θ_1 – угол поворота обрабатываемого вала; $A_{12}^{\{1\}}(H)$ – матрица межосевого расстояния между фрезой и валом:

$$A_{12}^{\{1\}}(H) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & H \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (4)$$

$A_{23}^{\{5\}}(-\theta_2)$ – матрица, соответствующая повороту фрезы на угол θ_2:

$$A_{23}^{\{5\}}(-\theta_2) = \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & 0 & -\sin\theta_2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin\theta_2 & 0 & \cos\theta_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (5)$$

$\overline{r}_3$ – неизвестное уравнение кривой на производящей поверхности фрезы, проходящей через исходную точку контакта.

Выполнив преобразование:

$$\overline{r}_3 = \left[A_{01}^{\{6\}}(\theta_1)\cdot A_{12}^{\{1\}}(H)\cdot A_{23}^{\{5\}}(-\theta_2)\right]^{-1}\overline{r}_0(\theta), \quad (6)$$

определим неизвестное векторное уравнение для кривой на производящей поверхности фрезы, проходящей через исходную точку контакта.

Для исключения избыточности параметров в уравнении (6) примем:

$$\theta_2 = N\theta_1 \quad (7)$$

и определим связь между параметрами $\theta_1 = f(\theta)$ путем решения уравнения:

$$\frac{\partial^2 \overline{r}_3}{\partial\theta\partial\theta_1}\cdot\frac{\partial \overline{r}_3}{\partial\theta_1} = 0. \quad (8)$$

На рис. 2 представлена зависимость $\theta_1 = f(\theta)$ на основе решения уравнения (8) для РК-3 профильного вала со значениями параметров: e = 3 мм; R = 40 мм и межосевым расстоянием H = 200 мм.

Из рис. 2 видно, что связь $\theta_1 = f(\theta)$ близка к линейной зависимости. Тогда полученное векторное уравнение $\overline{r}_3$ с учетом заданных связей будет определять кривую, на производящей поверхности фрезы, проходящую через исходную точку контакта с профилем вала (рис. 3).

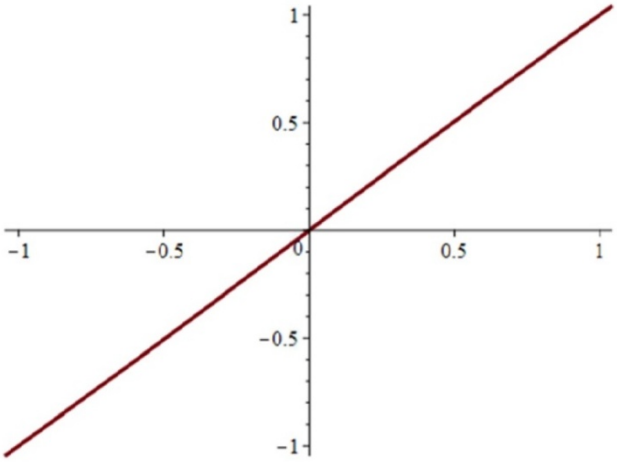


Рис. 2. Зависимость $\theta_1 = f(\theta)$ для РК-3 профильного вала

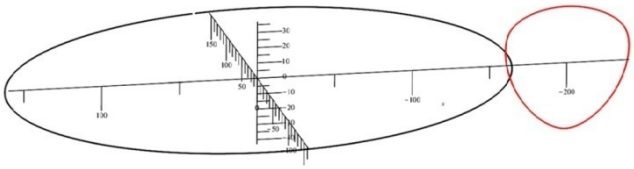


Рис. 3. Кривая на производящей поверхности фрезы, проходящая через исходную точку контакта с профилем вала

На основе кривой $\overline{r}_3$ становится возможным описать уравнения производящих поверхностей, реализующих различные варианты контакта с обрабатываемым профилем вала. Так, например, уравнение (9) соответствует варианту точечного контакта производящей поверхности с профилем обрабатываемого вала.

