

УДК 621.914.5.002.54
DOI:10.30987/2223-4608-2020-5-15-18

О.И. Борискин, д.т.н.,
Н.Г. Стаханов, к.т.н.,
И.В. Астапова, аспирант
(ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»,
300012, г. Тула, проспект Ленина, 92)
E-mail: polyteh2010@mail.ru

Кинематический анализ эвольвентной червячной фрезы с поворотными твердосплавными рейками

Рассмотрена конструкция червячной фрезы для чистовой обработки цилиндрических зубчатых колес. Ввиду того, что величины геометрических параметров, заданные конструктором, не сохраняются в процессе зубофрезерования, был проведен кинематический анализ, который показал, что величины геометрических параметров в процессе движения изменяются, но они не выходят за пределы приемлемых. Представлен анализ влияния значений статического переднего угла на углы резания. Предложенное техническое решение позволяет повысить точность обработки зубчатых колес и сократить расход твердого сплава.

Ключевые слова: червячная фреза; твердосплавная рейка; кинематические параметры; передний рабочий угол; задний угол.

O.I. Boriskin, Dr. Sc. Tech.,
N.G. Stakhanov, Can. Sc. Tech.,
I.V. Astapova, Post graduate student
(FSBEI HE "Tula State University", 92, Lenin Avenue, Tula, 300012)

Kinematic analysis of involute hob cutter with rotary hard-alloy rods

A design of a hob cutter for cylindrical cog-wheel finishing is considered. In view of that the values of geometrical parameters specified by a designer are not preserved during hobbing (gear milling) there was carried out a kinematic analysis, which has shown that the values of geometric parameters change in the course of motion, but they do not transgress the bounds of acceptable ones. There is presented the analysis of the value impact of a static front angle upon angles of cutting. The technical solution offered allows increasing the accuracy of cog-wheel machining and decreasing hard alloy consumption.

Keywords: hob cutter; hard-alloy rod; kinematic parameters; front operating angle; back angle.

На современном этапе развития машиностроения и приборостроения большое внимание уделяется точности зубчатых колес, являющихся ответственными деталями узлов и механизмов. На их качество влияет огромное число факторов, среди которых важную роль играет режущий инструмент.

Наиболее прогрессивными инструментами для обработки цилиндрических зубчатых ко-

лес в условиях массового и крупносерийного производства являются червячные фрезы. Значительную работу по их созданию и исследованию проводят отечественные и зарубежные ученые [1 – 4].

Перспективным направлением для такого инструмента является использование твердого сплава. Однако вопросы, касающиеся повышения точности червячных фрез и уменьше-

ния расхода твердого сплава, решены недостатки. Поэтому дальнейшее совершенствование их конструктивных характеристик является актуальной задачей и имеет научное и практическое значение.

Авторами статьи предлагается конструкция фрезы для чистовой обработки зубчатых колес (рис. 1). Инструмент состоит из двух совершенно одинаковых рабочих корпусов, только один из них левозаходный, другой – правозаходный; набора твердосплавных реек; опорных сухарей; опорных пластин и винтов. Стружечные канавки такой фрезы, исходя из их технологичности, были выбраны параллельными оси.

Для предложенной конструкции инструмента приняты плоские передние поверхности и задние поверхности, образующие которых перпендикулярны режущей кромке. Рейки рассчитаны по теоретически точным зависимостям и используются сначала в первом рабочем корпусе, а после затупления – во втором, за счет поворота на 180° вокруг продольной оси. Благодаря такому решению требуемый рассчитанный профиль зуба сохраняется.

Для оценки работоспособности фрезы предложенной конструкции был проведен кинематический анализ инструмента и определена область его оптимальных параметров. Расчет проводился для эвольвентной червячной

фрезы с наружным диаметром 200 мм, модулем $m = 4$ мм и значением статического переднего угла $\gamma_{a0} = -10^\circ$.

