

УДК 621.914.5.002.54

DOI: 10.30987/article\_5c90a59586f5d2.83422841

**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, д. 92)

E-mail: polytec2010@mail.ru

## **Методы повышения точности эвольвентных червячных фрез с твердосплавными пластинами**

*Рассмотрены мероприятия, позволяющие повысить точность червячного инструмента и эффективность его использования. Выделены основные источники возникающих погрешностей эвольвентных червячных фрез, разработаны приемы и способы, позволяющие их минимизировать. Проведен анализ геометрической точности таких фрез.*

*Предложена конструкция червячной фрезы, позволяющая сократить использование дефицитного твердого сплава. 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.*

**Ключевые слова:** червячная фреза; режущая кромка; профиль зуба; точность; отклонения.

**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)

## **Methods for accuracy increase in involute hob cutters with hard-alloy plates**

*The paper reports the measures allowing the increase of worm tool accuracy and efficiency of its use. Basic reasons of arising errors in involute hob cutters are revealed, techniques and methods allowing their minimization are developed. The analysis of geometrical accuracy of such milling cutters is carried out. There is offered a design of a hob cutter allowing the reduction of critical hard alloy use. In view of the fact that geometrical parameter values specified by a designer are not held during gear milling there was carried out a kinematic analysis which has shown that the geometrical parameter values change in the course of motion, but they do not exceed acceptable limits.*

**Keywords:** hob cutter; cutting edge; tooth profile; accuracy; deviations.

Наиболее перспективным направлением повышения эффективности процесса обработки закаленных зубчатых колёс, является использование сборных червячных фрез с твердосплавными зубьями. Однако их использование может приводить к весьма существенным погрешностям профиля и нарушениям кинематических углов резания.

Исследования проводились для сборных

червячных фрез со стружечными канавками параллельными оси. Такие фрезы являются наиболее технологичными и удобными в эксплуатации. Обычно для таких фрез принимают некоторые допущения, позволяющие упростить работы по проектированию и изготовлению. Традиционно эвольвентный червяк, имеющий в осевом и нормальном сечениях криволинейный профиль, заменяется на архи-

медов, характеризующийся прямолинейным профилем в осевом сечении. Передняя поверхность фрез, оснащенных твердосплавными пластинами, чаще всего выполняется плоской, параллельной оси.

Всё это может приводить к весьма существенным погрешностям профиля зуба и нарушениям кинематических углов резания. В связи с этим авторами статьи рассматриваются основные мероприятия, позволяющие повысить точность таких пластинок и эффективность их использования.

На практике режущие кромки червячных фрез чаще принимают прямолинейными, хотя теоретически должны быть криволинейными.

Предлагается расчёт вести по теоретически точным зависимостям для оценки вариантов принимаемых решений [1 - 5]. По разработанной авторами методике были проведены исследования влияния основных параметров эвольвентных червячных фрез с твердосплавными пластинками при замене теоретически точной криволинейной кромки на прямолинейную.

На рис. 1 представлены максимальные величины погрешностей при изменении основных параметров фрез при  $m = 4$  мм и допустимые значения отклонений их профиля для различных классов точности по ГОСТ 9324-80.

### Максимальное отклонение профиля от теоретического для $m = 4$ мм в зависимости от $da0$ и $\gamma0$

Максимальный допуск на отклонение профиля  $\Delta$  для  $m = 4$  мм по ГОСТ 9324-80