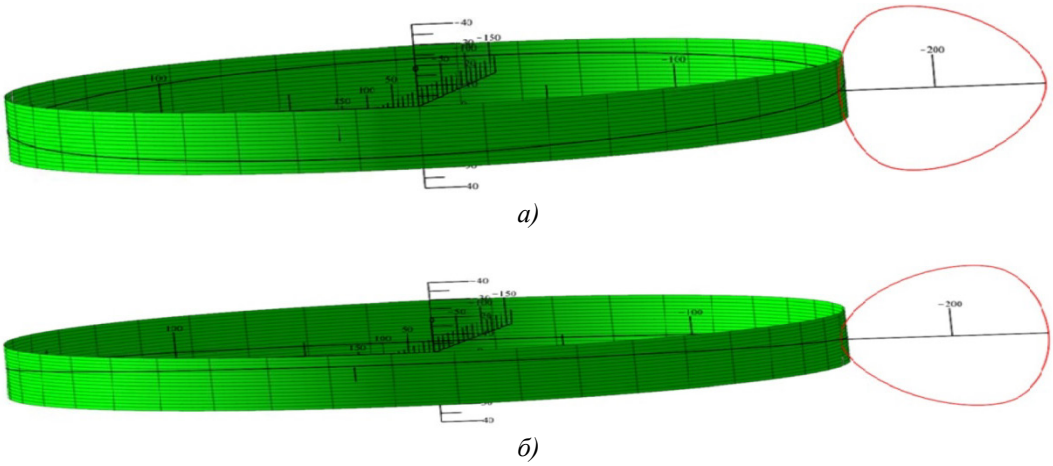
$$\overline{r}_f(\theta_f, \Delta h) = \begin{bmatrix} \overline{i}_3 \cdot \overline{r}_3 \Big|_{\theta_1 = f(\theta_f);\theta=\theta_f} \\ \Delta h \\ \overline{k}_3 \cdot \overline{r}_3 \Big|_{\theta_1 = f(\theta_f);\theta=\theta_f} \\ 1 \end{bmatrix}, \qquad (9)$$

где $\overline{i}_3$, $\overline{k}_3$ – единичные орты ортогонального базиса системы координат фрезы; Δh – параметр ширины производящей поверхности.

На рис. 4 показан результат геометрического моделирования данной производящей поверхности.

Следующее уравнение соответствует варианту контакта производящей поверхности с участком профиля обрабатываемого вала.

$$\overline{r}_f(\theta_f, \Delta h) = \overline{r}_3 \Big|_{\theta_1 = f(\theta_f);\theta=\theta_f+\Delta h} \qquad (10)$$



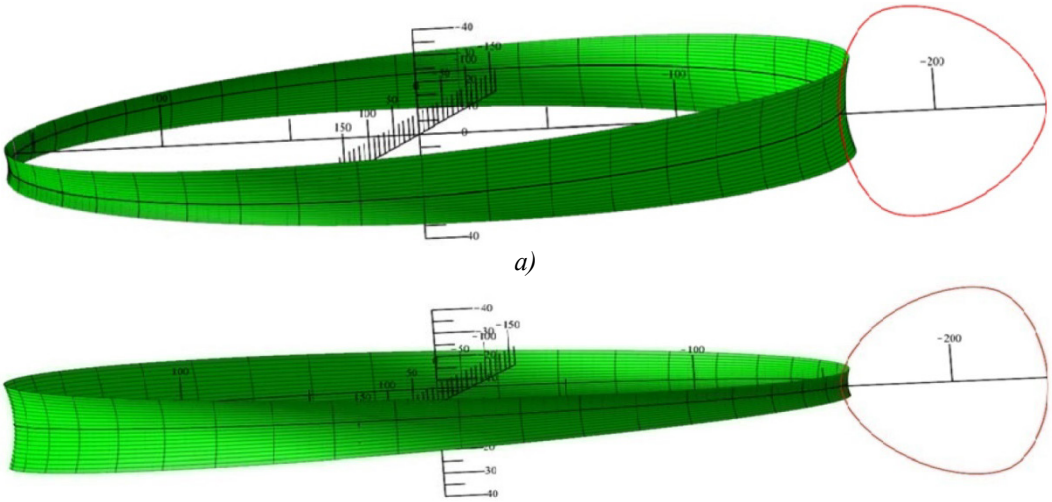
а)

б)

Рис. 4. Моделирование производящей поверхности фрезы сответствующей точечному контакту с профилем обрабатываемого вала:
а – при $\theta_1 = 0$; *б* – при $\theta_1 = -2\pi/N$

На рис. 5 показан результат геометрического моделирования данной производящей поверхности.

