

УДК 621.9.07

Е. С. Трубачёв, доктор технических наук, профессор  
 А. И. Зубкова, магистрант  
 Институт механики ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

## РАСЧЕТ ГЕОМЕТРИИ ВИТКОВ МНОГОЗАХОДНОГО ЧЕРВЯКА, ОБРАЗОВАННЫХ ТОРЦОВОЙ РЕЗЦОВОЙ ГОЛОВКОЙ ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ ДЕЛЕНИИ

Предложен высокопроизводительный метод нарезания многозаходных червяков непрерывным делением с помощью торцовой резцовой головки. Даны основы расчета формируемой винтовой поверхности.

**Ключевые слова:** многозаходный червяк, нарезание витков, резцовая головка.

### Введение

В единичном и мелкосерийном производстве цилиндрические червяки традиционно предварительно нарезаются с помощью резцов на токарно-винторезных станках. Значительно большей производительностью отличаются методы предварительного нарезания червяков, основанные на применении многорезцовых инструментов с исходной производящей поверхностью вращения: дисковых фрез и вихревых резцовых головок. Повышенная сложность переналадки оборудования и инструмента создают трудности применения этих методов в мелкосерийном производстве. В этом отношении несколько лучшим решением является применение инструмента торцового (чашечного) типа (червяки типов ZK3 [1], SZK3, SZCT3 [2]). Переналадка на иной модуль осуществляется сменой резцов, а на иной диаметр и угол подъема витка – линейными перемещениями, что обычно проще осуществлять и контролировать. Однако единичное деление с остановками и реверсами при нарезании многозаходных червяков и в этом методе подразумевает худшую динамику и появление дополнительной погрешности. Червяки с большими числами заходов (обычно не менее 6) и большими углами подъема могут быть нарезаны непрерывным делением как косозубые колеса – на зубофрезерном станке с помощью червячной фрезы. Однако этот способ еще в большей степени ориентирован на крупносерийное и массовое производство (у него имеются и другие недостатки).

В настоящей статье рассмотрен метод нарезания витков многозаходных червяков торцовой резцовой головкой при непрерывном делении на заходы, обеспечивающий высокую производительность и гибкость производства червяков.

### Схема нарезания

Схема формообразования показана на рис. 1. Резцовая головка и формируемый червяк согласованно вращаются с угловыми скоростями  $\omega_0$  и  $\omega_1$  соответственно с передаточным отношением  $i_{01}$ , равным отношению числа нарезаемых заходов  $z_{(1)}$  к числу резцов  $z_{(0)}$  (или пар резцов, в каждой из которых один резец для левых, другой – для правых поверхностей витков) головки. При выполнении этого условия каждый последующий резец (или последующая пара) входит в каждую следующую впадину между витками. Кроме того, осуществляется подача  $p$  резцовой головки вдоль оси червяка, согласованная с

дополнительным поворотом (угловая скорость  $\Delta\omega_1$ ) последнего ( $p/\Delta\omega_1 = p_{\gamma 1}$  – винтовой параметр формируемого геликоида).

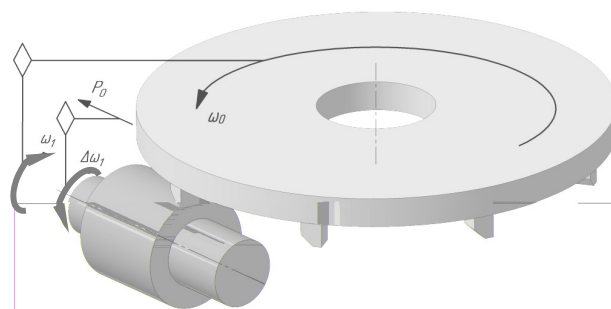


Рис. 1. Схема формообразования витков червяка торцовой резцовой головкой при непрерывном делении

Боковые поверхности витков в такой схеме образуются в двухпараметрическом огибании производящих линий – режущих кромок резцов головки. Первым параметром огибания является угол  $\varphi_0$  поворота резцовой головки, вторым – координата  $z$ , характеризующая ее положение вдоль оси червяка. Соотношение между скоростями изменения этих параметров в широких пределах (по крайней мере, при выполнении условия  $\omega_0 \ll \Delta\omega_0$ ) практически не влияет на получаемую геометрию витков, т. е. можно говорить о независимости их влияния.

