

УДК 621.831

А.Т. Скойбеда, д-р техн. наук, проф., П.Н. Громыко, д-р техн. наук, доц.,
Л.Г. Доконов

ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ЗУБЬЕВ САТЕЛЛИТНЫХ КОЛЕС ПРЕЦЕССИОННОЙ РОЛИКОВОЙ ПЕРЕДАЧИ

Рассмотрен способ решения технологической проблемы, возникающей при изготовлении деталей планетарной прецессионной передачи в случае разности между числом контактирующих зубьев сателлитного и центрального колес, равной единице.

К настоящему времени спроектированы, изготовлены и находятся в эксплуатации различные устройства, разработанные на базе планетарной прецессионной передачи. Это ручные и электрические лебедки, используемые для ремонтно-аварийных работ, а также редукторы для приводов контактных разъединителей, установленных на электрифицированных участках железной дороги [1, 2]. Применение прецессионной передачи указанных выше устройств эвольвентного зацепления, позволяющего изготавливать зубчатые венцы традиционными методами зубообработки, а также отсутствие специальных приспособлений и инструмента делает её конструкцию высокотехнологичной.

В работах [2, 3] изложена методика создания твердотельных моделей прецессионной передачи с эвольвентными зубьями в среде SolidWorks, благодаря чему стало возможно определение основных показателей их зацепления на стадии проектирования. На рис. 1 показана твердотельная модель планетарной прецессионной передачи типа 2К-Н, использующая в зацеплении эвольвентный и круговой зубчатый профиль.

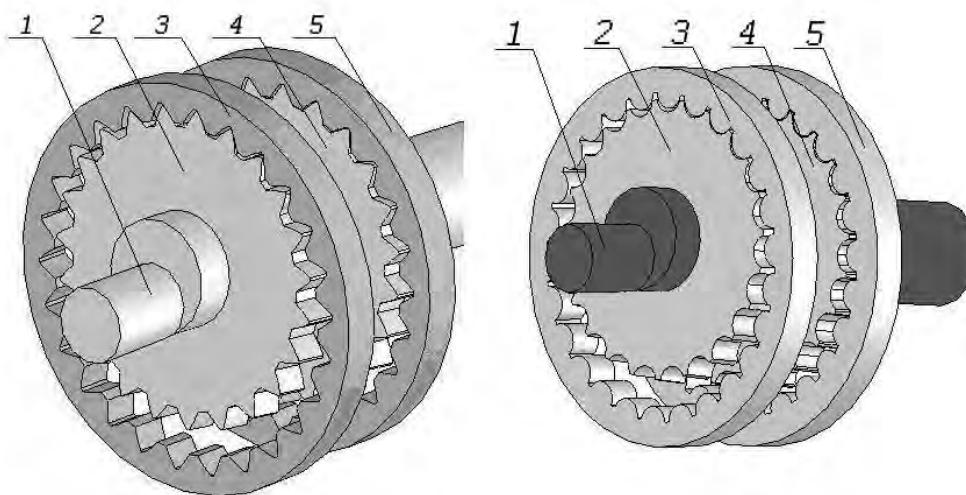


Рис. 1. Твердотельная модель прецессионной передачи типа 2К-Н с эвольвентными и круговыми зубчатыми профилями колес: 1 - вал наклонный; 2 - сателлит первой ступени; 3 - неподвижное колесо; 4 - сателлит второй ступени; 5 - подвижное колесо

В процессе исследований твердотельных моделей прецессионной передачи было установлено, что при разнице зубьев между центральным и контактирующим с ним сателлитным колесом, равной единице, наблюдается увеличение длины контактной линии и уменьшение скорости относительного скольжения. Это способствует снижению динамических составляющих и механических потерь в зацеплении. Однако при разни-

цы между числом контактирующих зубьев центрального и сателлитного колес, равной единице; технологически невозможно создание прецессионного зацепления с эвольвентным профилем зубьев. Это объясняется тем, что нарезание зубьев сателлитного колеса стандартным зуборезным инструментом необходимо производить с большими значениями коэффициента смещения исходного контура, при котором неизбежно срезание зубьев сателлитного колеса.

