

Проектирование. Справочное учебно-методическое пособие. Москва: Изд-во «Высшая школа», 2004, с.292..5. *L.W. Kurmaz. Podstawy konstrukcji maszyn. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 1999, с.191. 6. M. Krasniński, St. Stachoń. Wpływ odkształceń korpusu tarczowego koła zębatego na wartość wypadkowej odchyłki przylegania zębów. Politechnika Śląska. Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej. Nr 1/2000. s. 15-18. 7. ГОСТ 21354-87. Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внешнего зацепления. 8. ГОСТ 1643-81. Передачи зубчатые цилиндрические. Допуски. 9. PN-ISO 6336-1:2000. Przekładnie zębate walcowe. Obliczanie nośności kół. Podstawowe zasady i ogólne czynniki wpływające.*

Поступила в редакцию 30.04.2006

УДК 621.83:515.2

Б.С. ВОРОНЦОВ

ГИПЕРБОЛОИДНЫЕ ПЕРЕДАЧИ С УПРАВЛЯЕМЫМ ИСХОДНЫМ КОНТУРОМ ПРОИЗВОДЯЩЕГО КОЛЕСА

У роботі розглянуто гіперболоїдні передачі зі змінюваною геометрією контактуючих зубців. Отримано математичні залежності і розроблено методику інтерактивного керування вихідним контуром твірного колеса.

The article investigates hyperbola gears having changeable geometry of contacting teeth. Mathematic dependences have been obtained and methodology of interactive control of initial of forming wheel has been developed.

Постановка проблемы. Повышение надежности и долговечности современных машин и механизмов неразрывно связано с совершенствованием зубчатых передач. Значительный интерес представляют новые разработки, связанные с созданием высококачественных нагруженных гиперболических передач.

Анализ основных исследований и публикаций. Профессор Грибанов В.М. в своей монографии [1] отметил: «теория гиперboloидных зубчатых передач, частным случаем которых являются цилиндрические гиперboloидные передачи, до настоящего времени отсутствует вообще». Поэтому исследованиям гиперboloидных передач в последнее время уделяется большое внимание как в нашей стране, так и за рубежом. Следует отметить работы [2,3,4], посвященные этой проблеме.

Развитие компьютерных технологий открывает новые возможности при создании и совершенствовании прогрессивных видов зацеплений [5,6,7]. Особый интерес представляют работы по созданию механизма интерактивного компьютерного синтеза с динамической визуализацией полученных результатов.

Формулировка цели статьи (постановка задачи). Целью работы является разработка функционально зависимой от управляющих элементов математической модели гиперboloидной передачи, состоящей из

цилиндрического и гиперboloидного зубчатых колес и, на ее основе, методики интерактивного управляемого синтеза.

Основная часть. В работе [8] рассматривается способ интерактивного синтеза, когда для управления кривой, описывающей рабочий участок зуба колеса, используется огибающая ее кривая Безье третьего порядка:

$$x_{\kappa} = f_1(\lambda, X) = (1-\lambda)^3 x_{p_0} + 3(1-\lambda)^2 \lambda x_{p_1} + 3(1-\lambda) \lambda^2 x_{p_2} + \lambda^3 x_{p_3};$$

$$y_{\kappa} = f_2(\lambda, Y) = (1-\lambda)^3 y_{p_0} + 3(1-\lambda)^2 \lambda y_{p_1} + 3(1-\lambda) \lambda^2 y_{p_2} + \lambda^3 y_{p_3}.$$

Здесь λ - переменная величина; $X = (x_{p_0}, x_{p_1}, x_{p_2}, x_{p_3})$, $Y = (y_{p_0}, y_{p_1}, y_{p_2}, y_{p_3})$ - векторы координат управляющих точек кривой Безье.

В этом случае профиль зубьев цилиндрических колес будет равен [8]:

$$\begin{aligned} x_1 &= [f_1(\lambda, X) + R_1] \cdot \cos \varphi_1 + \Omega_1 \sin \varphi_1; \\ y_1 &= [R_1 + f_1(\lambda, X)] \cdot \sin \varphi_1 - \Omega_1 \cos \varphi_1; \\ z_1 &= z_1(\mu), \end{aligned} \quad (1)$$

где R_1 - радиус начального цилиндра, φ_1 - угол поворота цилиндрического колеса, μ - текущая координата по оси O_1Z_1 ,

$$\Omega_1 = \frac{f_1'(\lambda, X) f_2'(\lambda, X)}{f_2'(\lambda, Y)}.$$

$$\text{Здесь } f_1'(\lambda, X) = 3(1-\lambda)^2(x_1 - x_0) + 6(1-\lambda)\lambda(x_2 - x_1) + 3\lambda^2(x_3 - x_2),$$

$$f_2'(\lambda, Y) = 3(1-\lambda)^2(y_1 - y_0) + 6(1-\lambda)\lambda(y_2 - y_1) + 3\lambda^2(y_3 - y_2) \quad -$$

производные функций $f_1(\lambda, X)$ и $f_2(\lambda, Y)$ по λ .

