

УДК 621.9.025

DOI 10.22213/2413-1172-2017-2-82-84

**Е. А. Рябов**, Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского) федерального университета  
**С. Ю. Юрасов**, кандидат технических наук, доцент, Набережночелнинский институт (филиал)  
 Казанского (Приволжского) федерального университета  
**А. Г. Кондрашов**, кандидат технических наук, Набережночелнинский институт (филиал)  
 Казанского (Приволжского) федерального университета

## СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ ЧЕРВЯЧНОЙ ЗУБОРЕЗНОЙ ФРЕЗЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ЗУБЧАТОЙ РЕЙКИ

Сегодня активно развиваются оптические измерительные системы для определения точных геометрических параметров деталей сложного профиля. Однако подобные системы, основанные на принципе триангулирования, требуют для предоставления отчета на точную трехмерную модель сканируемой детали. Контроль параметров червячной фрезы относится к сложным задачам. На производстве на сегодняшний день наиболее распространен контроль по косвенным признакам и при помощи шаблонов [1]. Шаблоны изготавливаются на основании расчетов по приближенным формулам, что не дает точной картины. Точность изготовления червячных фрез требует качества измерения в пределах 3 мкм [2], существующая методика дает точность в пределах 10...15 мкм в зависимости от сложности изготавливаемого инструмента, система ATOSIII. Rev.02. заявляет точность 4 мкм, что делает перспективным исследование точности с применением подобной системы.

Моделирование инструмента начинается с создания расчетного модуля и расчетов основных его параметров для конкретной фрезы [3]. Для червячных фрез, основанных на архимедовой спирали, можно выделить 3 различных методики, дающие разный результат при построении профиля режущей кромки. Использование ГОСТ 9324–80 [4] не дает полных формул для расчета геометрических характеристик режущей части фрезы. Стандартные формулы, используемые в большинстве случаев [5, 6], очень сложны для использования в автоматизированных расчетах. Существует методика автоматизированного проектирования, представленная В. В. Токаревым [7]. Также была собственная методика проектирования на предприятии, основанная на использовании эквивалентного колеса [8, 9]. Для сохранения преемственности в конструировании на предприятии была автоматизирована именно последняя методика.

Основное отличие в методиках наступает при расчете высоты профиля зуба в осевом сечении, расчетах фланков и протуберанцев.

Угол фланка находится по формуле

$$A_{f2} = \text{round}(Q_1 + \Psi), \quad (1)$$

где  $Q_1$  – угол фаски на шестерни;  $\Psi$  – половина угловой толщины зуба на диаметре начала фаски, и

$$\Psi = \frac{Sn_1}{D_{1e}} + \text{inv}(a) - \text{inv}(a_e); \quad (2)$$

$Sn_1$  – толщина зуба обрабатываемого колеса на делительном диаметре;  $D_{1e}$  – диаметр эквивалентного колеса.

Эквивалентным колесом признается прямозубое колесо, у которого винтовой зуб компенсируется вводом дополнительного коэффициента эквивалентности:

$$e = \frac{\text{inv}(a_t)}{\text{inv}(a)}, \quad (3)$$

где  $\text{inv}(a_t)$  – инволюта торцового угла;  $\text{inv}(a)$  – инволюта угла исходного контура. Отсюда диаметр эквивалентного колеса находится по формуле

$$D_{1e} = mz_1 e. \quad (4)$$

Высота фланка рассчитывается через высоту начала фаски на колесе.

Величина протуберанца задается конструктором. Особенностью изготавливаемых фрез является круглая вершина, которая дает возможность задать высоту начала протуберанца  $H_{ys}$  и радиус при вершине  $R_{a0}$  аналитическим образом:

$$H_{ys} = \left( 2R_{a0} \cos(a_{ys}) + \right. \\ \left. + 2(H_{zr} + R_{a0} \sin(a_{ys})) \tan(a_{ys}) - S_{n0} \right) / \\ \left( 2(\tan(a_{ys}) - \tan(a)) \right), \quad (5)$$

где  $H_{zr}$  – высота центра радиуса вершины фрезы;  $a_{ys}$  – угол протуберанца (обычно берут равным 10 градусам);  $S_{n0}$  – толщина зуба фрезы на делительном диаметре.

После определения основных параметров фрезы построение начинается с контура фрезы (рис. 1).

Контур фрезы в автоматическом режиме рассчитывается по параметрам обрабатываемого колеса по методике, изложенной Токаревым [10]. После чего в параметрическом виде задается винтовая линия вокруг оси червяка для червячных фрез с винтовой

стружечной канавкой, которая вырождается в прямую (осевая канавка) при расчетных значениях угла меньше 6 градусов. В торцовом сечении строится эскиз стружечной канавки, заметаемый вдоль направляющей винтовой линии [11]. Массив данных канавок вычитается из тела заготовки инструмента. Строится кривая падения затылка при одинарном или двойном затыловании, а также винтовая направляющая с шагом захода фрезы (см. рис. 1).