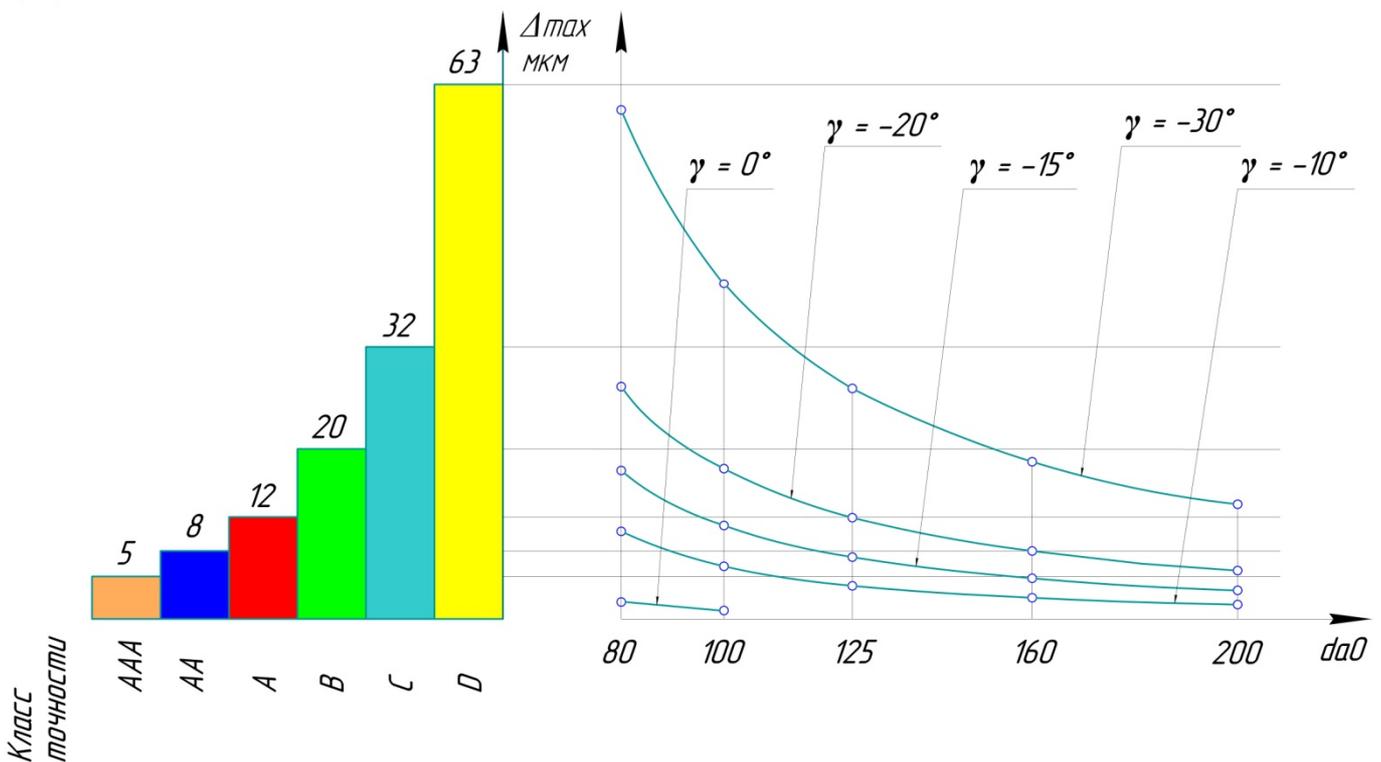


Рис. 1. Максимальное отклонение профиля от теоретического в зависимости от диаметра вершин фрезы и значения переднего угла

Как видно из графика, для того, чтобы получить зубчатые колёса большей точности необходимо, по возможности, использовать фрезы большего диаметра с меньшим значением переднего угла.

Кроме того, для червячных фрез с осевыми канавками, рассчитанный профиль зуба на левой и правой сторонах получается несиммет-

ричным. Так, при повороте такой пластинки вокруг оси на 180° профильные углы будут искажены: там, где должен быть больший профильный угол, будет меньший и наоборот, что соответственно вызовет погрешность профиля. Это ограничивает возможность использования поворотных пластинок.

Для того, чтобы сократить расход дефицит-

ного твердого сплава, авторы статьи предлагают конструкцию сборной червячной фрезы, позволяющую использовать такие пластинки с сохранением расчетного теоретически требуемого профиля (рис. 2). В этом случае необходимо использовать два совершенно одинаковых рабочих корпуса, но один из них будет левозаходный, а другой – правозаходный.

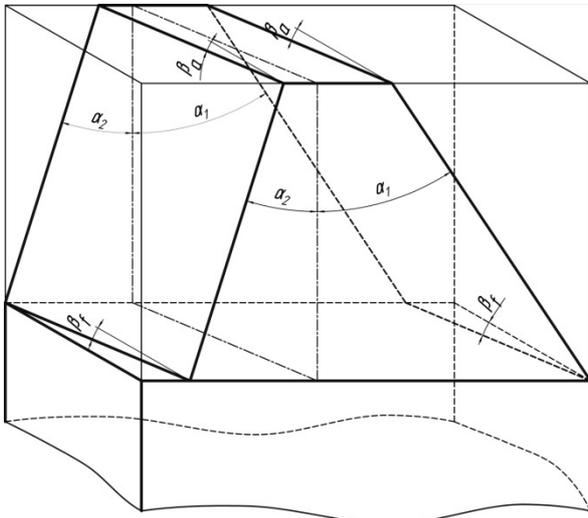


Рис. 2. Форма режущей части поворотной пластины

Следует отметить необходимость маркировать номер пластинки в каждом пазу и номер паза на рабочих и технологическом корпусах, чтобы избежать накопленной погрешности шага.

С точки зрения условий работы пластинок

были проведены исследования кинематических углов. Рассматривались фрезы с плоскими передними поверхностями и задними поверхностями, образующие которых перпендикулярны режущей кромке. Расчет проводился по формулам, выведенным по схеме для общего варианта нарезания колеса червячной фрезой (рис. 3). При этом рабочие углы рассчитывались на профиле зуба в разные моменты вращения фрезы и вдоль всей длины фрезы.

