

**И.А. КИРИЧЕНКО**, д.т.н., зав. каф. метрологии СЧУ им. В. Даля, г. Луганск  
**А.Л. КАШУРА**, к.т.н., доц. каф. метрологии СЧУ им. В. Даля  
**В.А. ВИТРЕНКО**, д.т.н., зав. каф. ТМ СЧУ им. В. Даля  
**Н.Н. КУЗЬМЕНКО**, ассистент каф. метрологии СЧУ им. В. Даля  
**А.В. ВИТРЕНКО**, ассистент каф. ОП СЧУ им. В. Даля

## ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ВИНТОВЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС В ПРОСТРАНСТВЕННОМ СТАНОЧНОМ ЗАЦЕПЛЕНИИ

У статті розглянуті питання формоутворення гвинтових зубчастих коліс в просторовому верстатному зацепленні. При цьому змодельований рух ріжучого інструменту перпендикулярно осі обертання зуборізного долбяка.

In article questions form creations screw tooth wheels in spatial machine gearing are considered. Movement of the cutting tool of perpendicularly axis of rotation tooth cutting perforator is thus simulated.

Повышенное требование к качеству выпускаемой продукции с одновременным снижением ее себестоимости привело к тому, в различных отраслях народного хозяйства Украины, а также в ведущих промышленных разных странах мира проводятся интенсивные исследования в области винтового станочного и рабочего зацеплений с линейным контактом зубьев. Все это приводит к повышению несущей способности различного вида передач к которым относятся винтовые, червячные, гиперболоидные, спироидные и т.д.

В последнее время гиперболоидные винтовые зубчатые передачи вызывают интерес, как у отечественных, так и зарубежных исследователей и ученых. Объем выпуска таких зубчатых передач удваивается за три года. Промышленность всего мира выделяет несколько миллионов долларов на изготовление зубчатых колес для такой передачи.

Множество зубчатых колес для винтовых зубчатых передач имеют различную конструктивную форму, изготовление которой требует множества различных технологий, а также различных зуборезных инструментов, основанных на схемах формообразования третьего класса. Такие передачи широко распространены в общем машиностроении и применяются в механизмах с малыми мощностями и значительными передаточными отношениями. Бесшумность и плавность работы таких передач является одним из основных преимуществ таких передач. Если передаточное отношение в таких передачах меньше восьми, то характер касания зубьев в передаче точечный. Начальное касание зубьев происходит в точке, при этом в зоне контакта возникают значительные скорости скольжения, приводящие к интенсивному износу зубьев.

Упомянутое выше, позволяет сказать, что использование любых резервов в области конструирования и технологии изготовления различного вида гиперболоидных зубчатых колес дает значительный экономический эффект за

счет улучшения конструкции ортогональной винтовой зубчатой передачи, повышения производительности изготовления зубчатых колес, улучшения их качества с одновременным снижением себестоимости их изготовления.

При получении винтовой зубчатой поверхности, имеющей периодический профиль при помощи инструмента реечного типа, к которому могут относиться зуборезная зубчатая рейка и стандартная червячная фреза, получается сложная математическая модель, описывающая процесс такого формообразования. Поскольку станочное зацепление сопряженных зубьев представляет собой зацепление винтового зубчатого колеса с прямоочной рейкой, представим себе, что относительное движение зуборезного долбяка – это его относительное движение перпендикулярное его оси вращения. Однако такое относительное движение зуборезный долбяк не может осуществить из-за невозможности такого движения при помощи кинематических цепей зубофрезерных станков. Поэтому в качестве относительного движения примем движение винтового зубчатого колеса, перпендикулярно оси вращения зуборезного долбяка. Такое движение возможно осуществить только на зубофрезерных станках, оснащенных протяжным суппортом. При этом необходимо строго согласовать подачу протяжного суппорта с вертикальной подачей. Схема формообразования таких зубчатых колес, представлена на рисунке 1.

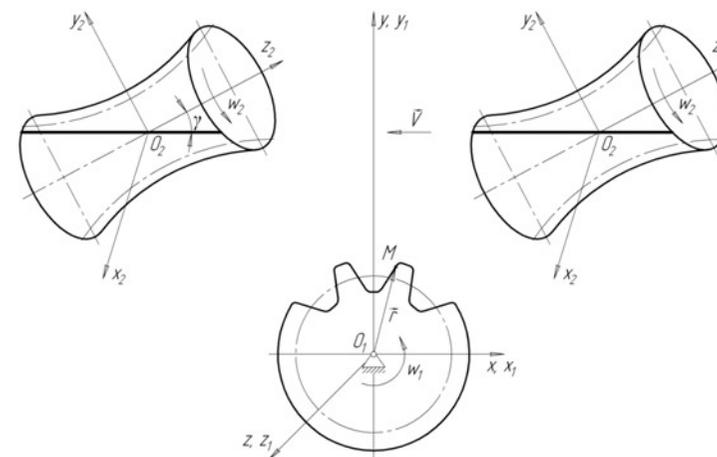


Рисунок 1 – Схема изготовления винтовых зубчатых колёс

Рассматриваемый процесс формообразования имеет два отличительных фактора по сравнению с существующими процессами получения зубьев. Первый заключается в том, что форма производящего исходного контура известна. В нашем случае это прямозубый долбяк, который в своем относительном движении описывает зубья прямозубой рейки. Незвестной является форма формообразуемого винтового зубчатого колеса, получаемого при заданных

движениях заготовки и инструментального долбяка. Вторым фактором является то, что инструментальная рейка (воображаемое зубчатое колесо) не вращается, а движется поступательно, прямолинейно. Если представить, что зуборезный долбяк имеет бесконечно большой диаметр, то процесс формообразования можно представить, как процесс зацепления инструментальной рейки с многозаходным винтовым зубчатым колесом.

