

УДК 621.9

А.В. Витренко, старший преподаватель
Луганский государственный университет имени Владимира Даля
Тел./Факс: +38 (062) 413076; E-mail: tm@snu.edu.ua

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВИНТОВЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

В представленной работе получены принципиально новые винтовые зубчатые колеса, имеющие линейный контакт зубьев при любом передаточном отношении. Для этого предлагается изменить схему формообразования гиперболического зубчатого колеса. В этом случае нарезаемое гиперболическое зубчатое колесо будем вращать и двигать вдоль горизонтальной плоскости таким образом, что передняя поверхность инструментального зубчатого колеса будет двигаться вдоль прямолинейной образующей однополостного гиперболического параболоида. Все это позволит получить принципиально новый профиль нарезаемого зуба, который будет иметь линейный контакт при любом передаточном отношении.

Ключевые слова: гиперболическое колесо, линейный контакт, схема формообразования, инструмент, станок.

A.V. Vitrenko

FUNDAMENTALS OF HELICAL GEARS PRODUCTION TECHNOLOGY

Creation of principally new helical gears having linear teeth contact under any transmission ratio is the aim of the presented paper. To achieve the aim it has been proposed to change the scheme of hyperbola gear formation. In this case hyperbola gear wheel being cut will be rotating and moving along horizontal surface so that the front surface of instrumental gear wheel is moving along rectilinear formative of a single cave hyperbola. All these will allow for obtaining principally new profile of a gear being cut which will have a liner contact under any transmission ratio.

Key words: hyperbola gear, linear contact, scheme of shape formation, instrument, machine-tool.

1. Введение

Во многих машинах и механизмах требуется передавать движения при помощи зубчатых колес, смонтированных на скрещивающихся валах[1]. При этом из теоретической механики, машиноведения, технологии машиностроения, станков и инструментов хорошо известно, что зубья в этом случае конструктивно должны проектироваться на однополостных гиперболических параболах. Однако вот уже более ста лет нигде в мире на однополостных гиперболических параболах не удается сконструировать и изготовить зубья. Из-за кажущейся сложности однополостной гиперболической параболы делят на несколько частей: первая часть находится в горловине, другие части находятся вдали от нее. Наружная поверхность таких частей заменяется на прямые участки, в результате чего получают цилиндрические и конические заготовки, на которых проектируются цилиндрические и конические зубчатые колеса, которые используют в винтовых и гипоидных зубчатых передачах, с ярко выраженным точечным характером касания. Несущая способность таких передач невысока, поэтому они в основном применяются в кинематических цепях приборов, станков и т.д. Однако исследователи, производственники, другие специалисты в области проектирования зубчатых передач стремятся повысить их несущую способность в несколько раз, за счет получения линейного контакта зубьев вместо точечного. С этой целью в винтовой передаче одно колесо заменяют на рейку, в результате чего получают зубчатоременную передачу с линейным характером касания зубьев. Такая передача применяется в механизмах, где необходимо получить поступательное движение, например, в различных металлорежущих станках, подъемниках. Однако, в большинстве конструкций требуется

получить вращательное движение на обоих валах. В этом случае зубчатую рейку заменяют на червяк, в результате получается червячная передача. Такие передачи могут иметь как точечный, так и линейный характер касания зубьев.

Если передаточное число в червячной передаче будет больше 8, то характер касания зубьев будет линейным. Если передаточное число в передаче меньше 8, то характер касания зубьев будет точечным. Из всего сказанного следует, что актуальной проблемой в области конструирования винтовых зубчатых передач является проблема получения зубьев на однополостных гиперблоидах с целью получения линейного контакта.

Нарезать зубья на однополостном гиперблоиде при помощи цилиндрического зубчатого колеса в производственных условиях очень сложно. Для этого необходимо модернизировать станок таким образом, чтобы нарезаемое винтовое (гиперблоидное) зубчатое колесо и инструментальное колесо имели согласованные вращения при помощи гитары деления станка, кроме того, инструментальное зубчатое колесо должно двигаться в горизонтальной плоскости. Для этого необходимо в значительной степени модернизировать зубофрезерный станок или спроектировать зубообрабатывающие станки новой конструкции, что в настоящее время является весьма затруднительным процессом.