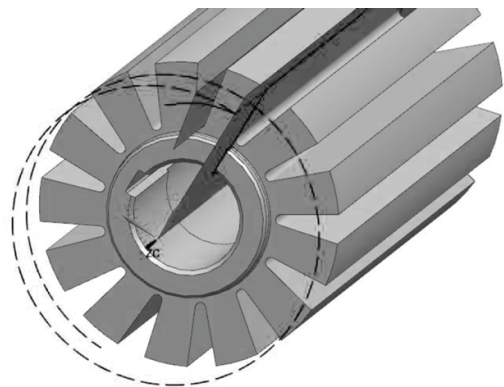


Рис. 1. Заготовка червячной фрезы с нарезанными стружечными канавками

Далее есть несколько способов построения. Было испробовано 2 метода, которые первым шагом предполагают создание эскиза зубьев в осевом сечении, что соответствует методу построения архимедова червяка. Один из них предполагает создание профиля  $n$  зубьев, где  $n$  – число заходов червячной фрезы, с последующим заметанием вдоль винтовой направляющей с шагом захода. Подобный метод ввиду несовершенства инструмента «заметание» после тщательной оптимизации модели до допуска построения в 0,6 мкм так и не дал стабильного результата, особенно при числе заходов свыше 2. Пришлось использовать аппроксимирующий метод с использованием эквивалентной рейки (рис. 2), когда профиль в осевом сечении получается путем пересечения рейки, расположенной под расчетным углом наклона винтовой линии, с телом червяка. В таком случае червяк стал выдавать стабильное перестроение вплоть до 5 заходов и органическую погрешность не более 3 мкм для червяков до 3 заходов.

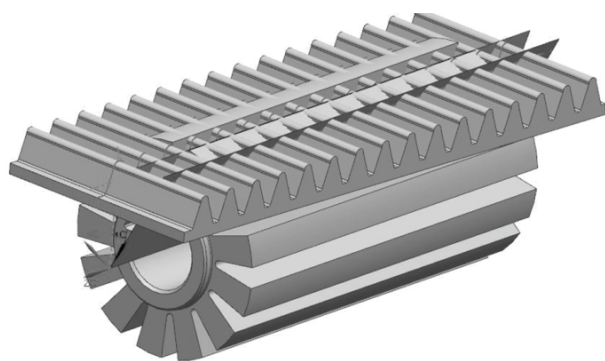


Рис. 2. Образование профиля зубьев на передней поверхности

Последний этап – заметание полученного профиля вдоль винтовой направляющей и отсечение излишка материала полученной поверхностью (рис. 3). Для вариантов фрез используется операция «подавление по выражению», которая по выбору конструктора должна выдавать один из возможных вариантов. В данной модели такими параметрами были: наличие заборного конуса, вид шпоночного паза и направление вращения витков. Для последнего параметра добавляется еще одна операция – «зеркальный массив».

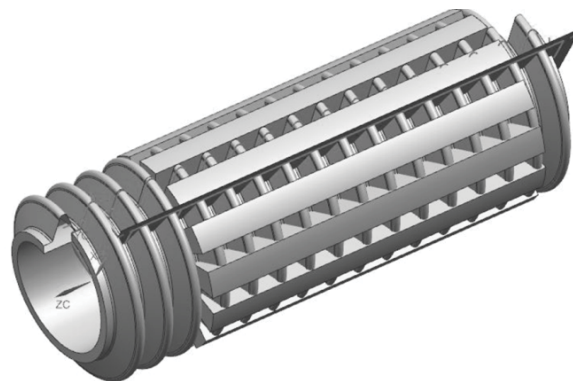


Рис. 3. Получение зубьев фрезы

Последней стадией создания параметрической модели становится создание диалогового проектирования (рис. 4).

Данное окно разделено на 3 пункта: первый – обязательные данные, необходимые для автоматизированного расчета, второй – данные, изменяемые в ручном режиме конструктором исходя из собственных соображений, третий – сводные данные о фрезе. При автоматизированном расчете значения в ручном режиме отображаются как нулевые, то есть не подвергнутые изменениям.

Модель имеет ряд ограничений на недопустимые значения, однако если невнимательно подойти к редактированию модели, то в некоторых случаях возникают недопустимые пересечения и разрывы, связанные с неточностью расчета аппроксимирующих кривых. Так, система NX 8.5, в которой создавалась данная модель, не позволяет строить элементы с точностью, превышающей 3 нм. В общем объеме это не выглядит существенным, однако для корректного отображения каждое следующее действие должно быть менее точным, чем предыдущее. При проектировании фрезы в первый раз было исполнено 54 операции, конечная точность которых составила 27 мкм, что было признано неудовлетворительным. После перестроения количество операций в построении удалось сократить до 38, из которых 6 постоянно подавлены по выражению с общей точностью построения не менее 6 мкм, что было признано достаточным.