Отсутствие срезания зубьев сателлитного колеса при разнице между числом контактирующих зубьев сателлитного и центрального колес, равной единице, обеспечивает использование червячной фрезы с круговыми зубьями. В данном случае в качестве формообразующего профиля зубьев центрального колеса в прецессионной передаче используются роликовые тела [5...7].

Методика построения твердотельной модели прецессионной роликовой передачи практически ничем не отличается от методики построения твердотельной модели прецессионной передачи с эвольвентными зубьями за исключением того, что точки формообразующей поверхности зубьев центрального колеса должны быть рассчитаны исходя из уравнений, описывающих цилиндрическую поверхность роликовых тел.

В [8, 9] предложены способы изготовления сложнопрофильных поверхностей зубьев сателлитных колес прецессионной роликовой передачи с помощью специальных приспособлений, которые обеспечивают точное в пределах допуска на изготовление совпадение теоретической и получаемой в процессе зубообработки поверхностей зубьев сателлитного колеса. Однако необходимость использования специальных приспособлений и инструмента увеличивает трудоёмкость процесса обработки.

Менее трудоемким, исключая использование специальных приспособлений и инструмента при зубонарезании сателлитного колеса, является способ двойного рабочего хода. Сущность данного способа изложена в работах [10, 11]. При обработке зубьев сателлитного колеса способом двойного хода инструмента требуется в каждом конкретном случае сравнение теоретической и получаемой в процессе нарезания поверхностей зубьев сателлитного колеса.

Для этого необходимо проделать следующие действия:

- создать методами компьютерного моделирования теоретическую твердотельную модель поверхности сателлитного колеса;
- изготовить методом двойного хода инструмента сателлитное колесо на зубофрезерном станке, используя при этом червячную фрезу с круговыми зубьями;
- определить, используя специальное приспособление для контроля, координаты точек поверхности сателлитного колеса, полученной методом двойного хода инструмента;
- по координатам точек сателлитного колеса создать твердотельную компьютерную модель сателлитного колеса;
- произвести сравнительный анализ теоретической и полученной способом двойного хода инструмента твердотельных моделей поверхностей сателлитного колеса.

Сложность вышеприведенного метода сравнительной оценки поверхностей заключается в необходимости изготовления на зубофрезерном станке контрольного сателлитного колеса и снятия координат точек его поверхности для построения твердотельной модели.

В связи с этим была поставлена задача: получить уравнения, позволяющие осуществить в среде графического редактора SolidWorks построение твердотельной модели поверхности зубьев сателлитного колеса, полученной способом двойного хода инструмента. Это позволит компьютерными методами провести сравнительный анализ полученной способом двойного хода инструмента поверхности зубьев с теоретической поверхностью зубьев сателлитного колеса. В результате такого подхода в каждом конкретном случае проектирования прецессионной передачи может быть оценена возмож-

ность использования метода двойного хода для получения поверхности зубьев сателлитного колеса без осуществления трудоемких операций зубофрезерования поверхности контрольного сателлитного колеса и снятия координат её точек.

Уравнения кривой, которая описывает образующую поверхности, получаемой в результате нарезания зубьев на заготовке червячной фрезой с круговыми зубьями, получим на основании построений рис. 2.

