

УДК 67.05

DOI: 10.30987/article_5d2d92319a8d00.64590625

В.Э. Парфенов, А.В. Хандожко, А.В. Киричек

КОНСТРУКЦИЯ ЧЕРНОВОЙ ЧЕРВЯЧНОЙ ФРЕЗЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА КРУПНОГО МОДУЛЯ

Проведен анализ существующих конструкций черновых червячных фрез. Предложена специальная конструкция фрезы и методика профилирования черновых червячных фрез для предварительной обработки зубьев зубчатого колеса $m=10$ мм с припуском под шлифование.

Ключевые слова: черновая червячная фреза, высотная коррекция, червячная фреза с двойным зубом, фрезы с протуберанцем, зубчатые колеса, припуск под шлифование.

V.E. Parfenov, A.V. Khandozhko, A.V. Kirichek

DESIGN OF ROUGH HOBGING CUTTER FOR MACHINING OF COG-WHEEL OF LARGE MODULE

For today cog-wheels are widespread parts in mechanical engineering. Hobbing cutters are to machine such parts with an efficient gear-cutting tool. For the preliminary machining of cog-wheel teeth of diesel locomotive wheel-pair $m=10$ mm with the allowance for grinding there are used rough hobbing cutters. At that for the improvement of grinding conditions an allowance must be uneven: larger at the tooth top and less at the dedendum. Therefore special milling cutters are needed for machining cogwheels with the allowance for grinding. The existing solutions are not urgent in the field of limited and small-batch production in connection with high cost and large laboriousness in manufacturing such milling cutters.

The paper reports the analysis of existing designs of rough hobbing cutters and also there is investi-

gated and developed a design and methodology of rough hobbing cutter profiling for the preliminary teeth machining of a cog-wheel $m=10$ mm of a diesel locomotive wheel pair. The most efficient solution is development of a solid rough double tooth hobbing cutter. This solution has a number of both design and engineering advantages.

The modeling of a cutting process allowed offering an efficient circuit of allowance cutting. The analysis carried out has shown that such a design has a number of advantages including economic ones and it may be recommended for practical application.

Key words: rough hobbing cutter, altitude correction, double tooth hobbing cutter, milling cutters with prominence, cog-wheels, allowance for grinding.

Введение

Обработка зубчатых профилей является сложной технологической задачей. Одним из наиболее распространенных и универсальных инструментов для обработки зубчатых венцов являются червячные фрезы. Несмотря на большие теоретические наработки и практический опыт в области зубообработки, вопросы конструирования и профилирования черновых червячных фрез для обработки зубьев колес с крупным модулем и припуском под шлифование все еще актуальны. При этом для улучшения условий шлифования припуск должен быть неравномерным: больше у вершины, меньше у ножки зуба. Поэтому

для обработки колес с припуском под шлифовку нужны специальные фрезы. Они отличаются не только исполнительными размерами, но и конструктивными элементами.

В данной работе рассмотрен один из возможных вариантов решения данной задачи на примере тяговой шестерни тепловозной колесной пары.

Целью работы является разработка эффективной и технологичной конструкции черновой червячной фрезы для обработки зубьев зубчатого колеса $m=10$ мм с припуском под шлифование 0,25 мм на сторону.

Анализ существующих решений

Для обеспечения нужного распределения припуска обычно делают зуборезные червячные фрезы с протуберанцем. Протуберанец обеспечивает небольшой подрез ножки зуба, чтобы уменьшить припуск под шлифование во впадине и износ шлифовального круга. Профиль фрезы при этом усложняется, становится менее технологичным. Проблема обостряется при проектировании и изготовлении инструмента для крупномодульных коррегированных зубчатых передач [1; 5]. В этом случае простое масштабирование конструкции малоэффективно из-за невозможности одновременного затылования всего профиля. Большой объем шлифовально-затыловочных работ приводит к нарушению геометрии из-за износа и засаливания круга. Поэтому, согласно ОСТ 2-И41-3-85, профиль фрезы рекомендуется затыловать многократно, по частям.

