

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАТЫЛОВАНИЯ ЗУБЬЕВ ЧЕРВЯЧНОЙ МОДУЛЬНОЙ ФРЕЗЫ

С.П. АНДРОСОВ, канд. техн. наук, доцент
Д.В. ВИЗИГИН, магистрант
(ОмГТУ, г. Омск)

Поступила 16 мая 2013 года

Рецензирование 20 июня 2013 года

Принята к печати 25 июня 2013 года

Андросов С.П. – 644050, г. Омск, пр. Мира, д. 11,
Омский государственный технический университет,
e-mail: asp57@list.ru

Рассматриваются вопросы моделирования червячной модульной фрезы для нарезания цилиндрических зубчатых колес в пространственном отражении. Определено уравнение угла затылования зубьев фрезы. Получены уравнения винтовых затылованных поверхностей зубьев фрезы, выраженные параметрическими векторными функциями. Разработана компьютерная программа для расчета и построения модели фрезы с затылованными зубьями с использованием объектно-ориентированного языка *AchionScript 3*. Приводится пример расчета и построения 3D-модели червячной фрезы.

Ключевые слова: червячная фреза, затылованная поверхность зуба, моделирование, векторная функция.

Введение

Проектирование червячных модульных фрез, предназначенных для обработки винтовых поверхностей косозубых цилиндрических зубчатых колес с учетом их конструктивных особенностей, требований к эксплуатации и производству представляет собой достаточно сложную и трудоемкую задачу. Решение такой задачи возможно только на основе широкого использования средств вычислительной техники и создания САПР режущего инструмента (РИ).

В работе [1] приводятся перспективные и актуальные направления САПР РИ, к которым наряду с другими относятся: использование методов математического моделирования и визуализация проектирования. Разработка пакетов прикладных программ для расчета сложного РИ на ЭВМ, как отмечено в работе [2], позволяет резко сократить затраты конструкторского труда и повысить качество проектирования РИ. Визуализация проектирования путем использования графических моделей и математических зависимостей делает процесс проектирования наглядным, а в некоторых случаях дает возможность быстро получать оптимальное решение.

Следует отметить, что несмотря на достаточно широкую теоретическую проработку процесса

зубофрезерования в настоящее время существует ряд нерешенных вопросов в моделировании формообразования зубчатых колес. Например: анализ геометрии зубьев червячной фрезы, кинематический анализ процесса зубообработки с учетом всех пространственных движений фрезы и заготовки, анализ силового нагружения режущих кромок фрезы. Это обусловлено тем, что теория формообразования основана на рассмотрении плоской задачи зацепления исходной производящей рейки фрезы и зубчатого колеса. Для исследования процесса формообразования в пространственном отражении требуются объемные модели как червячной фрезы, так и зубчатого колеса. В связи с этим разработка аналитической 3D-модели червячной фрезы, позволяющей воспроизводить точную геометрию, выполнять исследование кинематики и динамики, а также решать вопросы формообразования при зубофрезеровании, является актуальной задачей.

Данная работа является продолжением исследований [3–6] по созданию аналитической модели червячной модульной фрезы. Ее цель заключается в определении уравнений боковых затылованных поверхностей зубьев червячной фрезы в матрично-векторной форме и разработки компьютерной модели фрезы.

Теория

Затылование зубьев червячной модульной фрезы производится для создания задних углов по всему контуру зубьев. Затылованные поверхности должны соответствовать следующим требованиям: проходить через режущие кромки; их винтовой шаг должен отличаться от винтового шага исходного основного червяка [7]. Для образования задней затылованной поверхности зубьев необходимо их режущим кромкам сообщить сложное движение, состоящее из равномерного вращения относительно оси фрезы и поступательного движения вдоль этой оси, а также равномерного поступательного радиального перемещения к центру фрезы. В результате происходит затылование по спирали Архимеда. Затылованная поверхность зуба фрезы описывается совокупностью кривых Архимеда. При этом обеспечивается образование задних углов во всех точках режущих кромок. При переточке по передней поверхности их форма в радиальном сечении будет оставаться неизменной. Этим объясняется основное достоинство фрезы, которое заключается в том, что она дает постоянный и идентичный профиль обрабатываемой детали за весь период своей эксплуатации.

