

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗУБОФРЕЗЕРОВАНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

© 2009 И.Г. Браилов<sup>1</sup>, С.П. Андросов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Сибирская автомобильно-дорожная академия, г. Омск

<sup>2</sup>Омский государственный технический университет

Поступила в редакцию 9.11.2009

Рассматривается вопрос моделирования зубофрезерования цилиндрических зубчатых колес. Определены векторные зависимости, описывающие профили зубьев заготовки зубчатого колеса и червячной модульной фрезы, а также их относительные движения в пространственном отображении.

Ключевые слова: моделирование, зубчатое колесо, зубофрезерование, червячная модульная фреза

Процесс фрезерования зубчатых колес червячными модульными фрезами, несмотря на широкое распространение и достаточно глубокую теоретическую и экспериментальную проработку, остается с нерешенными и противоречивыми задачами [1]. Зубофрезерование с точки зрения анализа взаимодействия заготовки с червячной модульной фрезой, их относительных движений и силовых воздействий является сложным пространственным, многофункциональным и многопараметрическим процессом. Современное развитие вычислительной техники позволяет моделировать сложные процессы при использовании математических моделей, включающих их аналитическое описание одной или множеством функций, разработанных алгоритмов и расчетов, а также необходимых данных [2]. В работе рассматривается подход к моделированию кинематики зубофрезерования цилиндрических зубчатых колес как к взаимодействию зубьев фрезы и заготовки в трехмерном пространстве.

Моделирование процесса зубообработки записывается в виде суммы векторных функций, описывающих эвольвентный профиль зубьев детали заготовки и профиль зубьев фрезы, а также их относительные движения. На рис. 1 приведена принятая система координат, которая включает глобальную систему координат станка  $X_0Y_0Z_0$ , систему координат  $X_kY_kZ_k$  заготовки нарезаемого колеса 1, вращающегося с угловой скоростью  $\omega_k$ , и систему

координат  $X_\phi Y_\phi Z_\phi$  фрезы 2, совершающей вращательное движение с угловой скоростью  $\omega_\phi$  и поступательное движение подачи со скоростью  $V_1$ . На этом рисунке изображены векторы, определяющие взаимодействие заготовки 1 и фрезы 2 в процессе зубофрезерования, а также векторы, описывающие эвольвентный профиль зуба нарезаемого колеса и зуба фрезы.

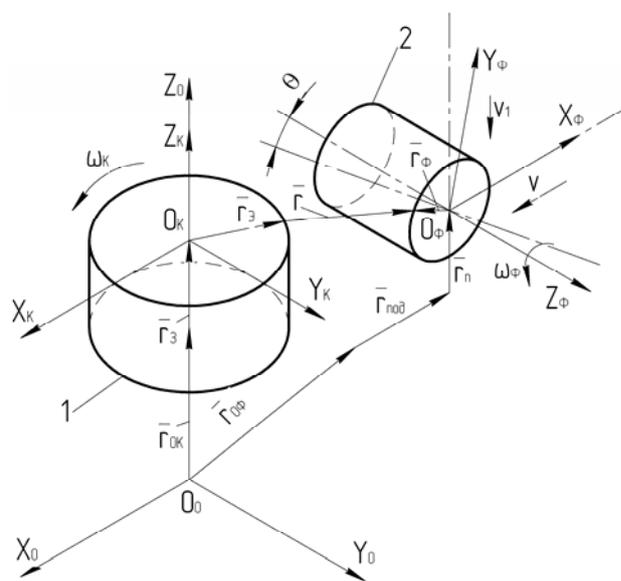


Рис.1. Система координат

Векторное уравнение процесса зубофрезерования имеет вид:

$$\vec{r}_{ок} + \vec{r}_3 + \vec{r} = \vec{r}_{оф} + \vec{r}_{нод} + \vec{r}_n + \vec{r}_\phi, \quad (1)$$

где  $\vec{r}_3$  – вектор, отождествляемый с шириной заготовки;  $\vec{r}_{ок}$  – вектор, определяющий базовую установку заготовки в приспособлении, которое используется при зубообработке;  $\vec{r}_3$  – векторная функция эвольвенты;  $\vec{r}_\phi$  – вектор,

Браилов Иван Григорьевич, доктор технических наук, профессор кафедры прикладной механики

Андросов Сергей Павлович, кандидат технических наук, доцент кафедры сопротивления материалов. E-mail: asp57@list.ru

определяющий точку на зубе модульной фрезы;  $\vec{r}_{оф}$  – вектор, определяющий начальное положение системы координат фрезы в системе координат станка;  $\vec{r}_{нод}$  – вектор подвода фрезы в начальную точку обработки;  $\vec{r}_n$  – вектор подачи фрезы в процесс фрезерования;  $\vec{r}_\phi$  – вектор, определяющий точку на зубе модульной фрезы;  $\vec{r}$  – замыкающий вектор между точкой эвольвенты и точкой на зубе фрезы.