Кроме того, при фрезеровании профиля зуба такого модуля возникают неровности (огранка), связанные с ограниченным числом зубьев, формирующих эвольвенту. Эти неровности осложняют проведение шлифовальных операций.

Еще одной проблемой являются большие нагрузки на инструмент, приво-

дящие к тому, что стойкости фрезы в ряде случаев не хватает даже для обработки одного зубчатого колеса [3].

Поэтому при проектировании используют специальные конструкции [4]. Ведущими производителями предпринимаются различные меры конструктивного и технологического характера для повышения режущей способности фрез и их технологичности. Сегодня на рынке представлено большое количество конструктивных решений для реализации подобных задач. Западные компании («Sandvik Coromant», «Ingersoll») предлагают конструкцию черновой сборной червячной фрезы со сменными пластинами, но такое решение является дорогостоящим и крайне трудоемким. Фирма «FETTE» предлагает черновые червячные фрезы со вставными рейками, но подобное решение является нетехнологичным из-за сложности изготовления реек и обработки их в сборе с корпусом [1].

Одно из направлений решения этой задачи – использование конструкции с двойным зубом и сложной схемой срезания припуска.

Профилирование черновой червячной фрезы

Существуют различные варианты протуберанца, но обычно это участок зуба вблизи вершины, на котором профильный угол меньше, чем на основной части (рис. 1). Протуберанец усложняет процесс обработки профиля, который требует проведения многократного затылования различных участков.

Особенностью зубьев колеса является наличие высотной коррекции: коэффициент коррекции $X=0,437$, соответственно высота головки зуба $H=13,75$ мм, ножки – 9,75 мм. Зубчатый венец подвергается закалке токами высокой частоты, а затем шлифованию. Зуб имеет припуск под шлифование с уменьшением в области переходной кривой у ножки зуба. Степень точности зубчатого колеса – 8-А. Угол за-

цепления $\alpha=20^\circ$. Число зубьев $z=75$. Профиль зуба показан на рис. 2.

Профилирование черновой червячной фрезы выполняется в несколько этапов, согласно алгоритму, изложенному в [1].

На первом этапе графоаналитическим методом при помощи пакета КОМПАС-3D был определен профиль инструментальной рейки [2]. Определение профиля происходило следующим образом. Сначала были выполнены расчеты параметров профиля зуба. Полученные результаты построений приведены на рис. 2 и 3. При этом во внимание принималось наличие высотной коррекции и изменяющегося припуска под шлифование в области переходного участка.

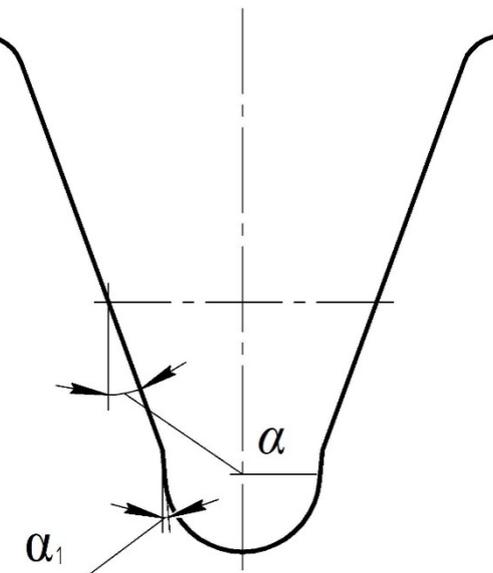


Рис. 1. Зуб фрезы с протуберанцем

Графическое профилирование инструментальной поверхности червячных фрез было выполнено способом копирования последовательных положений профиля зуба. При этом имитируется качение без проскальзывания начальной окружности колеса по начальной прямой рейки. В ходе имитации профиль рейки последовательно смещается и поворачивается таким образом, чтобы начальная прямая коснулась начальной окружности в точке пересечения профиля инструментальной рейки с

начальной окружностью, а прямая, перпендикулярная начальной прямой, совпала с соответствующим радиусом инструмента. Многократное копирование профиля зуба колеса при указанном его смещении соответствует качению начальной прямой инструментальной рейки по начальной окружности колеса. Соединив точки А, В, С и т.д. ломаной, получим огибающую к зубу колеса, т.е. профиль инструментальной рейки (рис. 4).