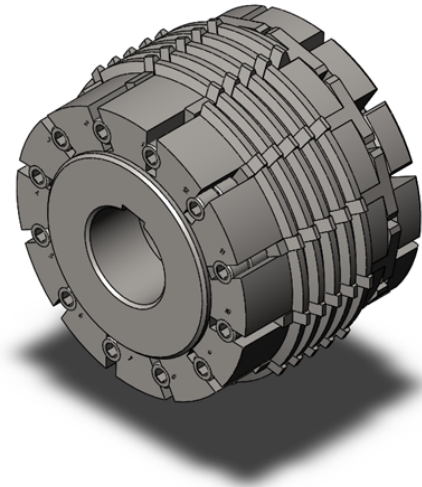


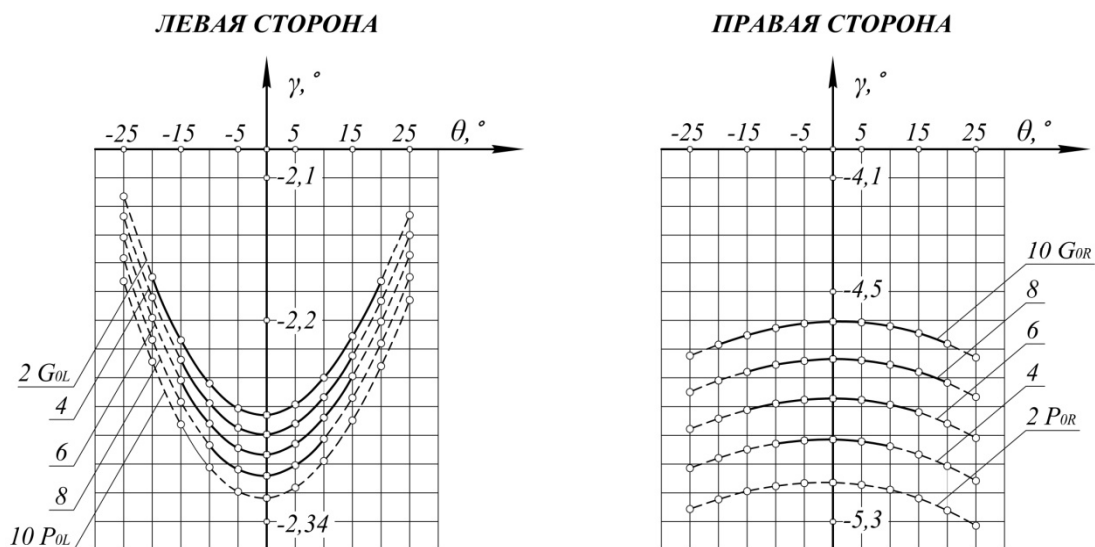
Рис. 1. Эвольвентная червячная фреза с поворотными твердосплавными рейками

Исследования проводились на примере обработки косозубого колеса с модулем $m = 4$ мм, углом наклона зубьев на начальном диаметре $\beta = 20^\circ$.

Результаты представлены на рис. 2 – 4.

**ИЗМЕНЕНИЕ ПЕРЕДНЕГО УГЛА В ПРОЦЕССЕ РЕЗАНИЯ
В КАЖДОЙ ТОЧКЕ ПРОФИЛЯ**

($d_{a0}=200$, $m=4$ мм, $z_0=1$, $\gamma_{a0}=-10^\circ$, $\beta_{нач}=90^\circ$; $z=40$, $\beta_1=88,8^\circ$; $\beta_2=20^\circ$; $n_0=350$ об/мин $s_0=3$ мм/мин)
ПРИ $l=0$



— точка профиля зуба фрезы, участвующая в резании
 ---- точка профиля зуба фрезы, не участвующая в резании