Каждый вектор может быть записан в координатной форме. Например, вектор  $\vec{r}_{ок}$  в принятой системе координат станка запишется:

$$\vec{r}_{ок} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ h_{np} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где  $h_{np}$  – высота опорной плоскости, на которую устанавливается заготовка 1 относительно стола 2 станка (рис. 2). Вектор  $\vec{r}_3$  в координатной форме выражается функцией

$$\vec{r}_3 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ B \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где  $B$  – ширина венца нарезаемого зубчатого колеса.

Векторная функция эвольвенты  $\vec{r}_3$  в системе координат  $X_k Y_k Z_k$  заготовки записывается в следующем виде [3]:

$$\vec{r}_3 = \begin{bmatrix} R \sin \varphi \\ R \cos \varphi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -R\varphi \cos \varphi \\ R\varphi \sin \varphi \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где  $R$  – радиус основной окружности;  $\varphi$  – угол поворота прямой вокруг оси зубчатого колеса, соединяющей его центр и точку касания производящей прямой, обкатывающейся по основной окружности.

Вектор  $\vec{r}$  является замыкающим звеном при обкатке. В процессе моделирования зубообработки он может быть равен нулю в тот момент, когда происходит профилирование эвольвенты. При этом точка, принадлежащая боковой режущей кромке фрезы, находится в полюсе зацепления эвольвентного профиля зуба колеса и производящей рейки. Большинство точек фрезы последовательно проходят полюс профилирования. Исключение составляют точки вблизи вершины зуба фрезы, которые

при обкатке формируют переходную кривую ножки зуба колеса или кривую подрезания. Периферийная режущая кромка зуба фрезы формирует только впадину между зубьями. В каждом случае профилирование всех участков нарезаемых зубьев происходит в плоскости, перпендикулярной оси заготовки, и на кратчайшем расстоянии от рассматриваемой точки фрезы по оси заготовки. В остальные моменты происходит сьем металла впадины между зубьями заготовки. Другими словами, сьем металла происходит в объеме, заключенном между боковыми поверхностями зубьев во впадине и между торцевыми поверхностями заготовки. При этом объемы снимаемого металла при начальном врезании фрезы в заготовку и при полном врезании отличаются между собой.

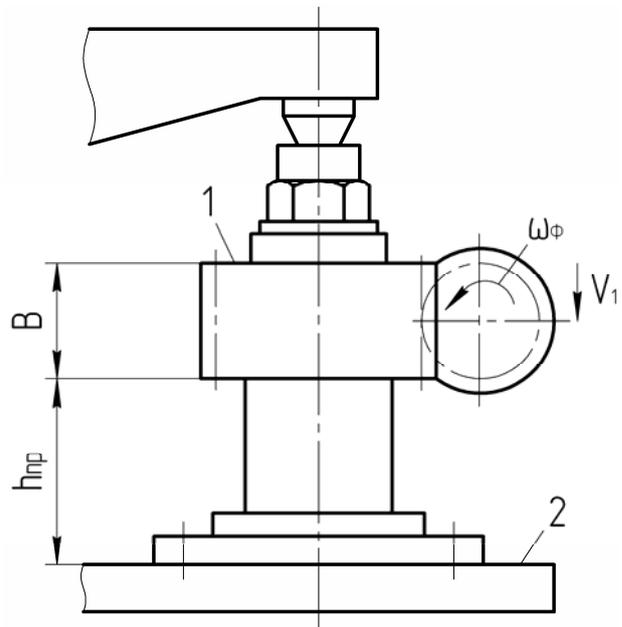


Рис. 2. Установка заготовки в станке

Вектор подвода  $\vec{r}_{нод}$  определяется следующим выражением

$$\vec{r}_{нод} = \begin{bmatrix} 0 \\ -V t \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

где  $V$  – скорость подвода фрезы в начальную точку обработки;  $t$  – время подвода фрезы.