2. Основное содержание и результаты работы

В представленной работе нарежем зубья на гиперблоиде при помощи стандартных зубофрезерных станков «Pfafter» и 5E32, которые в своей конструкции имеют протяжной суппорт. Для этого заготовка устанавливается на инструментальной оправке, закрепленной в инструментальном шпинделе зубофрезерного станка. Шпиндель станка поворачивают на угол, равный углу подъема витка однополостного гиперблоида. На столе станка устанавливается инструментальное зубчатое колесо таким образом, чтобы его передняя поверхность была параллельна прямолинейной образующей однополостного гиперблоида. При помощи гитары деления станка нарезаемое гиперблоидное зубчатое колесо и инструментальное колесо приводятся в согласованное вращение. Инструментальный суппорт имеет одновременно две подачи: осевую и тангенциальную. В результате этих двух подач нарезаемое зубчатое колесо перемещается вдоль горизонтальной плоскости.

Нарезание зубьев винтового зубчатого колеса осуществляют за два прохода. На первом проходе цилиндрическую заготовку устанавливают таким образом, что через ее среднее сечение проходит прямая параллельная передней режущей кромке круглого резца. При этом нарезается наружная поверхность однополостного гиперблоида. Диаметр круглого резца равен диаметру окружности впадин инструментального зубчатого колеса. На втором проходе гиперблоидную заготовку опускают на величину, равную высоте круглого резца, таким образом, что передняя грань цилиндрического инструментального зубчатого колеса совпадает с прямолинейной образующей однополостного гиперблоида.

При помощи перечисленного выше способа изготовления винтовых гиперблоидных зубчатых колес можно получать только прямозубые зубчатые колеса. Но в механизмах очень часто при одних габаритных размерах необходимо менять передаточное отношение. Следовательно, возникает необходимость нарезать зубчатые колеса одного размера с разным углом наклона зуба. Для этого была разработана принципиально новая схема формообразования гиперблоидных зубчатых колес, представленная на рис. 1.

Приведенный на рис. 1 способ изготовления гиперболоидных зубчатых колес по кинематике аналогичен известным способам [2,3] способам. Отличие способа заключается в том, что при нарезании зубьев дополнительно настраивают гитару дифференциала зубофрезерного станка[4]. В этом случае получаем возможность изготовить гиперболоидные зубчатые колеса принципиально новой геометрии, у которых линия зуба отклоняется от прямолинейной образующей однополостного гиперболоида. Все это приводит к тому, что появляется возможность значительно уменьшить габаритные размеры нарезаемых гиперболоидных зубчатых колес с одновременным повышением коэффициента перекрытия зубьев в гиперболоидной передаче.

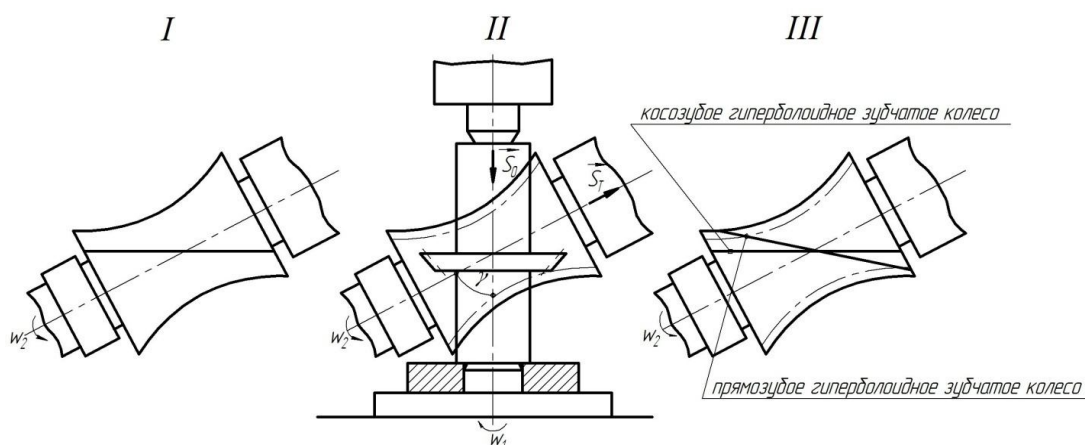


Рис. 1. Схема нарезания косозубых гиперболоидных зубчатых колес

Изготовим 3 винтовых косозубых зубчатых колеса с углом наклона зуба $\beta_1 = 83^\circ$; $\beta_2 = 82^\circ$; $\beta_3 = 81^\circ$. Зубчатые колеса с углом наклона зубьев $\beta_1 = 45^\circ$ являются прямозубыми гиперболоидными зубчатыми колесами, т.к. в этих колесах зуб проходит через прямолинейную образующую однополостного гиперболоида, остальные гиперболоидные зубчатые колеса являются косозубыми.