На рис. 1 показан процесс изменения кривой, описывающей рабочий участок зуба колеса с помощью изменения положения управляющих точек. В первом случае кривая Безье представляет прямую линию, а огибающий ее профиль зуба - эвольвенту. Во втором случае, перемещая точки P_1, P_2, P_3 , мы получаем выпукло - вогнутый профиль зуба.

Для определения поверхности зубьев гиперboloидного колеса введем следующие системы координат: XYZ - неподвижная система координат, относительно которой будем задавать положение подвижных систем координат; $X_1Y_1Z_1$ и $X_2Y_2Z_2$ - подвижные системы, связанные соответственно с цилиндрическим и гиперboloидным колесами; $XpYpZp$ - вспомогательная система координат (рис.2).

Переход от системы координат, связанной с цилиндрическим колесом к системе координат, связанной с гиперboloидным колесом можно представить в следующем виде [2]:

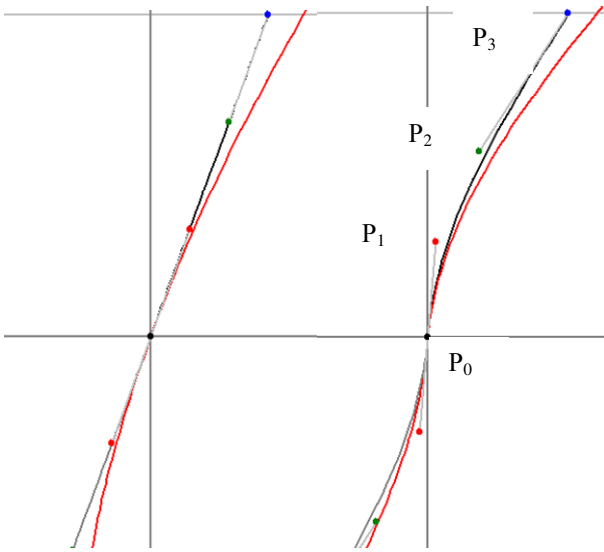


Рис. 1. Управление профилем зуба колеса

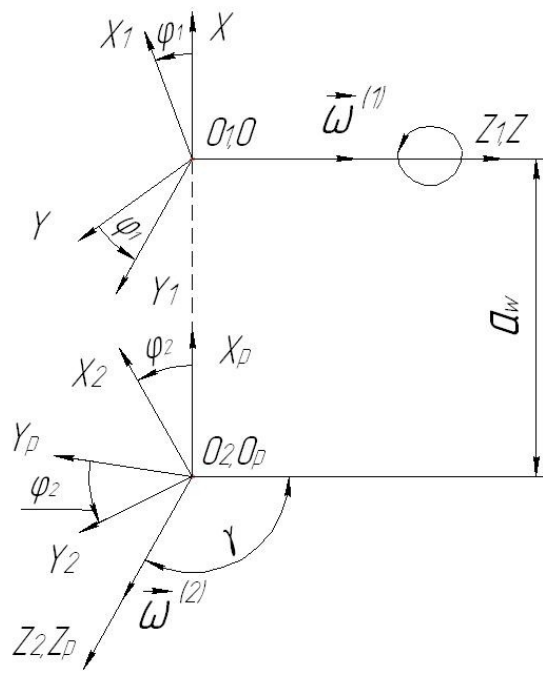


Рис.2. Системы координат

$$\vec{r}_2 = M_{21} \cdot \vec{r}_1 \quad (2)$$

где \vec{r}_1, \vec{r}_2 - столбцевые матрицы радиусов-векторов \vec{r}_1 и \vec{r}_2 одной и той же точки в системах координат $X_1Y_1Z_1$ и $X_2Y_2Z_2$;

$M_{21} = M_{2p} \cdot M_{p0} \cdot M_{01}$ - матрица перехода от системы координат $X_1Y_1Z_1$ к системе координат $X_2Y_2Z_2$.

$$M_{21} = \begin{pmatrix} \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 + \sin \varphi_1 \cos \varphi_2 + & -\sin \gamma \sin \varphi_2 & a_w \cos \varphi_2 \\ \cos \gamma \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 & \cos \gamma \cos \varphi_1 \sin \varphi_2 & \\ -\cos \varphi_1 \sin \varphi_2 + \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 + & -\sin \gamma \cos \varphi_2 & -a_w \sin \varphi_2 \\ \cos \gamma \sin \varphi_1 \cos \varphi_2 & \cos \gamma \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 & \\ \sin \gamma \sin \varphi_1 & \sin \gamma \cos \varphi_1 & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