Рис. 2. Изменение переднего угла в процессе резания в каждой точке профиля

ИЗМЕНЕНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПЕРЕДНИХ УГЛОВ НА ЛЕВОЙ СТОРОНЕ ПРОФИЛЯ ЗУБА ПРИ $\gamma_{a0}=0^\circ; -10^\circ; -15^\circ; -20^\circ$
 ($m=4$ мм, $z_0=1$, $\gamma_{a0}=-10^\circ$, $\beta_{заос}=90^\circ$; $z=40$, $\beta_2=20^\circ$; $n_0=350$ об/мин $s_0=3$ мм/мин)
 ПРИ $l=0$, $\theta=0^\circ$

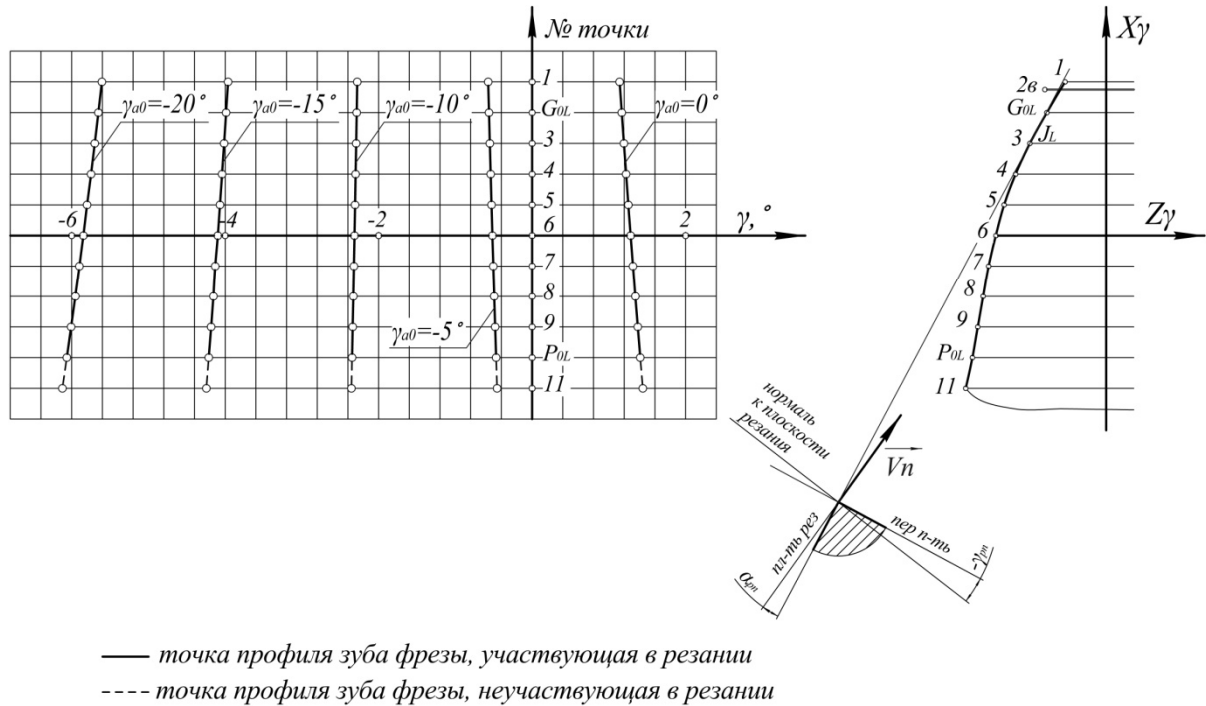


Рис. 3. Изменение передних углов в процессе резания на левой стороне профиля зуба в определенный момент времени

ИЗМЕНЕНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПЕРЕДНИХ УГЛОВ НА ПРАВОЙ СТОРОНЕ ПРОФИЛЯ ЗУБА ПРИ $\gamma_{a0}=0^\circ; -5^\circ; -10^\circ; -15^\circ; -20^\circ$
 ($Da_0=200$ мм, $m=4$ мм, $z_0=1$, $\beta_{заос}=90^\circ$; $z=40$, $\beta_2=20^\circ$; $n_0=350$ об/мин $s_0=3$ мм/мин)
 ПРИ $l=0$, $\theta=0^\circ$