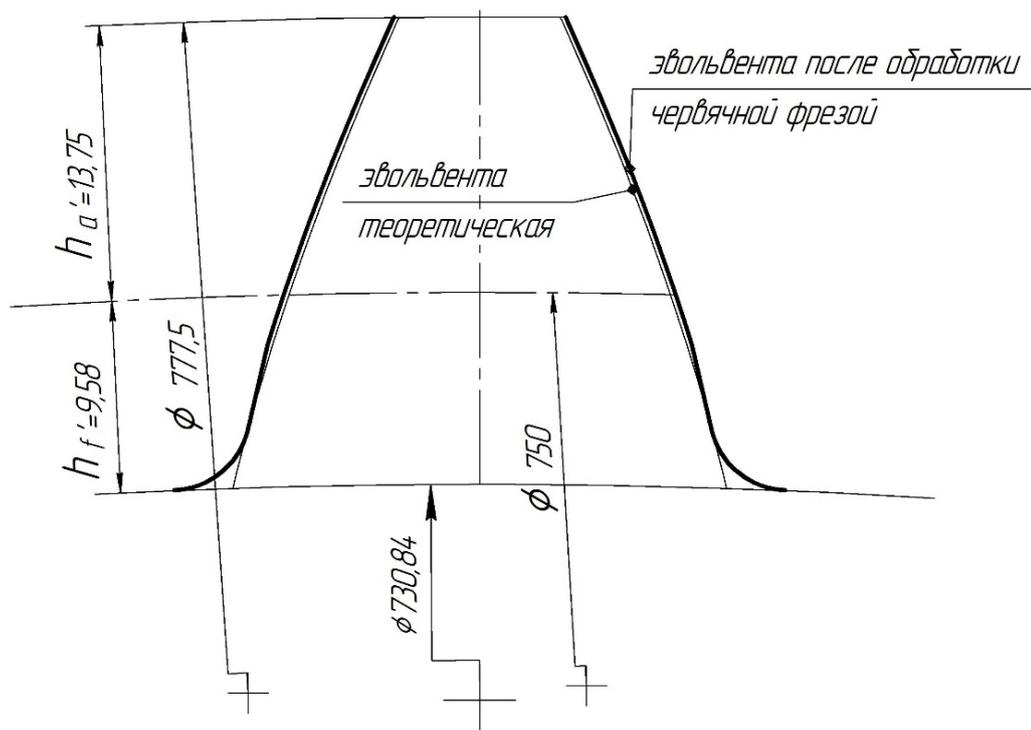


Рис. 2. Профиль зуба обрабатываемого колеса

Из-за заданного подреза вершина зуба рейки получается криволинейной. Криволинейность убирается путем замены ее прямой. Такое упрощение создает погрешность, поэтому на следующем этапе необходимо убедиться, что нарезаемый зуб будет соответствовать заданным требованиям. При помощи аналогичных построений получим профиль детали (путем построения последовательных положений профиля инструментальной рейки).

В одной системе координат изображается теоретическая эвольвента, которую необходимо получить на зубчатом колесе, и результат графического профилирования. Данное построение позволяет определить величину фактического припуска и величину подреза на переходном участке зубчатого колеса.

Методики проектирования чистовых фрез и технологические процессы их изготовления основаны на замене теоретического исходного эвольвентного червяка на эквивалентный (т.е. близкий по точности) архимедов червяк, как более технологичный, а для черновых червячных фрез – конволютный. Конволютный червяк имеет прямолинейную образующую в его нормальном сечении, что позволяет сохранить прямолинейность режущей кромки фрезы при переточках. В качестве инструмен-

тальной поверхности принимаем винтовую поверхность витка однозаходного исходного червяка, которым считают эквивалентный эвольвентному конволютный червяк. Фактический профиль конволютного червяка определяется по [1].

