

УДК 621.9

А.В. Витренко, ст. преподаватель
Луганский университет имени Владимира Даля, Украина
Тел./Факс: +38 (0642) 413076; E-mail: tm@snu.edu.ua

СОЗДАНИЕ ВИНТОВОЙ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ С ЛИНЕЙНЫМ КОНТАКТОМ ЗУБЬЕВ ЗА СЧЕТ РАЗРАБОТКИ НОВОЙ СХЕМЫ ЕЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ

В представленной работе рассматриваются различные зубчатые колеса, применяемые в винтовых зубчатых передачах изготовление которых требует множества различных технологий, а также различных зуборезных инструментов, основанных на схемах формообразования третьего класса. Такие передачи широко распространены в общем машиностроении, автомобилестроении и других областях. Бесшумность и плавность работы таких передач является одним из основных их преимуществ. Однако, из-за точечного характера касания зубьев в зоне контакта возникают значительные удельные давления, скорости скольжения, приводящие к их низкой несущей способности. В работе предлагается принципиально новая схема формообразования таких зубчатых колес, позволяющая получить зубчатую передачу с линейным контактом зубьев при любом их передаточном отношении.

Ключевые слова: винтовая зубчатая передача, линейный контакт зубьев, схема формообразования, контактная линия, профиль.

1. Введение

При разработке новых конструкций зубчатых передач наиболее важной является задача определения схемы формообразования зубчатых поверхностей, заключающаяся в нахождении профиля нарезаемого зуба в зависимости от кинематики процесса изготовления зубьев колес и кинематики работы зубчатой пары в сконструированной машине или механизме.

Зубья колес зубчатой передачи могут быть образованы при помощи существующих трех способов [1,4] их формообразования. Согласно первому способу формообразования при движении нарезаемых зубьев относительно зуборезного инструмента определяется поверхность зуба как огибающая инструмента. При использовании второго способа формообразования зубьев вначале находится вспомогательная производящая поверхность, а на ее основе находится поверхность инструмента, при помощи которого будут нарезаться зубья. Что можно сказать о третьей схеме формообразования – это схема, при которой необходимо найти линейный контакт между зубьями формообразующего инструмента и зубьями получаемого зубчатого колеса. Согласно этой схеме изготавливаемое зубчатое колесо должно работать в собранном механизме аналогично тому, как его изготавливают на зубообрабатывающем оборудовании.

При изготовлении зубчатых колес на практике получили распространение кинематические схемы формообразования, основанные на прямолинейном (поступательном) и вращательном движениях зубчатых элементов, а также различные их сочетания. Классификация существующих схем формообразования зубчатых колес и кинематических схем для их осуществления изложены в работе [5] и базируются на сочетании различных кинематических движений и различных их преобразований (поступательное

движение преобразуют во вращательное, а вращательное движение преобразуют в поступательное и т.д.).

Из перечисленного выше следует отметить, что описанные положения теории формообразования поверхностей, от которых зависит конструкция и геометрия нарезаемых зубчатых колес, требуют наиболее глубоких исследований, определяющих дальнейшее и более тщательное её совершенствование и развитие. Следовательно, возникает задача определения множества поверхностей зубьев зубчатых колес, обрабатываемых стандартным инструментом при помощи различных кинематических схем резания.

2. Основное содержание и результаты работы

Положение винтового зубчатого колеса в пространстве определяется тремя линейными и тремя угловыми координатами. Переход от системы координат цилиндрического зубчатого колеса к системе координат искомого винтового гиперболоидного зубчатого колеса осуществляется при помощи матриц перехода, аналогично работам [2,3].

Для осуществления такого перехода применяются, как правило, матрицы перехода четвертого порядка. Эта матрица при переходе к другой системе координат предполагает не только поворот вокруг координатной оси, совпадающей с осью одного зубчатого колеса, а и перемещение начала координат вдоль одной или двух координатных осей.