Рассчитаем размеры этих зубчатых колес. На первом этапе определим делительный диаметр таких колес в торцовом сечении:

$$d_d = \frac{m_n}{\cos \beta} \cdot z_2; d_{d_1} = \frac{1,5}{\cos 83^\circ} \cdot 6 = 73,83 \text{ мм}; d_{d_2} = 64,66 \text{ мм}; d_{d_3} = 57,54 \text{ мм}. \quad (1)$$

Итак, из расчета видно, что изменение угла наклона зуба на 1° ведет к резкому изменению геометрических размеров нарезаемых зубчатых колес. Найдем наружный диаметр этих колес.

$$d_a = d_d + 2m_n; d_{a_1} = 73,83 + 2 \cdot 1,5 \approx 76,83 \text{ мм}; d_{a_2} \approx 67,66 \text{ мм}; d_{a_3} \approx 60,54 \text{ мм}. \quad (2)$$

Далее необходимо настроить гитару деления зубофрезерного станка. Для этого необходимо определить горизонтальную подачу прямозубого долбяка. Выберем тангенциальную подачу зубофрезерного станка 5E32, равную 0,15 мм на 1 об. ст. Тогда тангенциальная подача при шестизаходном гиперболоидном колесе равна:

$$S_t = 0,15 \cdot 6 = 0,9 \text{ мм/ об.ст.}$$

Вертикальная подача определяется следующим образом:

$$S_B = S_t \cdot z_2 \cdot \sin \beta, \quad (3)$$

$$S_{B_1} = 0,15 \cdot 6 \cdot \sin 7^\circ = 0,15 \cdot 6 \cdot 0,121869 = 0,109682 \text{ мм/ об.ст.};$$

$$S_{B_2} = 0,15 \cdot 6 \cdot \sin 8^\circ = 0,15 \cdot 6 \cdot 0,139173 = 0,125256 \text{ мм/ об.ст.};$$

$$S_{B_3} = 0,15 \cdot 6 \cdot \sin 9^\circ = 0,15 \cdot 6 \cdot 0,156434 = 0,140791 \text{ мм/ об.ст.}$$

Тогда горизонтальные подачи прямозубого долбяка равны:

$$S_{g_1} = 0,15 \cdot 6 \cdot \cos 7^\circ = 0,15 \cdot 6 \cdot 0,992546 = 0,893291 \text{ мм/ об.ст.};$$

$$S_{g_2} = 0,15 \cdot 6 \cdot \cos 8^\circ = 0,15 \cdot 6 \cdot 0,990268 = 0,891241 \text{ мм/ об.ст.};$$

$$S_{g_3} = 0,15 \cdot 6 \cdot \cos 9^\circ = 0,15 \cdot 6 \cdot 0,987688 = 0,888919 \text{ мм/ об.ст.}$$

При настройке гитары деления зубофрезерного станка необходимо, в отличие от стандартной настройки, учитывать поправочный коэффициент, корректирующий этот процесс. Если не учитывать этот коэффициент, то процесс зубонарезания приведет к браку заготовки.

$$K_1 = \frac{S_{g_1}}{\pi m} = \frac{0,893291}{3,14 \cdot 1,5} = 0,0189658; K_2 = 0,013106; K_3 = 0,013072$$

Определим передаточное отношение сменных зубчатых колес делительной гитары при вращении элементов, образующих станочное зубчатое зацепление:

$$\frac{24 \cdot z_2}{z_1 \pm K}, \quad (4)$$

где 24 – характеристика зубофрезерного станка 5E32.

Рассчитаем это отношение для изготовления гиперboloидных зубчатых колес с углом наклона зубьев $\beta_1 = 7^\circ$; $\beta_2 = 8^\circ$; $\beta_3 = 9^\circ$.

$$\frac{24 \cdot 6}{68 + 0,0189658} = 2,117238;$$

$$\frac{24 \cdot 6}{68 + 0,013106} = 2,117239;$$

$$\frac{24 \cdot 6}{68 + 0,013072} = 2,11724.$$

Теперь по таблицам для подбора сменных колес подберем сменные колеса гитары деления для передаточных отношений $u = 2,117238; 2,117239; 2,11724$. Далее, находим обратные величины $1:u$. По расчетным значениям, приведенным ниже слева, находим набор сменных колес. Учитывая, что решение найдено для обратной величины передаточного отношения, меняем местами ведущие и ведомые колеса.

$$\frac{1}{2,117238} = 0,472313;$$

$$\frac{43 \cdot 73}{70 \cdot 95} = 0,47203;$$

$$\frac{1}{2,117239} = 0,472313;$$

$$\frac{43 \cdot 73}{70 \cdot 95} = 0,47203;$$

$$\frac{1}{2,11724} = 0,472313;$$

$$\frac{47 \cdot 73}{70 \cdot 95} = 0,47203.$$

Итак, гитары деления для нарезания перечисленных выше трех зубчатых колёс будут равны: $43 \cdot 73 / 70 \cdot 95$.