Процесс затылования рассмотрим на примере архимедовой червячной фрезы, профиль зуба в осевом сечении которой показан на рис. 1.

Форма режущей кромки червячной модульной фрезы определяется как линия пересечения поверхности основного червяка и передней поверхности стружечной канавки, уравнения которых приведены в работах [3–4]. Уравнение режущих кромок зубьев фрезы имеет вид [6]

$$\vec{r}(i, j, k, n) = \begin{bmatrix} -R \sin \varphi_p \\ y(i, n) \left(\frac{a_k}{a_q + a_k} \right) \\ R \cos \varphi_p \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где φ_p – параметрический угол, определяющий положение точек режущих кромок; $\varphi_p = -\frac{y(i, n)}{a_q + a_k}$;

R – текущий радиус, изменяющийся в пределах от радиуса впадин R_{f0} до радиуса вершин R_{a0} (рис. 1); $y(i, n)$ – текущая координата профиля вдоль оси фрезы O_0V_0 ; a_k – винтовой параметр стружечной канавки; a_q – винтовой параметр основного червяка; i – номер вектора на зубе фрезы; j – номер зуба на рейке фрезы; k – номер рейки на фрезе; n – количество точек на векторе.

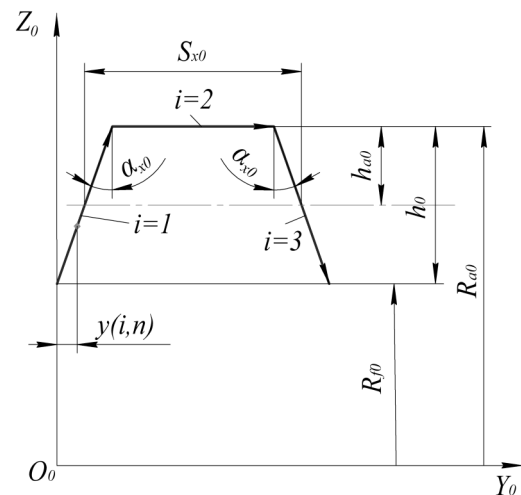


Рис. 1. Профиль зуба фрезы:

α_{x0} – угол профиля основного червяка; h_0 – высота зуба фрезы; h_{a0} – высота головки зуба фрезы; S_{x0} – толщина зуба по делительной линии

Задние затылованные поверхности зубьев фрезы описываются векторной функцией

$$\vec{r}_3(i, j, k, n) = [M] \vec{r}(i, j, k, n), \quad (2)$$

где $[M]$ – матрица преобразования поворотных движений против часовой стрелки вокруг оси O_0V_0 и поступательных движений вдоль этой оси и радиальных перемещений к центру фрезы.

Матрица $[M]$ имеет вид

$$[M] = \begin{bmatrix} \cos \varphi_3 & 0 & -\sin \varphi_3 & \Delta k \sin \varphi_3 \\ 0 & 1 & 0 & a_3 \varphi_3 \\ \sin \varphi_3 & 0 & \cos \varphi_3 & -\Delta k \cos \varphi_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где Δk – радиальное перемещение, соответствующее величине затылования поверхности зуба (рис. 2); φ_3 – параметрический угол затылования, $0 \leq \varphi_3 \leq \varphi$.

Значение Δk для текущего значения радиуса определяется выражением

$$\Delta k = b_1 \varphi_3, \quad (4)$$

где b_1 – постоянная затылования для текущего значения радиуса R . Параметр b_1 вычисляется по формуле

$$b_1 = \frac{b}{\eta}, \quad (5)$$

где $\eta = \frac{R_{a0}}{R}$; b – постоянная затылования для наружного цилиндра фрезы.