На рис. 4 представлены результаты измерения рабочих передних и задних углов в каждой точке профиля зуба в один из моментов движения при  $\theta = 0$  и  $l = 0$  для расчетного варианта (при  $d_{a0} = 200$  мм;  $m = 4$  мм;  $\gamma_{a0} = -10^\circ$ ;  $z_0 = 1$ ;  $z = 40$ ;  $\beta_0 = 88,8^\circ$ ;  $\beta_d = 20^\circ$ ).

Анализ кинематических углов эвольвентной червячной фрезы показал, что величины геометрических параметров в процессе движения изменяются, и их величины несимметричны на левой и правой сторонах, но они не выходят за пределы приемлемых: задний кинематический угол за весь процесс резания больше  $2^\circ$  и передний рабочий угол меньше  $0^\circ$ .

Таким образом, предложенные рекомендации позволяют обеспечить наиболее высокую точность сборных червячных фрез и дают возможность применять двусторонние зубья пластинки, тем самым сократить расход твердого сплава.

**СХЕМА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЧЕРВЯЧНЫХ ФРЕЗ**

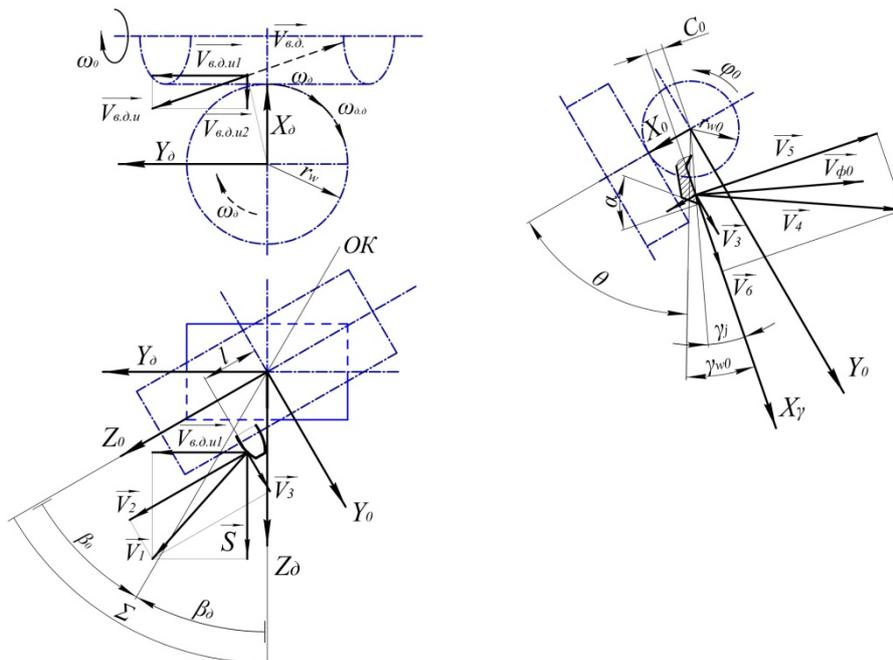


Рис. 3. Схема определения кинематических параметров червячных фрез

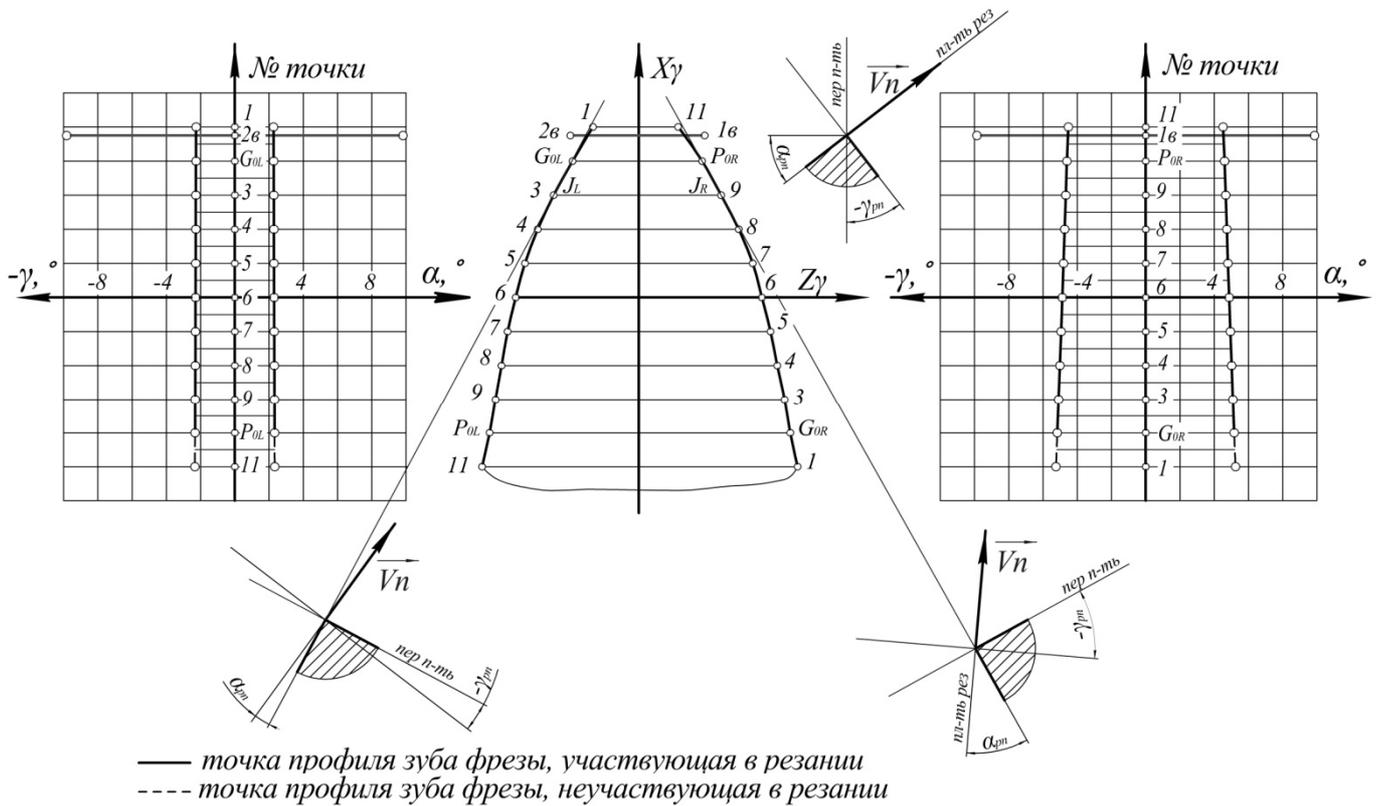


Рис. 4. Изменение кинематических передних и задних углов в расчетных точках профиля при  $l = 0, \theta = 0$  ( $d_{a0} = 200$  мм;  $m = 4$  мм;  $\gamma_{a0} = -10^\circ$ ;  $z_0 = 1$ ;  $z = 40$ ,  $\beta_0 = 88,8^\circ$ ;  $\beta_d = 20^\circ$ )

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горынина, И.В. Метод профилирования червячных фрез для обработки цилиндрических зубчатых деталей // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2017. Вып. 8. Ч. 1. – С. 101–104.