Можно видеть аналогии между этой схемой нарезания и схемами нарезания конических зубчатых по методам *Oerlicon* [3] и *Face hobbing* [4].

### Системы координат

Будем рассматривать случай, когда оси резцовой головки и нарезаемого червяка перекрещиваются под углом  $90^\circ$  (межосевое расстояние –  $a_{w01}$ ), делительная плоскость головки касается делительного цилиндра червяка (расстояние от станочной межосевой линии до делительной плоскости червяка –  $B_0 = d_1$ ), передняя плоскость резца параллельна оси головки и наклонена по отношению осевой плоскости последней на угол  $\gamma_0$ .

Системы координат (СК), применяемые при расчете (рис. 2):

$S_n$  – подвижная, жестко связанная с резцом ( $x_n O_n z_n$  – передняя плоскость резца);

$S_{00}$  – подвижная, жестко связанная с вращающейся резцовой головкой;

$S_0$  – неподвижная, ось  $z_0$  которой совпадает с осью резцовой головки;

$S_1$  – неподвижная, ось  $z_1$  которой совпадает с осью червяка;

$S_{11}$  – подвижная, жестко связанная с вращающимся червяком.

Связи между перечисленными системами координат следующие:

$$\begin{cases} x_{00} = x_n \cos \gamma_0 + y_n \sin \gamma_0 + d_0 / 2; \\ y_{00} = -x_n \sin \gamma_0 + y_n \cos \gamma_0; \\ z_{00} = z_n, \end{cases} \quad (1)$$

где  $d_0$  – делительный диаметр резцовой головки;

$$\begin{cases} x_0 = x_{00} \cos \phi_0 - y_{00} \sin \phi_0; \\ y_0 = x_{00} \sin \phi_0 + y_{00} \cos \phi_0; \\ z_0 = z_{00} + B_0; \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} x_1 = x_0 + a_{w01}; \\ y_1 = -z_0; \\ z_1 = y_0; \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} x_{11} = x_1 \cos \phi_1 + y_1 \sin \phi_1; \\ y_{11} = -x_1 \sin \phi_1 + y_1 \cos \phi_1; \\ z_{11} = z_1. \end{cases} \quad (4)$$

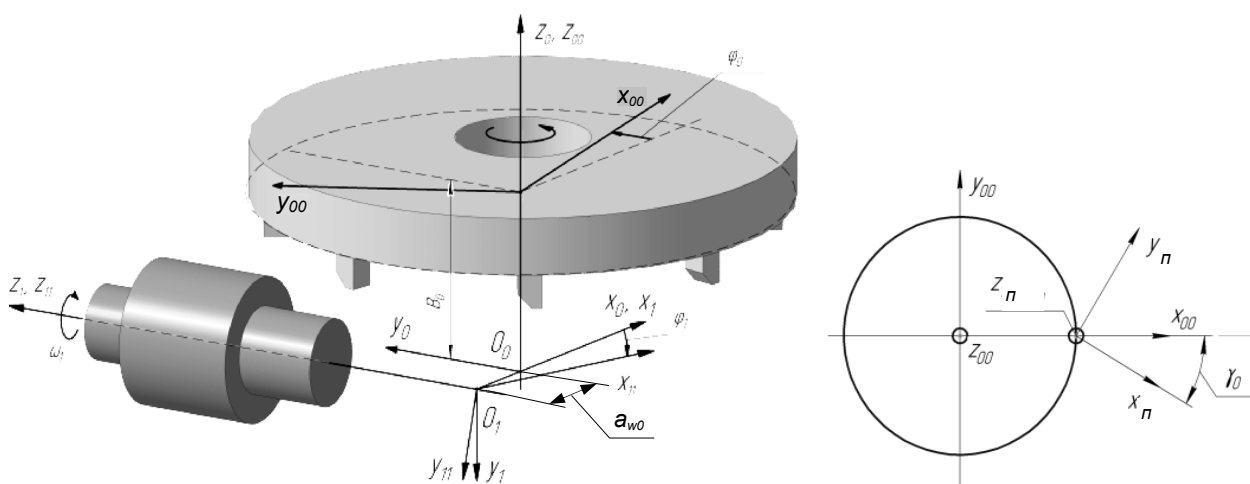


Рис. 2. Системы координат, применяемые при расчетах

**Производящая линия. Касательная к ней**

Уравнение прямой производящей линии в СК  $S_n$ :

$$F_{II} = z_n - \left( x_n \pm \frac{s_0}{2} \right) \tan \alpha_0 = 0, \quad (5)$$

где  $s_0$  и  $\alpha_0$  – делительная ширина и угол профиля резца.