В результате векторные функции, описывающие боковые винтовые затылованные поверхности зубьев фрезы, запишутся:

$$\bar{r}_{з.лев}(1, j, k, n) = \begin{bmatrix} -R \sin \varphi_{\Phi} + \Delta k \sin \varphi_3 \\ y(1, n) \left(\frac{a_k}{a_{\Phi} + a_k} \right) + \left(\frac{P_{x0} - \Delta P_{x.лев}}{2\pi} \right) \varphi_3 \\ R \sin \varphi_{\Phi} - \Delta k \sin \varphi_3 \\ 1 \end{bmatrix}; \quad (14)$$

$$\bar{r}_{з.пр}(3, j, k, n) = \begin{bmatrix} -R \sin \varphi_{\Phi} + \Delta k \sin \varphi_3 \\ y(3, n) \left(\frac{a_k}{a_{\Phi} + a_k} \right) + \left(\frac{P_{x0} + \Delta P_{x.пр}}{2\pi} \right) \varphi_3 \\ R \sin \varphi_{\Phi} - \Delta k \sin \varphi_3 \\ 1 \end{bmatrix},$$

где $\Delta P_{x.лев} = K_p \operatorname{tg} \alpha_{лев}$; $\Delta P_{x.пр} = K_p \operatorname{tg} \alpha_{лев}$.

Формулы (14) зубьев описывают боковые затылованные поверхности первой рейки. Поверхности зубьев последующих реек описываются векторными функциями:

$$\begin{aligned} \bar{r}_{з.пр}^*(1, j, k, n) &= [M_1] \bar{r}_{з.пр}(1, j, k, n); \\ \bar{r}_{з.лев}^*(3, j, k, n) &= [M_1] \bar{r}_{з.лев}(3, j, k, n), \end{aligned} \quad (15)$$

где $\delta(k) \delta(k)$ – смещение одноименных точек профиля каждой из реек по виткам спирали вдоль оси $O_0 Y_0$; $\xi(k)$ – угол между зубом первой рейки и зубьями последующих реек в торцевом сечении фрезы; $[M_1]$ – матрица поворота против часовой стрелки и смещения вдоль оси $O_0 Y_0$:

$$[M_1] = \begin{bmatrix} \cos \xi(k) & 0 & -\sin \xi(k) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \delta(k) \\ \sin \xi(k) & 0 & \cos \xi(k) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (16)$$

Окончательно после необходимых преобразований векторные функции, описывающие боковые затылованные поверхности всех зубьев червячной фрезы, принимают вид

$$\begin{aligned} \bar{r}_{з.лев}^*(1, j, k, n) &= \\ &= \begin{bmatrix} -R \sin(\varphi_{\Phi} + \xi(k)) + \Delta k \sin(\varphi_3 + \xi(k)) \\ y(1, n) \left(\frac{a_k}{a_{\Phi} + a_k} \right) + \left(\frac{P_{x0} - \Delta P_{x.лев}}{2\pi} \right) \varphi_3 + \delta(k) \\ R \cos(\varphi_{\Phi} + \xi(k)) - \Delta k \cos(\varphi_3 + \xi(k)) \end{bmatrix}; \end{aligned}$$

$$\bar{r}_{з.пр}^*(3, j, k, n) =$$

$$= \begin{bmatrix} -R \sin(\varphi_{\Phi} + \xi(k)) + \Delta k \sin(\varphi_3 + \xi(k)) \\ y(3, n) \left(\frac{a_k}{a_{\Phi} + a_k} \right) + \left(\frac{P_{x0} + \Delta P_{x.пр}}{2\pi} \right) \varphi_3 + \delta(k) \\ R \cos(\varphi_{\Phi} + \xi(k)) - \Delta k \cos(\varphi_3 + \xi(k)) \end{bmatrix}. \quad (17)$$

Результаты моделирования и обсуждение

Для расчета и построения трехмерной модели червячной модульной фрезы с затылованными разработана компьютерная программа с использованием средств объектно-ориентированного языка *AchionScript 3*. На рис. 3 показаны затылованные зубья червячной фрезы. Главное окно компьютерной программы представлено на рис. 4. Блок-схема расчета и построения модели червячной фрезы приведена на рис. 5.