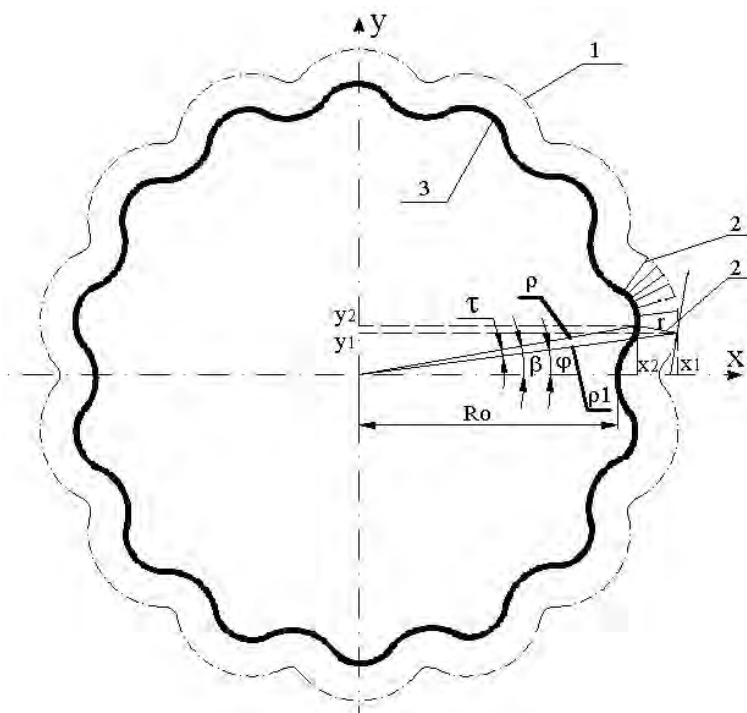


Рис. 2. К выводу уравнений кривой, образующей поверхность круговых зубьев сателлита

На рис. 2 изображена кривая 1, отражающая траекторию движения центра ролика, движущегося по прямолинейной траектории на расстоянии R_0 от центра вращения заготовки сателлитного колеса. Параметрические уравнения кривой 1 имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} x_1 &= \rho_1 \cos \varphi; \\ y_1 &= \rho_1 \sin \varphi, \end{aligned} \quad (1)$$

где φ - угол, определяющий положение заготовки сателлитного колеса; ρ_1 - расстояние, определяющее положение точек центра ролика, подсчитываемое согласно выражению

$$\rho_1 = \frac{R_0}{\cos(z\varphi)},$$

где z - число зубьев сателлитного колеса.

Верхнее значение угла $z\varphi$ ограничивается высотой зуба h сателлитного колеса. Его можно определить, используя следующую зависимость:

$$z\varphi = \arccos\left(\frac{R_0}{R_0 + h}\right).$$

Если от каждой точки, образующей кривую 1, провести перпендикулярно касательной кривой 1 лучи 2 и отложить на расстоянии радиуса ролика r точки, то последовательное их соединение точек позволит получить кривую 3. Кривая 3 будет являться образующей поверхности круговых зубьев сателлитного колеса.

На основании построений рис. 2 ниже получены уравнения кривой 3, образующей поверхность круговых зубьев сателлитного колеса.

$$\begin{aligned}x_2 &= \rho \cos(\varphi + \tau); \\y_2 &= \rho \sin(\varphi + \tau),\end{aligned}\quad (2)$$

$$\text{где } \rho = \sqrt{\left(\frac{R_0}{\cos z\varphi}\right)^2 + r^2 - 2\frac{R_0}{\cos z\varphi}r \cos\left(\frac{\pi}{2} - \arctg\frac{y_1'}{x_1'} + \varphi\right)}; \quad \tau = \arccos\left(\frac{\rho_1 \cos\varphi - r \cos\left(\arctg\frac{y_1'}{x_1'} - \frac{\pi}{2}\right)}{\rho}\right);$$

$$x_1' = \frac{R_0 z \sin(z\varphi)}{\cos^2(z\varphi)} \cos\varphi - \frac{R_0}{\cos(z\varphi)} \sin\varphi; \quad y_1' = \frac{R_0 z \sin(z\varphi)}{\cos^2(z\varphi)} \sin\varphi - \frac{R_0}{\cos(z\varphi)} \cos\varphi.$$

На основе полученных выше уравнений (2) в среде графического редактора SolidWorks создается твердотельная модель поверхности зубьев сателлитного колеса. Средствами указанного выше графического редактора полученная твердотельная модель поверхности сравнивается с теоретической твердотельной моделью зубьев сателлитного колеса. В случае, если отклонения размеров полученной и теоретической моделей не превышают значения принятых допусков на изготовление, делается вывод о возможности применения метода двойного хода инструмента для формообразования поверхности зубьев сателлитных колес.