В данном исследовании геометрия винтового гиперболоидного зубчатого колеса определяется в зависимости от геометрии формообразующего зубчатого колеса и видов движений, которые осуществляют оба эти элемента. Поскольку оси сопрягаемых зубчатых колес скрещиваются, то в этом исследовании применена методика анализа сопряженных пространственных зацеплений. Проведя анализ известных способов изготовления различных зубчатых колес, можно сделать вывод, что передача движения между осями с заданным передаточным отношением требует, чтобы проектируемое зубчатое зацепление удовлетворяло ряду показателей, обеспечивающих простоту технологии их изготовления, малую чувствительность к погрешностям их изготовления и сборки, высокую долговечность и качество, а также высокую нагрузочную способность.

Для определения уравнения зацепления при проектировании и производстве винтовых зубчатых передач, а также передач других видов, применяется обычно кинематический метод, который требует определения относительной скорости скольжения зубьев в данной передаче. Поэтому в качестве методики определения скорости относительного скольжения в данном исследовании выбран векторный способ ее определения, как наиболее простой и наглядный метод. Эта методика заключается в нахождении скоростей зубьев контактирующих звеньев, а затем скорости скольжения как разницы скоростей зубьев этих звеньев. В этом случае абсолютное движение тела определяется по его заданным относительному и переносному движениям. Если в неподвижной системе координат записать уравнение движения зубчатого колеса (профиль которого известен), которое меняется в зависимости от времени, то уравнение движения второго зубчатого колеса (искомого) находится согласно следующей схеме (рис. 1). На рис. 1 показано:

$x_0y_0z_0$ – неподвижная система координат;

$x_1y_1z_1$ – система координат, связанная с первым зубчатым колесом;

$x_2y_2z_2$ – система координат, зв'язана со вторим зубчатим колесом (в даному випадку винтове зубчасте колесо).

При проектуванні різноманітних винтових зубчатих передач, необхідно визначити основні геометро-кінематичні параметри їх роботи, впливаючі на довговічність і якість роботи всього механізму.

Швидкість довільної точки зуба косокутного зубчатого колеса визначається при допомозі наступного рівняння:

$$\vec{V}_1 = \vec{\omega}_1 \times \vec{r}_1, \quad (1)$$

де \vec{r}_1 – радіус-вектор точки контакту на зубі колеса;

$\vec{\omega}_1$ – вектор кулової швидкості зуба косокутного колеса.

Швидкість точки контакту на зубі винтового зубчатого колеса (в даному випадку винтового гіперболоїдного зубчатого колеса), визначається при допомозі наступного рівняння:

$$\vec{V}_2 = \vec{\omega}_2 \times \vec{r}_2 + \vec{A} \times \vec{\omega}_2, \quad (2)$$

де \vec{r}_2 – радіус вектор, описуючий точку контакту на зубі гіперболоїдного колеса;

$\vec{\omega}_2$ – вектор кулової швидкості зуба гіперболоїдного колеса;

A – міжосеве відстань в передачі.

Для визначення швидкості відносного руху пари зубчатих колес, необхідної для визначення износа зубчастої пари може бути застосована методика

використання векторного або матричного способу визначення цього параметра. Відносна швидкість ковзання використовується, перш за все, для визначення рівняння зацеплення в проектуємій зубчастій передачі при допомозі кінематичного методу.