Подставляя (3) в (2), получим \vec{r}_2 в координатной форме:

$$\begin{aligned} x_2 &= (x_1 - r)(\cos \varphi_1 \cos \varphi_2 + \cos \gamma \sin \varphi_1 \sin \varphi_2) + y_1(-\sin \varphi_1 \cos \varphi_2 + \\ &+ \cos \gamma \cos \varphi_1 \sin \varphi_2) - z_1 \sin \gamma \sin \varphi_2 + a_w \cos \varphi_2; \\ y_2 &= (x_1 - r)(-\cos \varphi_1 \sin \varphi_2 + \cos \gamma \sin \varphi_1 \cos \varphi_2) + y_1(\sin \varphi_1 \sin \varphi_2 + \\ &+ \cos \gamma \cos \varphi_1 \cos \varphi_2) - z_1 \sin \gamma \cos \varphi_2 - a_w \sin \varphi_2; \\ z_2 &= (x_1 - r) \sin \gamma \sin \varphi_1 + y_1 \sin \gamma \cos \varphi_1 + z_1 \cos \gamma. \end{aligned} \quad (4)$$

Здесь φ_1 - угол поворота цилиндрического прямоугольного колеса; φ_2 - угол поворота гиперboloидного колеса; γ - угол перекрещивания осей; r - радиус окружности; a_w - межосевое расстояние.

Уравнение непрерывности касания зубьев колес можно представить в следующем виде:

$$\vec{V}^{(12)} \cdot \vec{N} = 0.$$

Здесь $\vec{V}^{(12)}$ - относительная скорость скольжения контактирующих поверхностей; \vec{N} - вектор нормали в точке контакта.

После преобразований это условие определяется следующим образом [2]:

$$\begin{aligned} &(u_{21} \cos \gamma - 1)[y_1 y_1' + x_1'(x_1 - r)] - z_1 u_{21} \sin \gamma \times \\ &\times (y_1' \cos \varphi_1 + x_1' \sin \varphi_1) - a_w u_{21} \cos \gamma (y_1' \sin \varphi_1 - x_1' \cos \varphi_1) = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

где x_1', y_1' - производные функций x_1, y_1 по λ , u_{21} - передаточное число.

Уравнения (4) и (5) определяют поверхности зубьев гиперboloидного колеса в общем случае, не зависимо от формы профиля зуба цилиндрического колеса гиперboloидной передачи.

Подставляя (1) в (4) и (5), получим поверхности зубьев гиперболического колеса для передачи, для которой профилем зубьев цилиндрических зубчатых колес можно управлять на экране монитора путем захвата курсором мышки и перемещения управляющих точек P_1, P_2, P_3 , визуально отслеживая полученные результаты синтеза.

Выводы. В работе получены математические зависимости, включающие управляющие элементы, которые позволяют осуществлять интерактивный компьютерный синтез гиперболических зубчатых передач второго рода, состоящих из цилиндрических и гиперболических колес, имеющих сопряженные поверхности с линейным контактом, когда производящая поверхность совпадает с главной поверхностью зубьев цилиндрического колеса, с динамической визуализацией результатов работы.

Полученные результаты работы могут быть использованы при решении научно-технических задач и проблем визуального динамического синтеза и анализа перспективных малоизученных зубчатых передач пространственного зацепления.

Список литературы. 1. *Грибанов В.М.* Теорія гіперболічних зубчастих передач. Монографія. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Далія. – 2003. – 272 с. 2. *Кириченко І.О.* Створення гіперболічних передач з лінійним контактом зубців на базі спеціальних ріжучих інструментів: Автореф. дис. ... докт. техн. Наук, - Луганськ, 2004. – 36 с. 3. *Голубенко А.Л., Вітренко В.А., Кириченко І.А., Досталь А.Е.* Циліндро-гіперболічні передачі, складені з циліндричних і гіперболічних зубчастих колес // Вісник Східноукраїнського національного університету. – 2000. -№11 (33). – С.14-14. 4. *David B. Dooner.* Current Design and Manufacture of Generalized Hyperboloidal Gear Pairs // Intern. Conf. On Motion and Power Transmission MPT, 2001 – Fukuoka, Japan, November 15-17, 2001. 5. *Подкорытов А.Н.* Теоретические основы автоматизированных методов геометрического моделирования сопряженных криволинейных поверхностей, исключаящих интерференцию. Автореф. дисс. ... докт. техн. наук, - М., 1989. - 31с. 6. 3D – моделирование инструментов, формообразования и съема припуска при обработке резанием / *А.И. Грабченко, Е.Б. Кондусова, А.В. Кривошея, Н.С. Равская, П.Р. Родин.* – Харьков: НТУ «ХПИ», 2001. – 304 с. 7. *Грибанов В.М., Клипаков Н.В., Досталь А.Е.* Компьютерное моделирование зубчатых гиперболических и цилиндрических передач Новикова // Вісник Східноукраїнського національного університету. – 2001. -№2 (36). – С.213-217. 8. *Воронцов Б.С.* Интерактивное управление синтезом зубчатых передач. // Вісник Національного Технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць тематичний випуск «Проблеми механічного приводу». Харків: НТУ «ХПІ». – 2005, №40. – С.182-187.

Поступила в редакцію 26.04.2006

УДК 515.2:621.83

И.А.БОЧАРОВА

АНАЛИЗ И УЛУЧШЕНИЕ ГЕОМЕТРО-КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

У роботі виконаний аналіз існуючих вихідних контурів твердих поверхонь зубчастих передач. За