Производящая поверхность, построенная по уравнению (10), имеет более плотное прилегание к профилю обрабатываемого вала, что позволит увеличить длину контакта с режущими кромками фрезы и снизить величину погрешности формообразования.



а)

б)

Рис. 5. Моделирование производящей поверхности фрезы, контактирующей с участком с профиля обрабатываемого вала:
а – при $\theta_1 = 0$; *б* – при $\theta_1 = -2\pi/N$

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Тимченко, А.И.** Технология изготовления деталей профильных бесшпоночных соединений. - М.: ВНИИТЭМР, 1988.
2. **Тимченко, А.И.** Новый способ обработки профильных валов и отверстий с равноосным контуром на токарном станке // Вестник машиностроения. - 1981. - № 9. С. 48-52.
3. **Тимченко, А.И.** Процессы формообразования профильных поверхностей изделий с равноосным контуром // Дис. д.т.н., Москва. – 1993. – 549 с.
4. **Шитиков, А.Н.** Проектирование сборных фасонных фрез для обработки наружного РК-профиля // дисс. канд. техн. наук, Тула. – 2007. – 205 с.
5. **Куц, В.В., Ивахненко, А.Г., Сторублев, М.Л.** Ситнез производящих поверхностей фрез-протяжек для обработки валов с равноосным контуром // Известия Тульского государственного университета. – 2012. – Вып. 8. – С. 42-48.
6. **Куц, В.В., Мальнева, Ю.А., Горохов, А.А.** Способы обработки профильных валов фрезами с радиальной конструктивной подачей // Проблемы и достижения в инновационных материалах и технологиях машиностроения: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Курск, 2015. – С. 156-158.
7. **Куц, В.В., Пономарев, В.В.** Построение модели формообразования длинных валов с РК-профилем сборной дисковой фрезой // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2017. – №2 (322). – С. 110-115.
8. **Решетов, Д.Н., Портман, В.Т.** Точность металлорежущих станков - М.: Машиностроение, 1986. – 336 с.

REFERENCES

1. Timchenko, A.I. Technology of manufacturing parts of profile keyless connections. Moscow: VNIITEMR, 1988.
2. Timchenko, A.I. A new processing method of profile shafts and holes having an equiaxial contour on-lathe machine. /Vestnik mashinostroeniya, 1981, no. 9, pp. 48-52.
3. Timchenko, A.I. A profile feature-forming process of manufactures with an equiaxial contour /IR DR's Thesis, Moscow, 1993, 549 p.
4. Shitikov, A.N. Designing of prefabricated shaped milling cutters for processing the external EC- profile. /IR DR's Thesis, Tula, 2007, 205 p.
5. Kutz, V.V., Ivakhnenko, A.G., Storublev, M.L. Synthesis of the generating surfaces of broaching mills for machining shafts with an equiaxial contour. / Izvestiya of Tula State University, 2012, no. 8, pp. 42–48.
6. Kutz, V.V., Malyneva, Yu.A., Gorokhov, A.A. Methods of processing equiaxial contour shafts with the radial constructive feed disk cutter. Problemi i dostizheniya v innovatsionnikh materrialakh i tekhnologiyakh mashinostroeniya. [Problems and achievements in innovative materials and technologies of mechanical engineering. Proc. Int. Sci-tech. conf.], Kursk, 2015, pp. 156-158.
7. Kutz, V.V., Ponomarev, V.V., Construction of a model for the formation of long shafts with an EC-profile by a prefabricated disk milling cutter. /Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology, 2017, no. 2 (322), pp. 110-115.
8. Reshetov, D.N., Portman, V.T. Precision of metal-cutting machines, Moscow: Mashinostroenie, 1986, 336 p.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 08.12.2021; одобрена после рецензирования 10.12.2021; принята к публикации 30.12.2021.
The article was submitted 08.12.2021; approved after reviewing 10.12.2021; accepted for publication 30.12.2021.