Вектор, касательный к производящей линии:

$$\mathbf{f} : \begin{cases} f_{xn} = 1, \\ f_{yn} = 0, \\ f_{zn} = 1 / \tan \alpha_0. \end{cases} \quad (6)$$

**Движения при обработке**

Векторы скоростей в двух независимых парах движений запишем в СК  $S_0$  при  $\omega_0 = 1$  рад/с,  $\omega_1 = \omega_0 / i_{01}$ ,  $\Delta\omega_1 = 1$  и  $p = p_{\gamma 1}$  (очевидно – движение подачи с дополнительным поворотом червяка должно быть винтовым с параметром, равным винтовому параметру формируемого червяка):

$$\mathbf{v}_0^{(1)} = \omega_0 \times \mathbf{r}_0 : \begin{cases} v_0^{(1)} x_0 = -y_0, \\ v_0^{(1)} y_0 = x_0, \\ v_0^{(1)} z_0 = 0. \end{cases} \quad (7)$$

$$\mathbf{v}_1^{(1)} = \omega_1 \times (\mathbf{r}_0 + a_{w01} \mathbf{i}_0) : \begin{cases} v_1^{(1)} x_0 = z_0 / i_{01}, \\ v_1^{(1)} y_0 = 0, \\ v_1^{(1)} z_0 = -(x_0 + a_{w01}) / i_{01}. \end{cases} \quad (8)$$

$$\mathbf{v}_0^{(2)} = p_{\gamma 1} \mathbf{k}_1 : \begin{cases} v_0^{(2)} x_0 = 0, \\ v_0^{(2)} y_0 = p_{\gamma 1} \sin \Sigma_0, \\ v_0^{(2)} z_0 = p_{\gamma 1} \cos \Sigma_0. \end{cases} \quad (9)$$

$$\mathbf{v}_1^{(2)} = \Delta\omega_1 \times (\mathbf{r}_0 + a_{w01} \mathbf{i}_0) : \begin{cases} v_1^{(2)} x_0 = z_0, \\ v_1^{(2)} y_0 = 0, \\ v_1^{(2)} z_0 = -(x_0 + a_{w01}). \end{cases} \quad (10)$$

**Уравнение станочного зацепления**

Уравнение станочного зацепления есть условие компланарности вектора, касательного к производящей линии (6), и векторов относительных скоростей в двух независимых движениях –  $\mathbf{v}_{01}^{(1)} = \mathbf{v}_0^{(1)} - \mathbf{v}_1^{(1)}$  и  $\mathbf{v}_{01}^{(2)} = \mathbf{v}_0^{(2)} - \mathbf{v}_1^{(2)}$ . Это уравнение можно получить в виде:

$$F_3 = [\mathbf{f}; \mathbf{v}_{01}^{(1)}; \mathbf{v}_{01}^{(2)}] = F_3(x_n, z_n, \phi_0) = 0. \quad (11)$$

Решение этого уравнения удобно искать, задавая последовательно координату  $z_n$  для точек производящей линии (задавая положение точки по высоте профиля резца), определяя с помощью (5) координату  $x_n$  и решая полученное уравнение одной неизвестной переменной –  $\phi_0$ . Далее, используя найденное решение (а также величину  $\phi_1 = \phi_0 / i_{01}$ ) и связи (1)–(4), можно найти координаты заданной точки в СК

$S_{11}$ . Соответствующую точку на осевом профиле сформированной поверхности получим путем приведения:

$$z_{1ax} = z_1 - p_{\gamma 1} a \tan(x_1 / y_1). \quad (12)$$

Решая уравнение при различных значениях  $z_n$ , получим набор точек осевого профиля формируемой винтовой поверхности.

#### Параметры станочной наладки

К числу этих параметров, определяющих геометрию нарезаемых витков и условия резания, следует отнести:

- делительный диаметр  $d_0$  резцовой головки;
- число  $z_{(0)}$  резцов (пар резцов) резцовой головки;
- станочный межосевой угол  $\Sigma_{01}$  (принят ранее равным  $90^\circ$ );
- станочное межосевое расстояние  $a_{w01}$ ;
- ширина  $s_0$  резца;
- угол  $\alpha_0$  профиля резца;
- угол  $\gamma_0$  наклона передней плоскости резца.