2. Борискин, О.И., Стаханов, Н.Г., Якушенков, А.В., Хлудов, С.Я., Горынина, И.В. Применение СМП для червячных зуборезных фрез // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2018. Вып. 2. – С. 310–314.
3. Борискин, О.И., Стаханов, Н.Г., Якушенков, А.В., Хлудов, С.Я., Горынина, И.В. Особенности формообразования поверхностей эвольвентных червячных фрез с твердосплавными СМП // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2016. Вып.8. Ч1. – С. 72–75.
4. Гречишников, В.А., Домнин, П.В., Косарев, В.А. [и др.] Современные методы решения задач формообразования сложного режущего инструмента // Станки, инструмент. – 2013. – № 12. – С. 6–11.
5. Mate M., Hollanda D. About the profile accuracy of the involute gear hob // Electrical and Mechanical Engineering. 2017. Vol. 9. pp. 5–18

### REFERENCES

1. Gorynina, I.V. Method of hob cutter contouring for cylindrical toothed part machining // *Proceedings of TulaSU. Engineering Sciences*. – 2017. Edition 8. Part.1. – pp. 101-104.
2. Boriskin, O.I., Stakhanov, N.G., Yakushenkov, A.V., Khludov, S.Ya, Gorynina, I.V. SMP application for hob gear-milling cutters // *Proceedings of TulaSU. Engineering Sciences*. – 2018. Edition 2. – pp. 310=314.
3. Boriskin, O.I., Stakhanov, N.G., Yakushenkov, A.V., Khludov, S. Ya., Gorynina, I.V. Shaping peculiarities in surfaces of involute hob cutters with hard-alloy SMP // *Proceedings of TulaSU. Engineering Sciences*. – 2016. Edition 8. Part 1. – pp. 72-75.
4. Grechishnikov, V.A., Domnin, P.V., Kosarev, V.A. [et al.] Current methods for problem solution of complex cutter // *Machines, Tool*. – 2013. – No.12. – pp. 6-11.
5. Mate M., Hollanda D. About the profile accuracy of the involute gear hob // *Electrical and Mechanical Engineering*. 2017. Vol. 9. pp. 5–18

Рецензент д.т.н. А.С. Ямников