Используя описанную выше методику оценки возможности использования способа двойного хода инструмента для формообразования поверхностей зубьев сателлитного колеса, был изготовлен опытный образец роликового прецессионного редуктора, который успешно прошел предварительные испытания и направлен для проведения эксплуатационных испытаний в составе бетонозаглаживающей машины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Планетарные прецессионные передачи (ППП). Кинематический, силовой и технологический аспекты их создания / П. Н. Громыко [и др.] ; под. общ. ред. А. Т. Скойбеды. – Мн. : БГПА, 2000. – 252 с.
2. **Скойбеда, А. Т.** Коническо-цилиндрические прецессионные редукторы / А. Т. Скойбеда, П. Н. Громыко. – Мн. : БГПА, 2001. – 187 с.
3. **Громыко, П. Н.** Моделирование зацепления зубчатых колес планетарной прецессионной передачи / П. Н. Громыко, С. Н. Хатетовский // Создание и применение высокоэффективных наукоемких ресурсосберегающих технологий, машин и комплексов: материалы междунар. науч.-техн. конф. – Могилев : МГТУ, 2001. – С. 142.
4. **Хатетовский, С. Н.** Моделирование на ЭВМ сателлитного колеса коническо-цилиндрической прецессионной передачи / С. Н. Хатетовский, П. Н. Громыко // Теория и практика машиностроения. – 2005. - № 1. – С. 21-24.
5. **Громыко, П. Н.** Прецессионная роликовая передача // Ученые и специалисты – народному хозяйству области: тез. докл. обл. науч.-техн. конф. – Могилев, 1991. – С. 24.
6. **Пат. 2000504 СССР, МКИ⁵ F 16 H 1/32.** Планетарная прецессионная передача / П. П. Громыко ; заявитель и патентообладатель Могилев. машиностр. ин-т. - № 4860828/28 ; заявл. 20.08.90 ; опубл. 07.09.93, Бюл. № 33-36. – 4 с. : ил.
7. **Пат. 2020328 РФ, МКИ⁵ F 16 H 1/32.** Планетарная прецессионная передача / П. Н. Громыко ; заявитель и патентообладатель Могилев. машиностр. ин-т. - № 5004068/28 ; заявл. 01.07.91 ; опубл. 30.09.94, Бюл. № 18. – 4 с. : ил.
8. **Громыко, П. Н.** Способы образования зубчатых венцов на цилиндрической поверхности прецессионного диска двухвенцовой роликовой передачи // Совершенствование существующих и создание

новых ресурсосберегающих технологий и оборудования в машиностроении, сварочном производстве и строительстве : тез. докл. респ. науч.-техн. конф. – Могилев, 1991. – Ч. 1. – С. 116-117.

9. **Скойбеда, А. Т.** К проблеме формирования профиля зубьев колес планетарной прецессионной передачи / А. Т. Скойбеда, П. Н. Громыко, С. Н. Хатетовский // Изв. НАН Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. – 2001. - № 1. – С. 69-73.

10. Использование традиционных методов обработки для формообразования зубьев сателлита коническо-цилиндрической прецессионной передачи / А. Т. Скойбеда [и др.] // Современные методы проектирования машин : респ. межведомственный сб. науч. тр. – Мн., 2004. – Т. 5. – С.33-36.

11. **Громыко, П. Н.** Использование традиционных методов зубообработки для формирования зубчатых поверхностей сателлита коническо-цилиндрической прецессионной передачи / П. Н. Громыко, С. Н. Хатетовский, Л. Г. Доконов // Прогрессивные технологии, технологические процессы и оборудование : материалы междунар. науч.-техн. конф. – Могилев, 2003. – С. 33.

Белорусско-Российский университет.
Материал поступил 29.10.2005

A.T. Skoibeda, P.N. Hramyka, L.G. Dokonov
Precession roller transmission satellite gear
rings teeth surface shaping
Belarusian-Russian University

The way of solution of the technological problem occurring while the manufacture of planetary precession transmission parts with optional difference of 1 teeth between the numbers of interacting teeth of satellite and central gear rings have been considered.