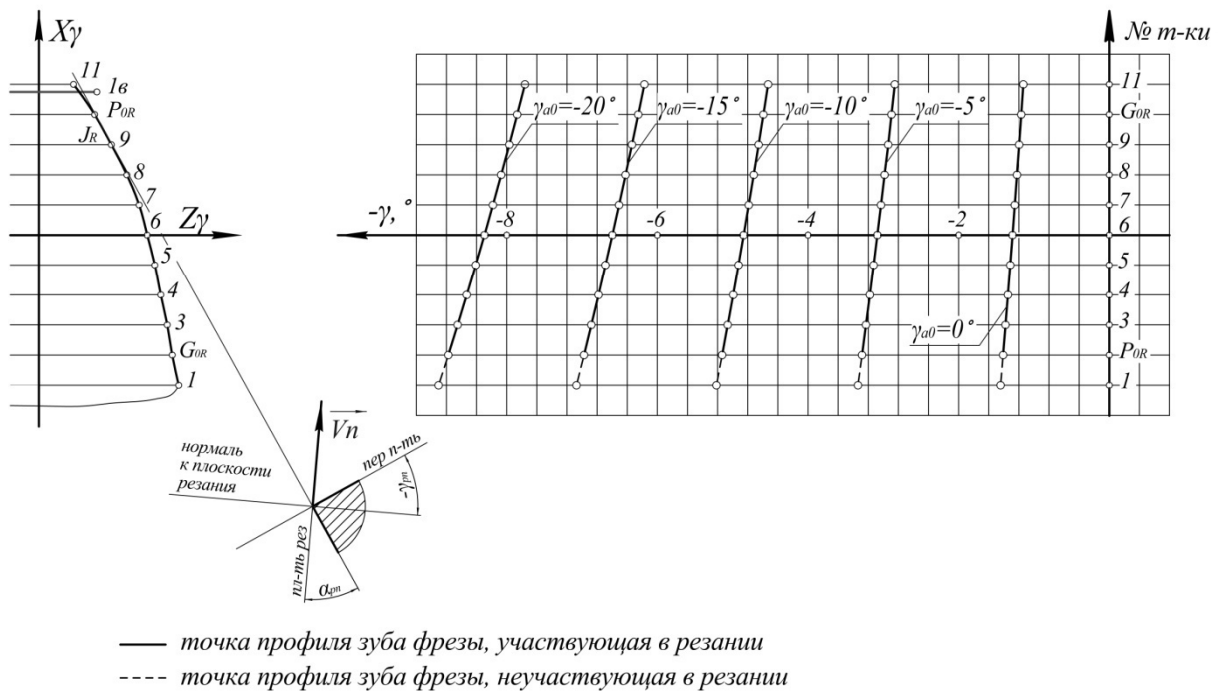


Рис. 4. Изменение передних углов в процессе резания на правой стороне профиля зуба в определенный момент времени

Как показал анализ, рабочие углы изменяются в процессе резания на промежутке от момента врезания до момента выхода инструмента из детали. Для рассматриваемого случая значения переднего рабочего угла γ_{p0} изменялись в пределах:

– с левой стороны от $-2,1$ до $-2,4^\circ$ и достигали максимума в момент срезания наибольшей толщины припуска;

– с правой стороны от $-4,5$ до $-5,3^\circ$ и достигали максимума в момент срезания наименьшей толщины припуска.

Изменение заднего угла α_{pn} изменялось противоположно:

– с левой стороны достигает максимума в момент срезания наименьшей толщины припуска;

– с правой стороны достигает максимума в момент срезания наибольшей толщины припуска.

На рис. 3 и 4 приведены результаты влияния назначаемого статического переднего угла γ_{a0} на изменения величин рабочего переднего угла резания. При увеличении γ_{a0} :

- рабочий передний угол γ_{pn} уменьшается;
- рабочий задний угол α_{pn} увеличивается.

