

Е.Б. КОНДУСОВА, д-р. техн. наук, **Р.В. КОВАЛЮХ**, канд. техн. наук (г. Харьков)

МОДЕЛЬ ДВУХПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СТАНОЧНОГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ СПЕЦИАЛЬНЫХ КОЛЕС С ЭКВИДИСТАНТНЫМИ ЛИНИЯМИ ЗУБЬЕВ

Стаття присвячується питанням розробки методів виготовлення двох параметричних зацеплень які забезпечують потрібну точність і якість.

The features of shaping if teeth surfaces of special bevel gear-wheels with constant normal hitch are considered. The analytical description of kinematics in the machinetool. Rack gearing of machined and crown gear-wheels is offered.

Двухпараметрические зубчатые зацепления выгодно отличаются от традиционных расширенными функциями, так как предусматривают независимые кинематические изменения одновременно по двум параметрам. Один из них обеспечивает передачу вращения между валами, второй – непрерывное или дискретное изменения в заданных пределах передаточного отношения, межосевого расстояния или угла между осями в зависимости от эксплуатационных требований к передаче. При этом изменение второго параметра связано с перемещением звена с узким венцом вдоль удлиненных эквидистантных зубьев основного звена [1].

Зубчатые вариаторы скорости целесообразно применять при создании высокопроизводительных металлорежущих станков взамен ступенчатых коробок скоростей и подач, что позволит реализовать в полном объеме оптимальные режимы резания и интенсифицировать процесс обработки [2]. Другая область применения вариаторов – роторные и поточно-пространственные технологические системы, шарниры манипуляторов для робототехнических комплексов, а также переналаживаемая оснастка для гибких производственных систем (многоспindelные переналаживаемые сверлильные головки, приспособления для обработки фасонных поверхностей, прокат профилей переменного сечения и т.д.) [2].

Основным звеном двухпараметрической передачи в общем случае может быть зубчатое колесо на базе начальной поверхности вращения с произвольной образующей переменного радиуса. Колесо имеет эквидистантные линии зубьев с винтовой структурой и переменным шагом и параметром винта. Свяжем с обрабатываемым колесом систему координат 1, с производящим колесом – систему координат 2. На начальной поверхности обрабатываемого колеса расположена непрерывная ортогональная сеть линий зубьев и линий нормальных шагов. Для обеспечения точности зацепления и посто-

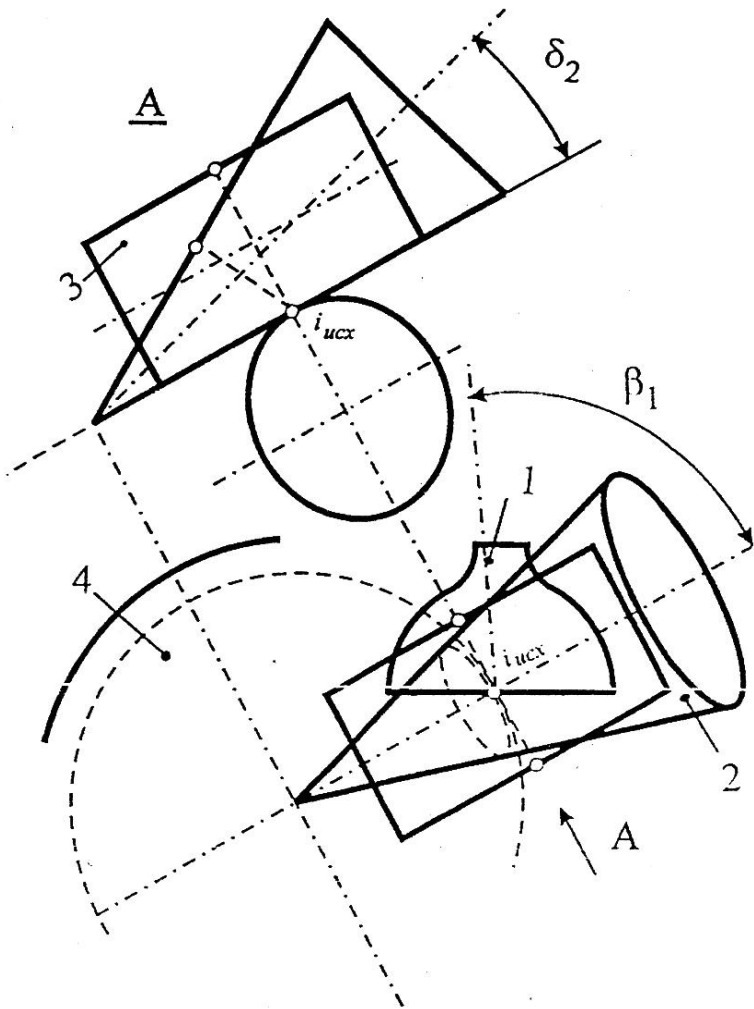
яинства нормальных шагов осевая плоскость производящей поверхности должна быть перпендикулярна линии нормальных шагов. Будем считать, что исходная точка касания начальных поверхностей $u_{исх}$ находится на оси x_1 , и осевая плоскость производящей поверхности проходит через x_1 под углом β_1 к исходной образующей начальной поверхности основного звена (см. рис. 1). Наклон оси производящей поверхности к плоскости, проходящей через точку $i_{исх}$ перпендикулярную x_1 зададим углом δ_2 при конкретной форме образующей поверхности вращения и различных δ_2 . Получаем частные начальные поверхности производящего колеса и, соответственно, частные обкаточные инструменты для обработки колес с эквидистантными зубьями. Так, если образующей является прямая, то можно создать инструменты на базе конического $2(0 \leq \delta_2 \leq \pi/2)$, цилиндрического $3(\delta = 0)$ или плоского $4(\delta = \pi/2)$ производящих колес, если образующей является окружность, то на базе сферического производящего колеса ($\delta = 0$).