При формообразовании винтового зубчатого колеса оно вращается вокруг своей оси с постоянной угловой скоростью  $\omega$ , и описывает горизонтальное движение, описывающее зуборезную рейку, которая движется поступательно со скоростью  $V$ . Необходимо отметить, что угловая скорость вращения гиперболической заготовки  $\omega$  и ее поступательное движение строго согласованы:

$$\frac{V}{\omega} = K,$$

где  $K$  – коэффициент или заданная константа.

Рассматривая описанный выше процесс формообразования зубьев винтовых многозаходных зубчатых колес попытаемся установить геометрические и кинематические показатели, рассматривая процесс формообразования как станочное зацепление инструмента с обрабатываемой деталью при двух параметрах движения инструмента и детали. В работе для увеличения коэффициента перекрытия зуба, формообразуются винтовые косозубые колеса, для получения которых вводится винтовой параметр  $P$ .

Профиль многозаходного винтового зубчатого колеса имеет следующую геометрическую форму, в его основе лежит тело вида однополостной гиперболической поверхности, в его основе лежит тело вида однополостной гиперболической поверхности. Такая сложная геометрическая форма может быть описана при помощи четырех трансцендентных уравнений следующего вида:

$$\begin{aligned} x_2 &= (\xi - R)(\cos\varphi_1 \cos\varphi_2 + \cos\gamma \sin\varphi_1 \sin\varphi_2) + \eta(\cos\gamma \cos\varphi_1 \sin\varphi_2 - \sin\varphi_1 \cos\varphi_2) - \mu \sin\gamma \sin\varphi_2 + A \cos\varphi_2; \\ y_2 &= (\xi - R)(\cos\gamma \sin\varphi_1 \cos\varphi_2 - \cos\varphi_1 \sin\varphi_2) + \eta(\sin\varphi_1 \sin\varphi_2 - \cos\gamma \cos\varphi_1 \cos\varphi_2) - \mu \sin\gamma \cos\varphi_2 - A \sin\varphi_2; \\ z_2 &= (\xi - R) \sin\gamma \sin\varphi_1 + \eta \sin\gamma \cos\varphi_2 + K \mu \cos\gamma; \\ f(\xi, \eta; \mu) &= (i_{21} \sin\gamma - 1) \eta \eta' + \xi'(\xi - R) - A i_{21} \sin\gamma (\eta' \cos\varphi_1 + \xi' \sin\varphi_1) - A i_{21} \cos\gamma (\eta' \sin\varphi_1 - \xi' \cos\varphi_1). \end{aligned} \quad (1)$$

Для решения уравнения приняты (1) следующие исходные данные:

$$\left. \begin{aligned} \xi &= -r_0(\cos\theta + \sin\theta) + R \\ \eta &= r_0(\sin\theta - \theta \cos\theta) \\ \xi' &= -r_0 \theta \cos\theta \\ \eta' &= r_0 \theta \sin\theta \end{aligned} \right\}$$

Чтобы найти профиль винтового гиперболического зубчатого колеса, нужно найти координаты  $x_2; y_2$  этого колеса в подвижной системе координат. Для реше-

ния этой задачи необходимо четвертое уравнение системы (1) подставить в третье уравнение. В этом случае получим уравнение, имеющее следующий вид:

$$\begin{aligned} z_2 i_{21} (\eta' \cos\varphi_1 + \xi' \sin\varphi_1) &= [(\xi - R) \sin\gamma \sin\varphi_1 + \eta \sin\gamma \cos\varphi_1] \times \\ &\times i_{21} (\eta' \cos\varphi_1 + \xi' \sin\varphi_1) - [A i_{21} \cos\gamma (\eta' \sin\varphi_1 - \xi' \cos\varphi_1) - \\ &- (1 - i_{21} \cos\gamma) \times (\eta \eta' + \xi'(\xi - R))] \operatorname{ctg}\gamma. \end{aligned} \quad (2)$$

Далее, задавая необходимую координату  $z_2$  вдоль оси гиперболического колеса (в данном исследовании  $z = -10; -8; -6; -4; -2; 0; 2; 4; 6; 8; 10$  мм) и изменяя параметр  $\theta$  ( $\theta = 0^\circ; 5^\circ; 10^\circ; 15^\circ; 20^\circ; 25^\circ; 30^\circ; 35^\circ; 40^\circ; 45^\circ; 50^\circ$ ) находим из выражения (2) угол поворота прямозубчатого долбяка  $\varphi_1$ , при котором происходит его касание с винтовым зубчатым колесом. После этого подставляем найденные углы поворота  $\varphi_1$  в первые два уравнения системы (1), что позволяет нам найти координаты  $x_2; y_2$  в зависимости от выбранного сечения по оси  $z_2$  винтового зубчатого колеса.

### Выводы.

1. Определен в аналитическом виде профиль многозаходного винтового зубчатого колеса.
2. Найдена принципиально новая схема формообразования винтовых зубчатых колес в пространственном станочном зацеплении при их двухпараметрическом огибании.
3. Найдены профили винтового зубчатого колеса.

**Список литературы:** 1. Кириченко И.А. Создание гиперболических передач с линейным контактом зубьев на базе специальных режущих инструментов: Дисс. докт.техн.наук. 05.02.02 – машиноведение. – Луганск, 2004. – 364с. 2. Цвис Ю.В. Исследование процесса зуботочения цилиндрических зубчатых колес: Дисс. докт.техн.наук. 05.03.01. – М., 1956. – 262с.

Поступила в редколлегию 23.05.10