Следует отметить, что для оптимальности процесса резания необходимо выполнение условий: значение переднего рабочего угла отрицательное, а задний рабочий угол $\alpha_{pn} > 2^\circ$. Однако это выполняется не всегда. Так, при $\gamma_{a0} = 0^\circ$ рабочий передний угол на левой стороне профиля зуба положительный, а задний – отрицательный. При $\gamma_{a0} = -5^\circ$ кинематический задний рабочий угол $\alpha_{pn} < 2^\circ$, что также не удовлетворяет оптимальности процесса резания. При $\gamma_{a0} = -10^\circ, -15^\circ, -20^\circ$ углы резания не выходили за пределы приемлемых значений.

Таким образом, после проведенного кинематического анализа предложенной червячной фрезы с твердосплавными поворотными рейками рекомендуются следующие значения статического угла, для достижения оптимальных условий резания: $\gamma_{a0} = -10... -15^\circ$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гречишников, В.А., Домнин, П.В., Косарев, В.А. [и др.]. Современные методы решения задач формообразо-

вания сложного режущего инструмента // Станки инструмент. – 2013. – № 12. – С. 6–11.

2. Fetvacı M.C. Determination of effective involute parameter limit in generation simulation of gears manufactured by rack-type cutters. *Mechanics & Industry*. – 2017. – Vol.18. – No. 4. – 7 p.

3. Mate M., Hollanda D. About the profile accuracy of the involute gear hob. *Electrical and Mechanical Engineering*. – 2017. – Vol.9. – pp. 5-18

4. Yong Hu, Mingjun Xiang, Xing Qiu, Pengfei Song, Jingan Song, Fuhua Peng An improved design of inserted tooth finishing hob for involute gears. *Journal of Mechanical Science and Technology*. – 2014. – Vol. 28. – No. 8, – pp. 3203–3208.

5. Борискин, О.И., Стаханов, Н. Г. Астапова, И.В. Анализ погрешностей эвольвентных червячных фрез с твердосплавными сменными многогранными пластинами // Черные металлы. – 2019. – № 1049. – С. 22-27.

6. Борискин, О.И., Стаханов, Н.Г., Хлудов, С.Я., Якушенков, А.В., Горынина, И.В. Применение СМП для червячных зуборезных фрез // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2018. – Вып. 2. – С. 310-314.

REFERENCES

1. Grechishnikov V.A., Domnin P.V. [et al.]. Modern methods for solution of problems in complex cutter shaping // *Machines and Tools*. – 2013. – No.12. – pp. 6-11.

2. Fetvacı M.C. Determination of effective involute parameter limit in generation simulation of gears manufactured by rack-type cutters. *Mechanics & Industry*. – 2017. – Vol.18. – No. 4. – 7 p.

3. Mate M., Hollanda D. About the profile accuracy of the involute gear hob. *Electrical and Mechanical Engineering*. – 2017. – Vol.9. – pp. 5-18

4. Yong Hu, Mingjun Xiang, Xing Qiu, Pengfei Song, Jingan Song, Fuhua Peng An improved design of inserted tooth finishing hob for involute gears. *Journal of Mechanical Science and Technology*. – 2014. – Vol. 28. – No. 8, – pp. 3203–3208.

5. Boriskin, O.I., Stakhanov, N.G., Astapova, I.V. Analysis of errors of involute hob cutters with hard-alloy replaceable polyhedral plates // *Ferrous Metals*. – 2019. – No.1049. – pp. 22-27.

6. Boriskin O.I., Stakhanov N.G., Khludov S.Ya., Yakushenkov A.V., Gorynina I.V. RPP use for hob cutters // *Proceedings of TulaSU. Engineering Sciences*. – 2018. – Issue 2. – pp. 310-314.

Рецензент д.т.н. А.С. Ямников