Вектор подачи  $\vec{r}_n$  имеет вид:

$$\vec{r}_n = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -V_1 t_1 \end{bmatrix}, \quad (6)$$

где  $V_1$  – скорость подачи фрезы в процесс фрезерования;  $t_1$  – время подачи фрезы.

Вектор  $\bar{r}_\phi$ , описывающий движение точки, принадлежащей профилю каждой из реек червячной модульной фрезы, определяется выражением [4]

$$\bar{r}_\phi = M\bar{r}(i, j, k, m) = \begin{bmatrix} \cos[(n-1)\psi] & -\sin[(n-1)\psi] & 0 \\ \sin[(n-1)\psi] & \cos[(n-1)\psi] & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -R_1 \sin \varphi_1 \\ R_1 \cos \varphi_1 \\ -a\varphi_1 \end{bmatrix}; \quad (7)$$

где  $M$  – матрица поворота вокруг оси фрезы  $O_\phi Z_\phi$ ;  $\bar{r}(i, j, k, m)$  – вектор, описывающий режущие кромки зубьев исходной рейки фрезы с учетом винтового движения;  $i$  – номер вектора на зубе,  $j$  – номер зуба на рейке фрезы;  $k$  – номер рейки на фрезе;  $m$  – количество точек и номер точки на векторе. Количество точек на векторе может принимать значение от 1 до любого целого числа  $m$  в зависимости от требуемой точности расчета;  $R_1$  – текущий радиус, который может принимать значения в пределах от величины радиуса внутреннего  $R_{i0}$  фрезы до радиуса ее наружного цилиндра  $R_{a0}$ ;  $\varphi_1$  – текущий параметрический угол, который изменяется в пределах от  $\varphi_1=0$  до  $\varphi_{\max}$ ;  $n$  – номер рейки, который изменяется от 1 до числа зубьев фрезы  $z_0$ ;  $\psi$  – угол между зубьями фрезы,  $\psi=2\pi/z_0$ ;  $a$  – параметр, характеризующий движение по винтовой линии вдоль оси фрезы  $O_\phi Z_\phi$ . Значение параметра  $a$  зависит от угла наклона винтовой стружечной канавки.

**Выводы:** в работе представлены основные векторные зависимости, определяющие характер взаимодействия нарезаемого зубчатого колеса и червячной модульной фрезы. Сложный процесс взаимодействия профиля зубьев нарезаемого колеса и профиля зубьев фрезы может быть описан алгоритмически, включая в себя относительные вращения заготовки и фрезы, установочные движения и движение инструмента в процессе обработки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Клепиков, В.В. Совершенствование процессов обработки зубчатых колес за счет конструкторских и технологических параметров: – автореф. дис. докт. техн. наук: 05.03.01 / Клепиков Виктор Валентинович. – М.: МГИУ, 2001. – 41 с.
2. Браилов, И.Г. К вопросу моделирования зубофрезерования / И.Г. Браилов, С.П. Андросов // Наука и производство – 2009: Материалы Международной научно – практической конференции в 2 ч. – Брянск: БГТУ, 2009. – Ч. 2. – С. 16-18.
3. Браилов, И.Г. Описание эвольвенты векторной функцией, выраженной в параметрах станочных систем / И.Г. Браилов, С.П. Андросов // Проблемы механики современных машин: Материалы четвертой Международной научно – практической конференции в 3 т. – Улан-Удэ: ВСГТУ, 2009. – Т. 2. – С. 11-14.
4. Браилов, И.Г. Моделирование червячной модульной фрезы векторными функциями в параметрах станочных систем / И.Г. Браилов, С.П. Андросов // Современные проблемы в технологии машиностроения: Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2009. – С. 64-68.

## MODELING OF THE GEAR-TOOTH MILLING OF CYLINDRICAL GEAR WHEEL

© 2009 I.G. Brailov<sup>1</sup>, S.P. Androsov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Siberian Automobile-Road Academy, Omsk

<sup>2</sup> Omsk State Technical University

The question of modeling of the gear-tooth milling of the cylindrical gear wheel is considered. Vector dependencies, describing the design of section of teeth of the subproducts of cylindrical gearwheel and worm gear hob are specified, and also their relative motion in the 3D dimensional image is demonstrated.

Key words: modeling, gear wheel, gear-tooth milling, worm gear hob

Ivan Brailov, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Applied Mechanics

Sergey Androsov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Resistance of Materials Department. E-mail: asp57@list.ru