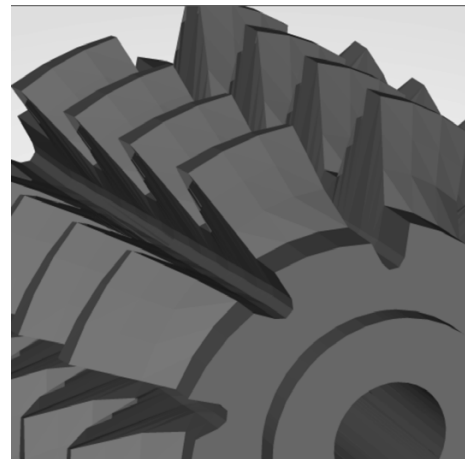


Рис. 3. Затылованные зубья червячной фрезы

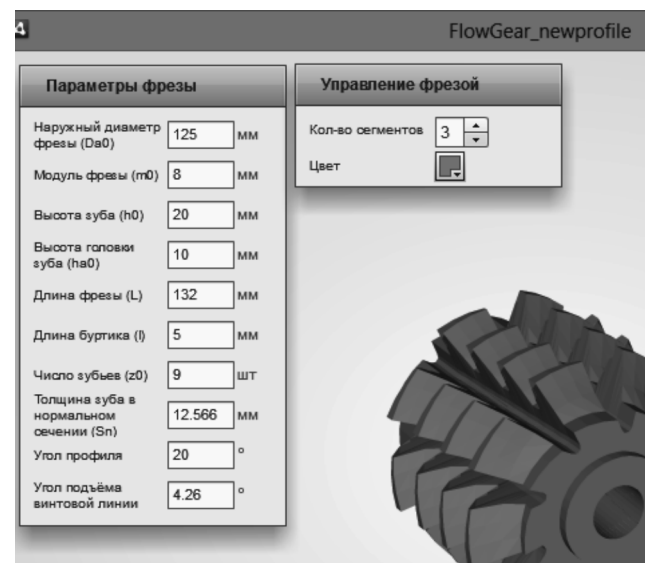


Рис. 4. Главное окно компьютерной программы для червячной фрезы

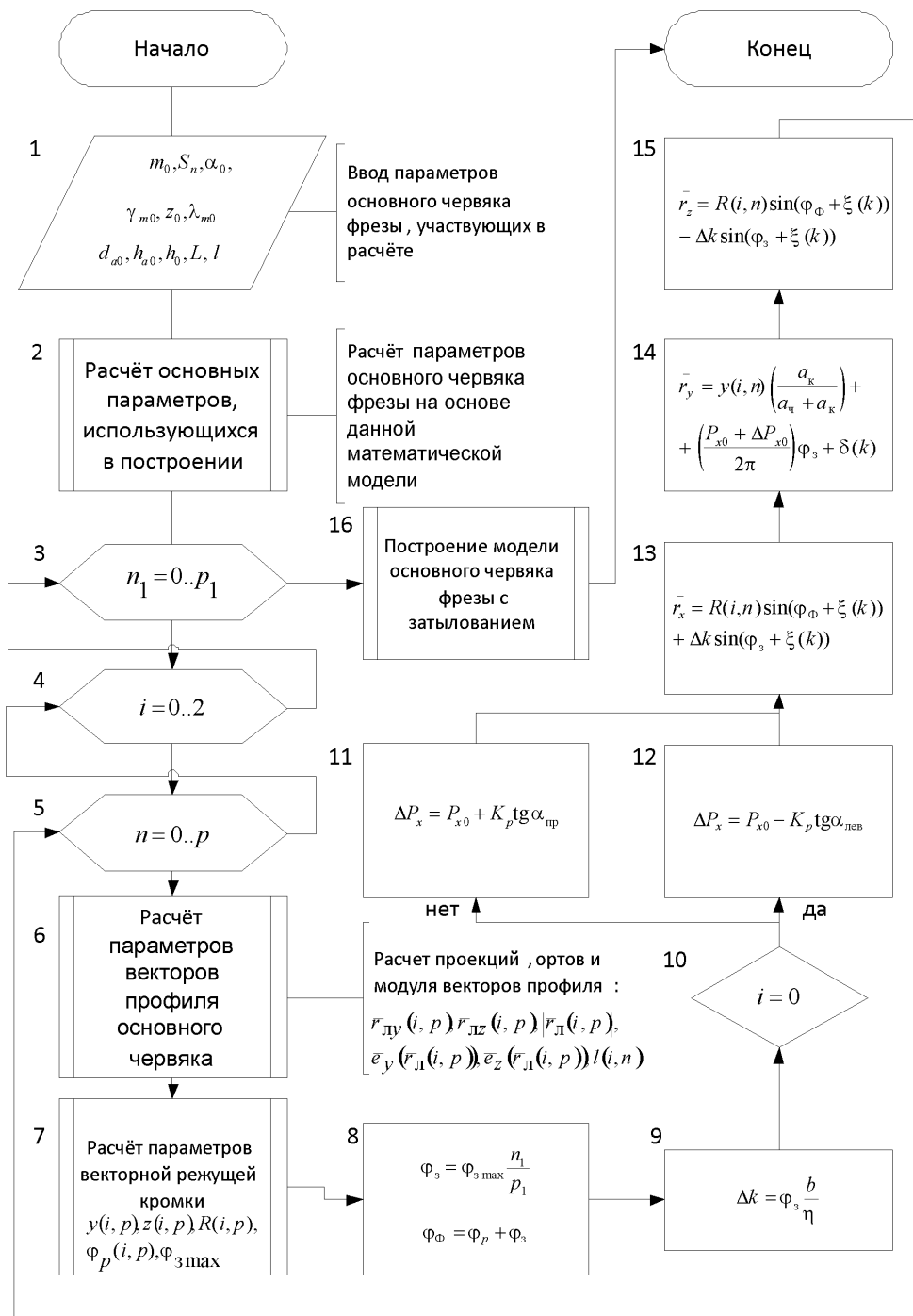


Рис. 5. Блок-схема расчета и построения модели червячной фрезы

Расчет и построение модели затылованных зубьев выполнялся по параметрам червячной фрезы 2510-4344, регламентируемым ГОСТ 9324-80. Фрезы червячные чистовые однозаходные для цилиндрических зубчатых колес с эвольвентным профилем. Исходные данные имеют значения: наружный диаметр фрезы $d_{a0} = 125$ мм; модуль зубьев $m_0 = 8$ мм; высота зуба $h_0 = 20$ мм; высота головки зуба $h_{a0} = 10$ мм; длина фрезы $L = 132$ мм; длина буртика $l = 5$ мм; число зубьев $z_0 = 9$; толщина зуба в нормальном сечении

$S_{n0} = 12,566$ мм; угол профиля $\alpha_0 = 20^\circ$; угол наклона стружечной канавки $\lambda_{m0} = 4^\circ 26'$; угол подъема винтовой линии на делительном цилиндре $\lambda_{m0} = 4^\circ 26'$.

Выводы

Таким образом, определены зависимости для описания боковых затылованных поверхностей зубьев червячной фрезы, выраженные параметрическими векторными функциями. Разработана компьютерная 3D-модель фрезы с затылованными зубьями. Ана-

литическое описание поверхностей зубьев фрезы, предложенное в работе, позволяет воспроизвести их точную геометрию, выполнять кинематический анализ процесса зубообработки, оценивать силовое нагружение режущих кромок фрезы. Результаты моделирования используются при исследовании процесса формообразования зубчатых колес в пространственном отражении.