Відносна швидкість ковзання визначається як швидкість відносного руху точки, жорстко зв'язаної з прямозубим або косокутним зубчастим колесом, відносно тієї ж точки, жорстко зв'язаної з зубом

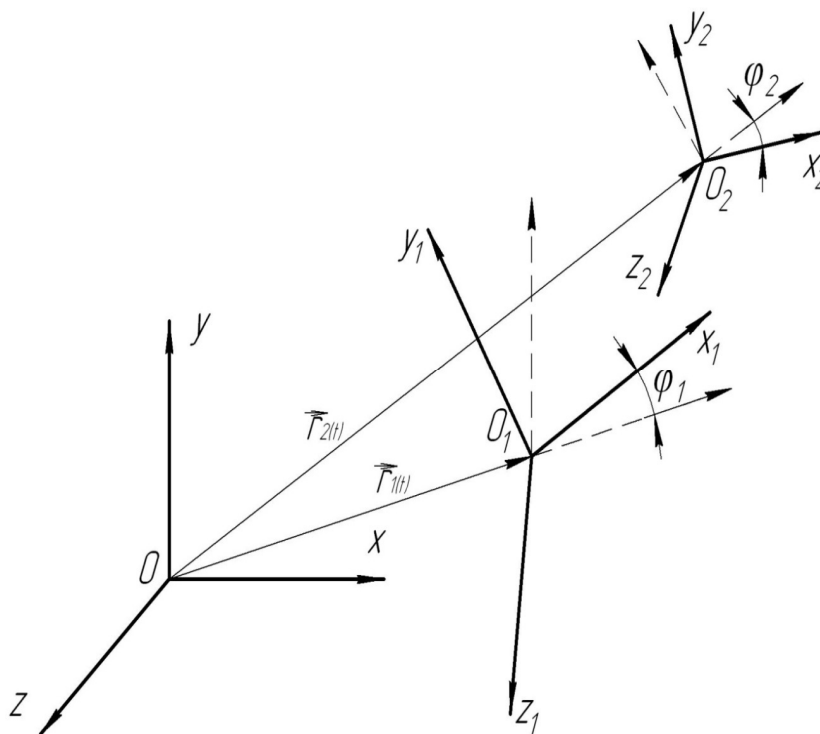


Рис. 1. Схема переходів в системі координат одного зубчатого колеса к системі координат другого

винтового гиперболоидного зубчатого колеса:

$$\vec{V}_{12} = \vec{V}_1 - \vec{V}_2 = \omega \times \vec{r} - \vec{A} \times \omega_2, \quad (3)$$

где $\vec{\omega}_{12} = \vec{\omega}_1 - \vec{\omega}_2$.

Суммарная скорость перемещения контактирующих звеньев определяется как сумма скоростей контактирующих звеньев

$$\vec{U} = \vec{V}_1 + \vec{V}_2. \quad (4)$$

Угол между вектором относительной скорости скольжения и направлением контактной линии необходим при проектировании зацепления пары зубчатых колес. Если этот угол стремится к нулю, то путем формообразования стружечных канавок на одном из зубчатых колес вместо гиперболоидной зубчатой пары проектируют технологическую схему изготовления зубчатых колес. Если угол между контактной линией и скоростью скольжения стремится к максимальному значению, то получается винтовая гиперболоидная зубчатая пара, имеющая наибольший эффект в зацеплении.

Для определения усилий формообразования зубьев необходимо найти их приведенную кривизну. Под кривизной поверхности понимается кривизна кривой, образованной сечением поверхности плоскостью. Как правило, рассматриваются нормальные сечения, в которых определяются нормальные кривизны. Чтобы определить нормальную кривизну, необходимо на контактирующем зубе найти точку контакта, а также плоскость, содержащую нормаль к поверхности зуба в этой точке. При повороте заданной плоскости вокруг нормали получаем различные кривые, проходящие через выбранную точку, а, следовательно, и различные кривизны нормальных сечений в выбранной точке.

Поэтому, в данном исследовании приведенные кривизны находятся как разность кривизны соприкасающихся поверхностей в одном и том же сечении. Этот параметр необходим для определения контактных давлений в зацеплении и определения площади контакта зубьев.