Рассмотрим особенности геометрии и обработки конического колеса с эквивалентными зубьями. Каждая линия зуба может быть получена двумя одновременными движениями точки: вращением вокруг оси колеса с параметром ψ и параллельным переносом вдоль текущей образующей конуса с параметром u (см. рис. 2). Вектор суммарной скорости этих движений совпадает с касательной к линии зуба и в исходном положении у основания начального конуса составляет с его образующей начальный угол β , а в текущей точке угол β_i , изменяющейся как функция ψ . Связь между параметрами ψ и u линии зубьев является условием их эквидистантности:

$$\frac{\Delta\psi}{\Delta u} = \frac{1}{R_1 \cos \beta} \sqrt{1 - \frac{R_1^2 \cos^2 \beta}{(R_1 - u \sin \varepsilon)^2}}, \quad (1)$$

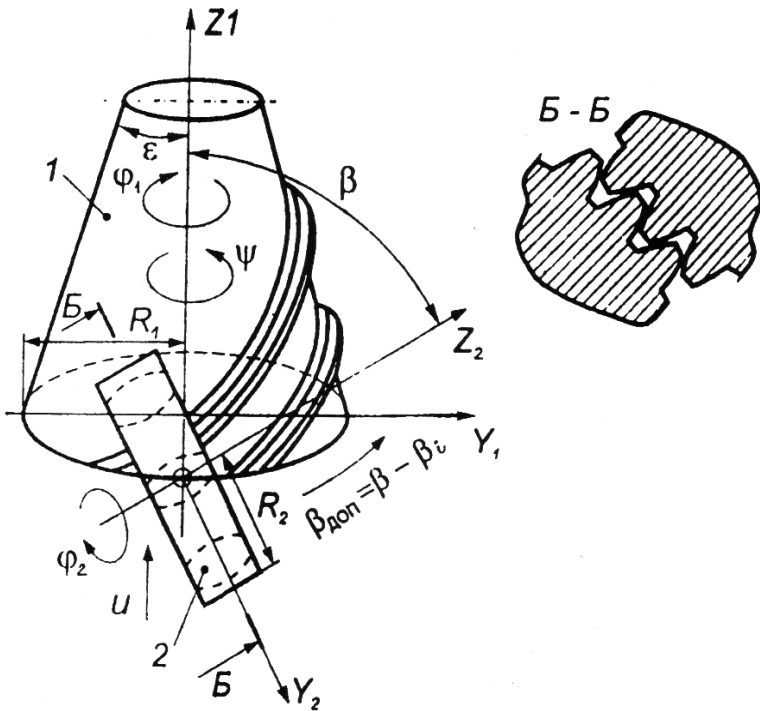
где R_1 – радиус основания начального конуса;
 ε – угол конуса.

Сложная геометрия эквидистантных зубьев определяет технологические трудности их изготовления, требуются специальные методы и специальные обкаточные инструменты. Поверхности зубьев не допускают скольжения по себе, по своей геометрической природе они



- 1 – начальная поверхность вращения;
- 2 – коническое производящее колесо ($0 \leq \delta \leq \pi/2$);
- 3 – цилиндрическое производящее колесо ($\delta = 0$);
- 4 – плоское производящее колесо ($\delta = \pi/2$).

Рис. 1. Точечное касание начальных поверхностей обрабатываемого колеса и инструментов



1 – коническое колесо с эквидистантными зубьями
 2 – цилиндрическое колесо с бочкообразными зубьями

Рис. 2. Кинематика зацепления с постоянным нормальным шагом для конического колеса

предлагают не одно, а двухпараметрический контакт с производящей поверхностью.

Поэтому для их окончательной обработки должны применяться обкаточные методы как наиболее близкие к условиям работы готовой передачи. При этом должен выдерживаться принцип полного совпадения условий станочного и готового зацепления. Следовательно, при обработке конического колеса эквидистантными зубьями, в качестве производящего должно быть использовано колесо, сопряженное с ним в готовой передаче и превращенное в обкаточный инструмент.