Список литературы

1. Петухов Ю.Е. Некоторые направления развития САПР режущего инструмента // СТИН. – 2003. – № 8. – С. 26–30.
2. Проектирование и расчет металлорежущего инструмента на ЭВМ: учеб. пособие для вузов / под ред. О.В. Таратынова. – М.: МГИУ, 2006. – 380 с.
3. Андросов С.П., Браилов И.Г., Визигин Д.В. Модель основного червяка фрезы для нарезания зубчатых колес //

Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королева. – 2012. – № 1(32). – С. 63–70.

4. Андросов С.П. Модель стружечной канавки червячной модульной фрезы // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2012. – № 2(55). – С. 43–49.

5. Андросов С.П. Определение угла затылования зубьев червячной модульной фрезы // Образование и наука на XXI век: Материалы за 8-а международна научна практична конференция. Том 47. Технологии. – София. «Бял ГРАД-БГ» ООД, 2012. – С. 71–74.

6. Андросов С.П. Уравнение режущих кромок червячной модульной фрезы // Приволжский научный вестник. – 2013. – 2(18). – С. 4–7.

7. Кожевников Д.В. и др. Режущий инструмент. – М.: Машиностроение, 2007. – 526 с.

Obработка metallo

N 3 (60), July–September 2013, Pages 41-46

Modeling relieving teeth of worm module milling cutter

S.P. Androsov, D.V. Vizigin

Omsk State Technical University, pr. Mira, 11,
Omsk, 644050, Russia
E-mail: asp57@list.ru

Abstract

The problems of simulation of gear hob cutter for cylindrical gearwheel machining are under consideration. A relieving work angle equation is defined. Equations of cutter bits skewed relief, expressed by parameter vector functions are obtained. A computer program for calculation and modeling of a form-relieved bits cutter with a use of object-oriented language AchionScript 3 is developed. An example of calculation and construction of hob cutter 3D model is given. Proposed 3D-model can reproduce the exact geometry of the cutter bit and performs the analysis of the kinematics of the process of formation at hobbing with all the spatial movements' cutter and workpiece gear, as well as an analysis of the power load cutting edge cutters.

Keywords: Worm milling cutter; Form-relieved surface of tooth; Modeling; Vector function.

References

1. Petuhov Ju.E. *STIN*, 2003, no. 8, pp. 26–30.
2. Taratynov O.V., Aver'janov O.I., Zemskov G.G., Klepikov V.V., Koroleva E.M., Taramykin Ju.P., Shherbak E.G. *Proektirovanie i raschet metallorzhushhego instrumenta na JeVM: Uchebnoe posobie dlja vuzov* (Engineering and design of metal-cutting tools on the computer: A manual for institute of higher education). Moscow, MSIU, 2006. 380 p.
3. Androsov S.P., Braiлов I.G., Vizigin D.V. *Vestnik Samarskogo gosudarstvenno-go ajerokosmicheskogo universiteta imeni akademika S. P. Koroleva*, 2012, no. 1(32), pp. 63–70.
4. Androsov S.P. *Obrabotka metallo (tehnologija, oborudovanie, instrumenty)*, 2012, no. 2(55), pp. 43–49.
5. Androsov S.P. *Opredelenie ugla zatylovaniya zub'ev chervjachnoj modul'noj frezy. Obrazovanie i nauka XXI veka: Materialy VIII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii* (Determination of the angle relieving tooth worm gear-milling cutter. Education and Science of the XXI Century: Proceedings of the 8th International Scientific and Practical Conference), Sofia, «Bjal GRAD-BG» OOD, 2012, Vol. 47 (Technologies), pp.71–74.
6. Androsov S.P. *Privolzhsij nauchnyj vestnik*, 2013, no. 2(18), pp. 4–7.
7. Kozhevnikov D.V., Grechishnikov V.A., Kirsanov S.V., Kokarev V.I., Shirtladze A.G. *Rezhushhij instrument* (Machining Tool). Moscow, Mashinostroenie, 2007. 526 p.