Для сравнения реального инструмента с полученной моделью применялся сканер ATOSIII. Rev.02. Несмотря на максимальную точность построения в 4 мкм, нанесение матирующего элемента, а также неточности, связанные с глубиной измеряемого

рельефа, общая адекватность измерения была принята в размере 0,01 мм. В результате были получены температурные карты и показания в контрольных точках, которые не дали однородной картины. На основании полученных данных отклонения были признаны случайными. Причину отклонения выявить

не удалось. Максимальное удаление не превышало 0,05. По результатам стандартного контроля качества отклонение от теоретически точного шаблона не превышало 5 мкм. Модель инструмента была признана адекватной, а методика измерения с использованием ATOSIII. Rev.02 – требующей доработки.

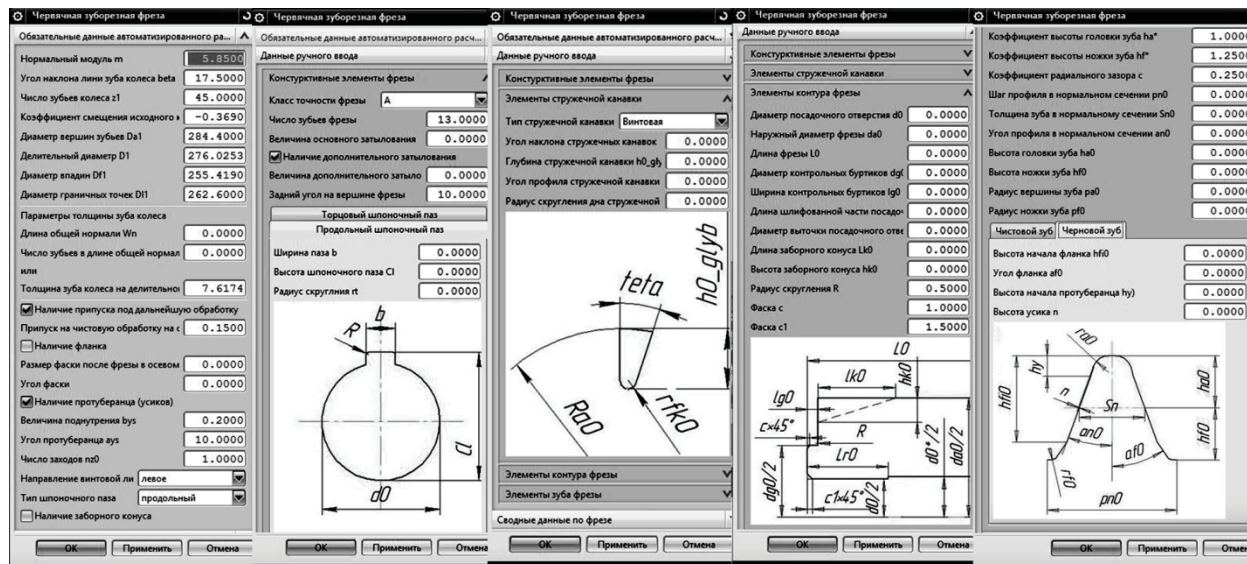


Рис. 4. Полная развертка диалогового проектирования фрезы

#### Библиографические ссылки

1. Основы проектирования режущих инструментов с применением ЭВМ / П. И. Ящерицын, Б. И. Сеницын, Н. И. Жигалка [и др.]. – МИН-ЖК ; Высш. шк., 1979. – 304 с.
2. Справочник инструментальщика / И. А. Ординарцев, Г. В. Филиппов, А. Н. Шевченко [и др.]. – Л. : Машиностроение, 1987. – 846 с.
3. ГОСТ 9324–80. Фрезы червячные чистовые однозаходные для цилиндрических зубчатых колес с эвольвентным профилем. Технические условия. – М., 1981. – 46 с.
4. Там же.
5. Романов В. Ф. Расчеты зуборезных инструментов. – М. : Машиностроение, 1969. – 251 с.
6. Медведицков С. Н. Червячно-модульные фрезы с новыми схемами резания // Высокопроизводительное резание в машиностроении. – М. : Машиностроение, 1966. – С. 301–308.

7. Червячные зуборезные фрезы : учеб. пособие / В. В. Токарев, Г. Г. Скребнев, А. Т. Нарожных [и др.] / Волгоград : ВолгГТУ, 1998. – 136 с.
8. Патент РФ на полезную модель № 92370 МПК В23С 5/20. Фреза червячная сборная / А. Г. Кондрашов, Р. М. Хисамутдинов, Ю. Ф. Белугин. – Заявка № 2009139672/22 от 27.10.2009. – Оpubл. 20.03.2010, Бюл. № 8.
9. Расчет и конструирование режущего инструмента : учеб. пособие для выполнения курсовой работы по спец. «Режущий инструмент» студентами спец. 151001, 151002 и 151003 дневной, вечерней и заочной форм обучения / В. А. Гречишников, С. Н. Григорьев, А. Г. Кондрашов, Д. Т. Сафаров [и др.] / под общ. ред. канд. техн. наук, доцента А. Г. Кондрашова. – Набережные Челны : Изд-во Набережночелнинского института (филиала) Казанского (Приволжского) федерального университета, 2013. – 170 с.
10. Червячные зуборезные фрезы.
11. Данилов Ю., Артамонов И. Практическое использование NX. – М. : ДМК Пресс, 2011. – 332 с.

Получено 24.04.2017