Определим относительную погрешность подбора гитары деления станка:

$$\delta = \frac{(0,472313 - 0,47203)}{0,47203} = 0,000063.$$

При определении относительной погрешности, если после запятой будет 4 нуля и более, то зубообработка правильная, если меньше 4-х нулей, то будет, как говорят зуборезчики, «качан», т.е. заготовка уйдет в брак и потребуются дальнейшая перенастройка станка.

После настройки зубофрезерного станка были нарезаны три гиперболоидные шестизаходные зубчатые колеса, представленные на рис. 2.

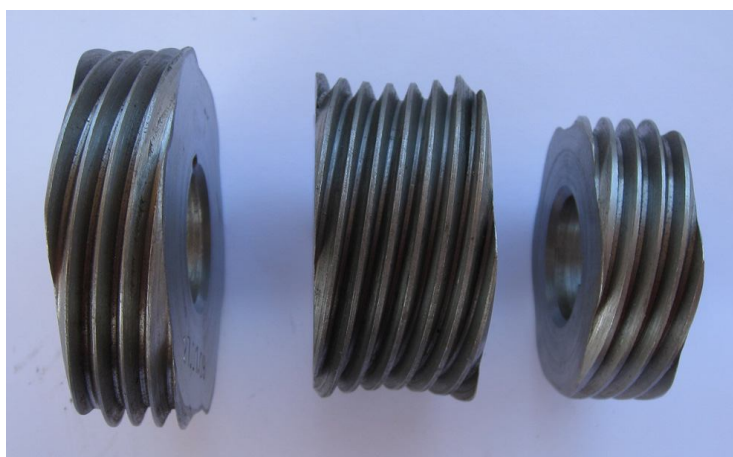


Рис. 2. Шестизаходные гиперболоидные зубчатые колеса

В выполненной работе решена задача формообразования винтовых зубчатых колес, имеющих линейный характер касания зубьев, при любом передаточном отношении. Для этого реализован принципиально новый способ нарезки гиперboloидных зубчатых колес методом зуботочения при помощи незатылованных цилиндрических обкаточных резцов. Найдена геометрия и профиль гиперboloидных зубчатых колес, сопряженных с прямозубым или косозубым цилиндрическим зубчатым колесом. Разработаны способы изготовления гиперboloидных зубчатых колес, отработана технология их изготовления на стандартном зубообрабатывающем оборудовании без дополнительных приспособлений.

3. Заключение

В выполненной работе удалось создать винтовую зубчатую пару с линейным характером касания зубьев при любом передаточном отношении, что позволило реализовать следующее:

1. Разработан принципиально новый способ нарезки винтовых зубчатых колес методом зуботочения при помощи незатылованных цилиндрических обкаточных резцов.
2. Разработана теория проектирования гиперboloидных зубчатых колес, применяемых в ортогональных гиперboloидных зубчатых передачах с линейным контактом.
3. Найдена геометрия и профиль гиперboloидных зубчатых колес, сопряженных с прямозубым или косозубым цилиндрическим зубчатым колесом.

Список литературы:

1. Калашников С.Н. Зубчатые колеса и их изготовление / С.Н. Калашников, А.С. Калашников. – М.: Машиностроение, 1983. – 264 с.
2. Пат. 34475 Украина, МПК В23F 9/00. Способ нарезания гиперboloидных зубчатых колёс / Витренко А.В., Витренко О.С., Кириченко И.А., опубл. 11.08.2008, Бюл. № 15.
3. Пат. 40480 Украина, МПК В23F 9/00. Способ нарезания гиперboloидных зубчатых колёс / Витренко А.В., Витренко О.С., Кириченко И.А., опубл. 10.04.2009, Бюл. № 7.
4. Пат. 44215 Украина, МПК В23F 9/00. Способ нарезания гиперboloидных зубчатых колёс / Витренко А.В. опубл. 25.09.2009, Бюл. № 18.
5. Родин П.Р. Основы формообразования поверхностей резанием / П.Р.Родин. – К.: Вища школа, 1977. – 192 с.

Поступила в редколлегию 07.04.2015 г.