Пусть в исходном положении оси конического и цилиндрического колес скрещиваются под углом β на межцентровом расстоянии A . Кинематика обработки учитывает специфику линий зубьев и включает обкаточные

вращения колес с параметрами φ_1 и φ_2 связанными неизменным передаточным отношением, и подачу инструмента вдоль линии зуба с параметрами ψ и u , связанными условием эквидистантности (1) с непрерывным доворотом вокруг межцентровой прямой на угол $\beta_{\text{дон}} = \beta - \beta_i$ для отслеживания угла наклона линии зуба. Для описания формообразования зубьев могут быть использованы многопараметрические отображения аффинного пространства [3,4]. Исходное положение и прямое движение инструмента относительно условно неподвижной заготовки описывается уравнением:

$$\overline{m}_1 = \overline{\varphi_1 \psi \varepsilon \beta}_{\text{дон}} \overline{\beta \varphi_2 r_2} + \overline{\varphi_1 \psi \varepsilon (u - R_2)} + \overline{\varphi_1 \psi R_1}, \quad (2)$$

где $\overline{\varphi_1}, \overline{\varphi_2}, \overline{\psi}, \overline{u}, \overline{\beta}_{\text{дон}}$ – отображающие операторы; $\overline{\varepsilon}, \overline{\beta}, \overline{R_2}, \overline{R_2}$ – координатные операторы; $\overline{m}_1, \overline{m}_2$ – радиус-векторы точек поверхностей зубьев обрабатываемого и производящего зубчатых колес.

Уравнения сложного обращенного движения нарезаемого колеса относительно условно неподвижного инструмента включают те же элементарные движения и преобразования координат, что и при прямом движении, но взятые в обратной последовательности:

$$\overline{m}_2 = \overline{\varphi_2^T \beta^T \beta_{\text{дон}}^T \varepsilon^T \psi^T \varphi_1^T r_1 - \varphi_2^T \beta^T \beta_{\text{дон}}^T \left(\overline{\varepsilon^T R_1} + \overline{R_2} + \overline{u} \right)}, \quad (3)$$

где “Т” – означает транспортирование матриц.

Поверхность зуба обрабатываемого конического колеса получена как двухпараметрическая огибающая при заданном движении заданной производящей поверхности [5]. Из точечного контакта и отсутствия интерференции примем, что зуб производящего колеса является бочкообразным (арочным или круговым) и ограничен поверхностью вращения, радиус кривизны которой выбран с учетом кривизны впадины между нарезаемыми зубьями. Совокупность уравнений производящих поверхности и уравнений прямого движения (2) задает двухпараметрическое семейство этих поверхностей.

Алгоритмы и методика получения числовой информации об искомой поверхности зуба конического колеса определяют ее как множество точек контакта с производящей поверхностью. Каждая точка получается путем подстановки мгновенных значений всех параметров движения в условия касания, совместного их решения и подстановки, найденных чисел в уравнение производящей поверхности и прямого относительного движения.

Параметрами изменения взаимного расположения обрабатываемого и производящего колес являются: межцентровое расстояние $A = R_1 + R_2$, угол скрещивания осей ν , текущий угол наклона линии зуба β_i , текущее межосевое расстояние $A_i = R_i + R_1$ и текущее смещение L_i производящего колеса вдоль оси конического колеса. Первые два параметра при перемещении обкаточного инструмента вдоль линии зуба остаются неизменными, а остальные являются функциями геометрических параметров конического колеса:

$$\begin{aligned}\beta_i &= \frac{R_1 \cos \beta}{R_1 - u \sin \varepsilon}; \\ A_i &= R_1 - u \sin \varepsilon + R_2; \\ L_i &= \sqrt{A^2 - (R_1 - u \sin \varepsilon + R_2)^2}.\end{aligned}\tag{4}$$

Предварительная обработка впадин между зубьями может быть осуществлена методами деления и однопараметрическим огибанием фасонными инструментами, основанными на производящей поверхности вращения: фасонными модульными фрезами и фасонными шлифовальными кругами.

На базе цилиндрического производящего колеса с точечным контактом могут быть созданы специальные обкаточные лезвийные или абразивные инструменты.

Описанные методы позволяют разработать технологию изготовления колес двухпараметрических зацеплений, обеспечивающих требуемую точность и качество.

Список литературы: 1. Ковалюх В.Р. Синтез зубчатых вариаторов на основе колес с равновысокоширокими зубьями и впадинами: Дисс. канд. техн. наук – Харьков.- 1982. –156 с. 2. Ковалюх Р.В., Устиненко А.В. Многопараметрические передачи как элементная база технологий в машиностроении: Тез. докл. Междунар.научн.техн.конф. –Харьков. - 1992. - С.63-65. 3. Кондусова Е.Б. Исследование параметров двухпараметрических зубчатых передач /Обеспечение надежности и долговечности зубчатых передач на стадии проектирования и изготовления: Тез.докл.респ.научн.техн.конф. – Севастополь. - 1988. - С. 50-55. 4. Кондусова Е.Б., Ковалюх Р.В. Особенности формообразования зубьев специальных колес / 4-ый Всесоюзн. симпозиум по теории реальных передач зацеплением: Тез.докл. – Курган. - 1988. - С.75-77. 5. Ерихов М.Л. К вопросу о синтезе зацеплений с точечным касанием / Теория передач в машинах. – М. - 1966. - С. 78.

Поступила в редколлегию 08.10.2007