Сузить диапазоны выбора параметров можно, введя соотношения:

– в точке касания делительных поверхностей вектор  $\mathbf{v}_{01}^{(1)}$  должен касаться винтовой линии с параметром  $p_\gamma$  (или, по крайней мере, отклоняться от этого направления незначительно), что дает условие:

$$i_{10} = \frac{z_{(0)}}{z_{(1)}} = \frac{a_{w01}}{p_{\gamma 1}} \cdot \frac{\sqrt{d_0^2 - 4a_{w01}^2}}{d_1}; \quad (13)$$

– передняя плоскость резца должна быть ортогональна вектору  $\mathbf{v}_{01}^{(1)}$  (или, по крайней мере, отклоняться от этого направления незначительно), что дает условие:

$$\cos \gamma_0 = \frac{\mathbf{v}_{01}^{(1)} \mathbf{v}_1^{(1)}}{v_{01}^{(1)} v_1^{(1)}}. \quad (14)$$

#### Пример расчета

На рис. 3 показан результат расчета – графики зависимостей координаты  $z_{1ax}$  осевого профиля от радиуса  $r_1$  червяка для разноименных боковых поверхностей витков – при следующих параметрах червяка и параметрах наладки:

- $d_1 = 40$  мм,
- $z_{(1)} = 4$ ,
- $m_{x1} = 4$  мм ( $p_{\gamma 1} = 8$  мм),
- $d_0 = 200$  мм,
- $z_{(0)} = 8$ ,
- $a_{w01} = 51$ ,
- $s_0 = 1,57$  мм,  $m_{x1} = 6,28$ ,

- $\alpha_0 = 20^\circ$  (профиль симметричный),
- $\gamma_0 = 8,5^\circ$ .

Сформировано режущими кромками резцов: внешними внутренними

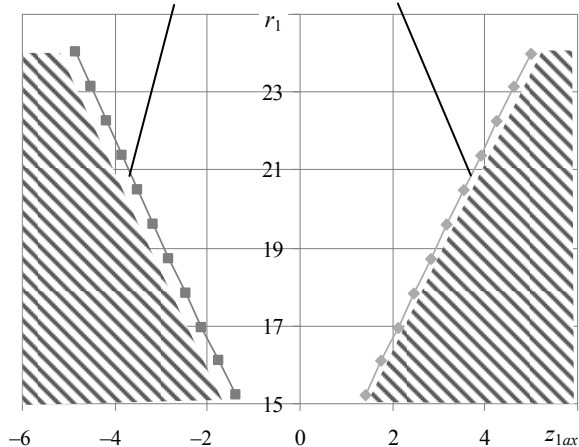


Рис. 3. Осевой профиль червяка, сформированного предложенным методом

#### Перспективы

Для рассмотренной схемы нарезания актуальными являются вопросы исследования влияния параметров наладки на геометрию (например, кривизну профиля) витков, размеры и форму переходного участка, условия подрезания, срезания и заострения витков и условия резания. Этот метод с точки зрения технологического оснащения весьма похож на метод нарезания витков червяков видов ZK3, SZK3, SZCT3, что делает соответствующую реализацию универсально пригодной для производства червяков и с одним-двумя, и с большим числом заходов.

#### Библиографические ссылки

1. ГОСТ 18498–89. Передачи червячные. Термины, определения и обозначения. – Введ. 1990–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 46 с.
2. ГОСТ 22850–77. Передачи спироидные. Термины определения и обозначения. – Введ. 1979–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 1979. – 65 с.
3. Тайц Б. А. Производство зубчатых колес : справочник / под общ. ред. Б. А. Тайца. – М. : Машиностроение, 1990. – 463 с.
4. Stadtfeld H. J. Gleason Bevel Gear Technology. Manufacturing, Inspections and Optimization: Collected Publications 1994/95. The Gleason Works, Rochester, – New York (USA), 1995. – 202 p.

\*\*\*

E. S. Trubachev, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University  
A. I. Zubkova, Master's Degree Student, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

#### Geometry calculation for multi-thread worms threads formed by means of continuous indexing face cutting head

High-performance method of multi-thread worm cutting is proposed. The cutting process is realized by the face hob (face cutting head) with a continuous indexing. Fundamentals of the generated worm surface calculation are given.

**Keywords:** multi-thread worm, thread cutting, face cutting head.