Для определения степени износа зубьев в проектируемой передаче в работе рассматриваются так называемые коэффициенты удельных скольжений на зубе косозубого цилиндрического зубчатого колеса и на зубе искомого винтового гиперболоидного зубчатого колеса. Если коэффициенты удельных скольжений велики, то будет наблюдаться сильный износ поверхностей зубьев. Коэффициент удельного скольжения прямо пропорционален относительной скорости скольжения и обратно пропорционален скорости перемещения точки контакта по зубу колеса. Следовательно, чем больше относительная скорость скольжения между зубьями, тем больше износ зубьев.

На основании вышеизложенного разработана схема формообразования пространственных зацеплений с линейным характером касания поверхностей зубьев, получаемых при соблюдении следующих двух условий:

1. Нарезание поверхности зубьев одного из звеньев зубчатого механизма производится инструментальной поверхностью, полностью совпадающей с поверхностью другого звена передачи.

2. При образовании поверхностей зубьев зубчатых колес проектируемой передачи они при формообразовании должны иметь на зубофрезерном станке такое же относительное движение, которое они имеют в зубчатом механизме.

3. Заключение

В процессе выполнения работы получены следующие научные результаты:

1. Разработана принципиально новая схема формообразования винтовых зубчатых колес методом зуботочения при помощи цилиндрических обкаточных резцов.
2. Разработана теория проектирования гиперболоидных зубчатых колес, применяемых в ортогональных зубчатых передачах с линейным контактом зубьев.
3. Найдена геометрия и профиль винтовых зубчатых колес, сопряженных с прямозубым или косозубым цилиндрическим зубчатым колесом.
4. Определены основные геометро-кинематические показатели зацепления ортогональной винтовой зубчатой передачи, позволяющие судить о работоспособности передачи еще на стадии проектирования.
5. Доказано, что при изменении геометрических размеров винтовых зубчатых колес, при одном и том же передаточном отношении, характер касания зубьев будет линейным.

Список литературы:

1. Калашников С.Н. Зубчатые колеса и их изготовление / С.Н. Калашников, А.С. Калашников. – М.: Машиностроение, 1983. – 264 с.
2. Литвин Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений / Ф.Л.Литвин. – М.: Наука, 1968, 584 с.
3. Перепелица Б.А. Автоматизированное профилирование режущих инструментов (теория и алгоритмы): Учебное пособие / Б.А.Перепелица. – Харьков: ХПИ, 1985. – 107 с.
4. Родин П.Р. Основы проектирования режущих инструментов / П.Р.Родин. – К.: Вища школа, 1990. – 424 с.
5. Цвис Ю.В. Профилирование режущего обкатного инструмента / Ю.В. Цвис – М.: Машгиз, 1961. – 155 с.

Надійшла до редколегії 29.12.2014.

A.V.Vitrenko

HELICAL GEAR TRANSMISSION HAVING LINEAR TEETH TOUCH CREATION DUE TO DEVELOPMENT OF NEW SCHEME OF SHAPE FORMATION

Principally new scheme of helical gear shape formation allowing for obtaining teeth transmission having linear touch of teeth at any transmission ratio has been proposed. Basic geometry and kinematic parameters of developed transmission characterizing its workability even at stage of design have been found out.

Key words: helical gear transmission, teeth linear contact, shape-formation scheme, contact line, profile.

О.В. Вітренко

СТВОРЕННЯ ГВИНТОВОЇ ЗУБЧАСТОЇ ПЕРЕДАЧІ З ЛІНІЙНИМ ТОРКАННЯМ ЗУБЦІВ ЗА РАХУНОК РОЗРОБКИ НОВОЇ СХЕМИ ЇЇ ФОРМОУТВОРЕННЯ

В роботі пропонується принципово нова схема формоутворення гвинтових зубчастих коліс що дозволяє одержати зубчасту передачу з лінійним характером торкання зубців при будь якому їх передавальному відношенні. Знайдені основні геометро-кінематичні параметри спроектованої передачі які характеризують її працездатність ще на стадії проектування.

Ключові слова: гвинтова зубчаста передача, лінійний контакт зубців, схема формоутворення, контакт-на лінія, профіль.