Вычислительный эксперимент, в котором варьировалась форма зуба рейки, позволил найти оптимальный профиль зуба рейки в области протуберанца. В базовом заводском варианте протуберанец прямолинейный с углом 5° . При таком угле практически невозможно получить допустимый задний угол в нормальном сечении, используя радиальное затылование. При такой технологии получается инструмент, имеющий нормальный задний угол менее 1° . Это приводило к большим силам резания и быстрому изнашиванию зубьев фрезы. В ходе вычислительного эксперимента определялась будущая погрешность профиля зуба в области ножки, возникающая при варьировании угла протуберанца. В итоге была подобрана форма, которая давала теоретическую погрешность $0,006$ мм. Профильный угол на протуберанце в этом случае составляет 16° . При такой форме задний угол в опасной точке зуба близок к рекомендуемым предельным значениям. Полученный профиль зуба инструментальной рейки представлен на рис. 4.

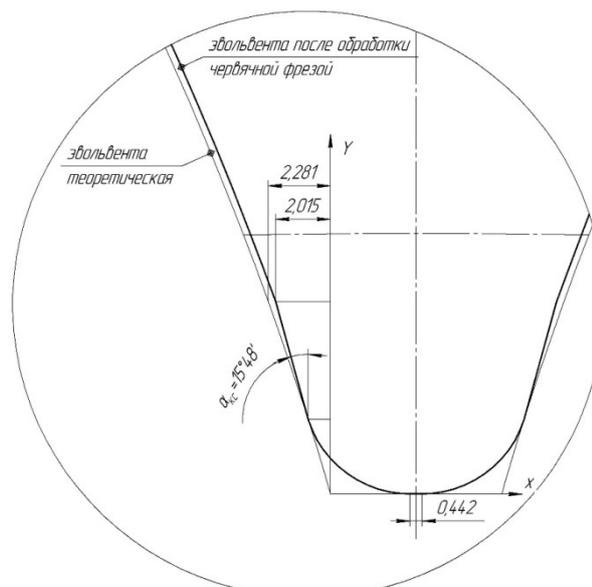


Рис. 3. Переходный участок профиля зуба между диаметром поднутрения и диаметром впадин зубчатого колеса

Полученный профиль фрезы не технологичен. Излом профиля, радиусные скругления вершины зуба требуют многократного затылования (3-5 раз) сложно-профильным инструментом, чаще шлифовальным кругом. Для решения этой проблемы предлагается червячная фреза с двойным зубом. Профиль зуба инструментальной рейки и конструктивное исполнение фрезы представлены на рис. 5. Фреза вместо одного зуба с ломаным профилем имеет две группы зубьев с одинаковыми профильными углами – 20° и $15^\circ 48'$ – и прямолинейным профилем. Данное решение обладает рядом как конструкторских, так и технологических преимуществ.

При такой конструкции фрезы двойное затылование выполнить крайне слож-

но. Однако существует практика успешного использования для черновой обработки фрез, затылованных только резцом. Вместо многократного затылования каждого зуба (3-5 раз) сначала затылуются зубья одного профиля 2-3 раза, потом другого (через один) [5].

По сравнению с фрезами, имеющими двойное затылование, конструкция позволяет существенно увеличить число режущих зубьев, а значит, уменьшить огранку шлифуемого профиля зуба. Уменьшение этой огранки в значительной мере компенсирует снижение точности профиля зуба из-за отказа от операции затылования шлифовальным кругом.

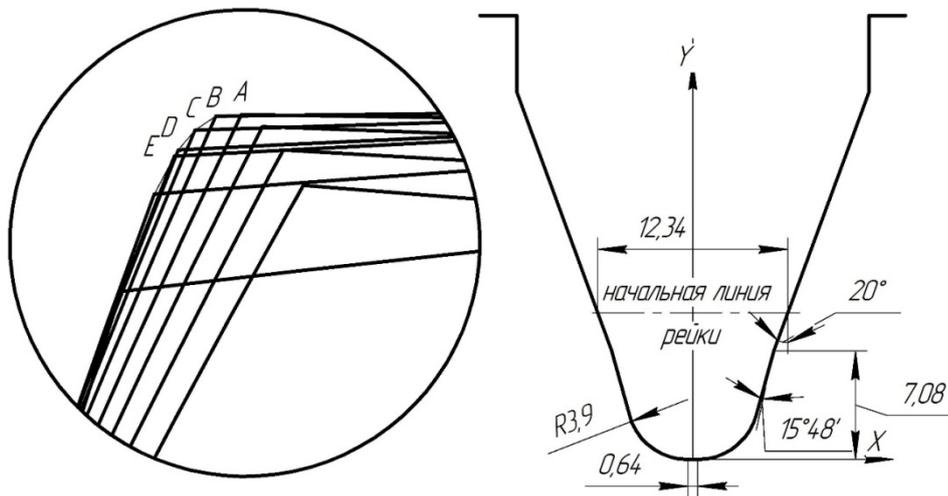


Рис. 4. Профилирование инструментальной рейки на ЭВМ

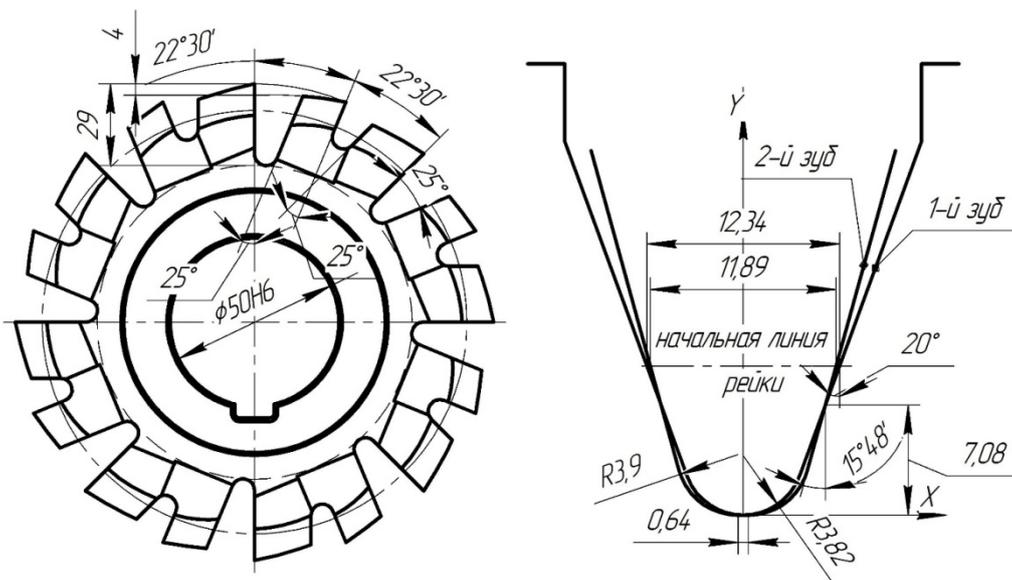


Рис. 5. Конструкция черновой червячной фрезы с двойным зубом

Заключение

Предлагаемая конструкция черновой червячной фрезы имеет ряд преимуществ перед существующими решениями.

Цельная фреза намного проще составных, а тем более сборных конструкций. Отказ от операции затылования шлифовальным кругом позволяет существенно упростить изготовление инструмента. Некоторое снижение точности в значительной мере компенсируется увеличением числа режущих зубьев и, соответственно, уменьшением огранки обрабатываемого зубчатого колеса.

С точки зрения технологии конструкция является очень удачной. Некоторым недостатком является поочередное затылование сначала зубьев № 1, а потом № 2. Но при этом затылование выполняет-

ся простыми по форме резцами, которые несложно переточить, а режущие свойства их из-за отсутствия излома намного лучше.

Моделирование процесса резания позволило предложить рациональную схему срезания припуска: первым зубом обрабатывается боковая поверхность зубьев, вторым – переходный участок и впадина, в результате чего на зубе остается припуск под шлифование 0,25 мм на сторону. При шлифовании такого профиля зуба отсутствует подрез ножки. Проведенный анализ показывает, что такая конструкция обладает рядом преимуществ, в том числе и с экономической точки зрения, и может быть рекомендована для практического использования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Парфенов, В.Э. Профилирование черновых червячных фрез для обработки зубчатого колеса тепловозной передачи / В.Э. Парфенов, Н.Н. Сенькова // *Материалы 70-й студенческой научной конференции*. - Брянск: БГТУ, 2015. - С. 101-103.
2. Kirichek, A.V. Geometrical modeling of metal forming processes with local contact of tool and preform / A.V. Kirichek, A.N. Afonin, K.V. Ivanov // *Kuznechno-Shtampovochnoe Proizvodstvo (Obработка Metallov Davleniem)*. - 2004. - № 9. - P. 21-25.
3. Kirichek, A.V. Stress-Strain State of the Thread-Milling Tool and Blank / A.V. Kirichek, A.N. Afonin // *Russian Engineering Research*. - 2007. - Vol. 27. - № 10. - P. 715-718.
4. Kozlov, A. Technological system self-tuning when milling / A. Kozlov, E. Kiryuschenko, A. Kirichek // *International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment*. - 2017. - Vol. 129. - P. 4.
5. Шешков, А.Е. Разработка черновой червячной фрезы для обработки зубчатого колеса крупного модуля / А.Е. Шешков, В.Э. Парфенов, Н.Н. Парфенова, А.В. Хандожко, А.В. Киричек // *Машиностроение и техносфера XXI века: сб. тр. XXV междунар. науч.-техн. конф.: в 2 т.* - Донецк: ДонНТУ, 2018. - Т. 2. - 363 с.
1. Parfenov, V.E. Rough hobbing cutters for diesel locomotive gear cog-wheel milling / V.E. Parfenov, N.N. Senkova // *Proceedings of the 70-th Student Scientif. Conf.* - Bryansk: BSTU, 2015. - pp. 101-103.
2. Kirichek, A.V. Geometrical modeling of metal forming processes with local contact of tool and preform / A.V. Kirichek, A.N. Afonin, K.V. Ivanov // *Kuznechno-Shtampovochnoe Proizvodstvo (Obработка Metallov Davleniem)*. - 2004. - № 9. - P. 21-25.
3. Kirichek, A.V. Stress-Strain State of the Thread-Milling Tool and Blank / A.V. Kirichek, A.N. Afonin // *Russian Engineering Research*. - 2007. - Vol. 27. - № 10. - P. 715-718.
4. Kozlov, A. Technological system self-tuning when milling / A. Kozlov, E. Kiryuschenko, A. Kirichek // *International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment*. - 2017. - Vol. 129. - P. 4.
5. Steshkov, A.E. Development of rough hobbing cutter for milling of cog-wheel of large module / A.E. Steshkov, V.E. Parfenov, N.N. Parfenova, A.V. Khandozhko, A.V. Kirichek // *Mechanical Engineering and Technosphere of the XXI-st Century: Proceedings of the XXV-th Inter. Scientif.-Tech. Conf.: in 2 Vol.* - Donetsk: DonNTU, 2018. - Vol.2. - pp. 363.

Статья поступила в редакцию 21.06.19

Рецензент: д.т.н., профессор Липецкого государственного технического университета

Козлов А.М.

Статья принята к публикации 27. 06. 19.

Сведения об авторах:

Парфенов Владимир Эдуардович, аспирант Брянского государственного технического университета, научный сотрудник, e-mail: parfenov.lvdu@mail.ru.

Хандожко Александр Владимирович, д.т.н., доцент Брянского государственного технического университета, начальник отдела ОМТО, e-mail: chandosh@yandex.ru.

Parfenov Vladimir Eduardovich, Post graduate student, Bryansk State Technical University, e-mail: parfenov.lvdu@mail.ru.

Kandozhko Alexander Vladimirovich, Dr. Sc. Tech., Assistant Prof., Bryansk State Technical University, e-mail: chandosh@yandex.ru.

Киричек Андрей Викторович, д.т.н., профессор, проректор по перспективному развитию Брянского государственного технического университета, тел.: (4832)51-51-38, e-mail: avk@tu-bryansk.ru.

Kirichek Andrey Victorovich, Dr. Sc. Tech., Prof., Pro-rector for Promising Development, Bryansk State Technical University, e-mail: avk@tu-bryansk.ru.