

УДК 621.9

Б.С. Воронцов, профессор, канд. техн. наук,**В.А. Витренко, профессор, д-р техн. наук,****М.Н. Кузнецова, ассистент***Восточноукраинский национальный университет им. В.Даля**кв. Молодежный 20а, г. Луганск, Украина, 91034**uni@snu.edu.ua***СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ СХЕМ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ
ЗУБООБРАТЫВАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА**

Анализируется новый тип кинематической схемы формообразования третьего класса, в основе которого лежит взаимодействие оксоидов цилиндра и тела, типа «однополостной гиперболоид»

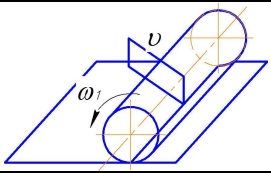
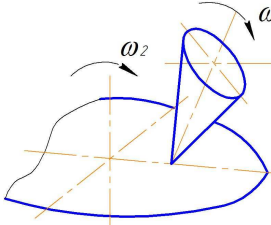
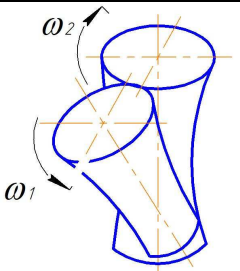
Ключевые слова: *схемы формообразования, однополостной гиперболоид, зубофрезерный станок, инструменты, зубчатое колесо.*

Задачи проектирования высокопроизводительного и качественного инструмента, несомненно, являются актуальными. Проектирование инструмента основывается на теории формообразования поверхностей, которая продолжает развиваться и совершенствоваться.

В работе [1] рассматриваются кинематические схемы формообразования поверхностей при сочетании прямолинейно-поступательного и вращательного движений. Заслуживает внимания третий класс кинематических схем формообразования, который характеризуется тем, что движение поверхности детали относительно инструмента будет мгновенным винтовым движением, которое является результатом двух вращений вокруг скрещивающихся осей.

Классификация возможных кинематических схем формообразования третьего класса, разработанная профессором Родиным П.Р. приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Кинематические схемы формообразования третьего класса

Класс схемы	Тип схемы	Относительное движение изделия и инструмента при профилировании		Представление относительного движения с помощью аксоидов	Эскиз взаимного расположения аксоидов	Аксоид	
		Составляющие	Суммарное мгновенное			инструмента	изделия
3	1	Вращательное и поступательное, скорость которого направлена под углом к оси вращения	Винтовое	Качение со скольжением цилиндра по плоскости		Плоскость Цилиндр	Цилиндр Плоскость
	2	Два вращения вокруг скрещивающихся осей (угол между одной из осей вращения и осью результирующего винта прямой. Ось мгновенного винта и вторая ось вращения – пересекающиеся прямые)	Винтовое	Качение со скольжением конуса по плоскости		Плоскость Конус	Конус Плоскость
3	3	Два вращения вокруг скрещивающихся осей	Винтовое	Качение со скольжением гиперболоида по гиперболоиду		Гиперболоид	Гиперболоид

Однако развитие теории формообразования позволяет расширить приведенную классификацию и рассматривать новые типы схем формообразования, на основании которых можно создавать инструменты с улучшенными свойствами.

Целью данной работы является анализ кинематической схемы формообразования третьего класса, в основе которого лежит взаимодействие оксидов цилиндра и тела, типа «однополостной гиперboloид», которая является новой, неизученной ее разновидностью.

Рассмотрим процесс шлифования на скрещивающихся осях детали цилиндрическим шлифовальным кругом (рисунок 1).

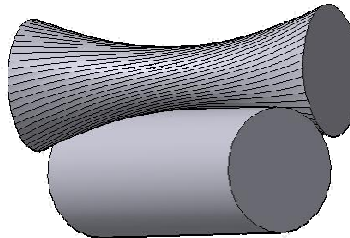


Рисунок 1 – Гиперboloидно-цилиндрическая пара

Для исследования зацепления со скрещивающимися осями используем три системы координат (рисунок 2): подвижные системы $x_1y_1z_1$ и $x_2y_2z_2$, связанные соответственно с цилиндрическим зубчатым колесом 1 и искомым гиперboloидным колесом 2, и неподвижную систему $xуz$, относительно которой будем задавать положения подвижных систем координат. Осями вращения звеньев являются соответственно z_1 и z_2 , γ – угол скрещивания осей; a_w – кратчайшее межосевое расстояние. Переход от неподвижной системы координат $xуz$ к подвижной $x_2y_2z_2$ совершим в два приема: 1) перенесем начало координат O_1 в O_2 и повернем систему координат вокруг оси x с тем, чтобы угол между осями z и z_p стал равным γ ; тогда система $xуz$ займет положение $x_py_pz_p$; 2) затем повернем систему $x_py_pz_p$ вокруг оси z_p на угол φ_2 , в результате чего система $x_py_pz_p$ перейдет в $x_2y_2z_2$. Система координат $x_py_pz_p$ является вспомогательной и используется лишь при выводе формул преобразования.

На рисунке 2 изображен случай, когда для наблюдателя, смотрящего с положительного направления осей z_1 и z_2 , сопряженные колеса 1 и 2 вращаются против направления часовой стрелки.

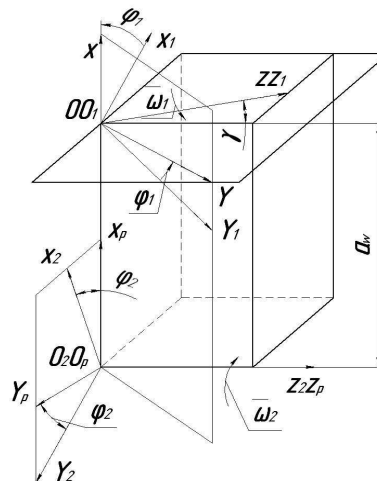


Рисунок 2 – Система координат

Вывод формул преобразований координат, предполагая, что переход совершается от системы координат S_1 к S_2 , основывается на такой записи

$$\vec{r}_2 = M_{2p} M_{p0} M_{01} \cdot \vec{r}_1 = M_{21} \vec{r}_1, \quad (1)$$

где $\vec{r}_1$ и $\vec{r}_2$ – столбцевые матрицы радиусов-векторов $\vec{r}_1$ и $\vec{r}_2$ одной и той же точки в системах S_1 и S_2 ; M_{01} – матрица перехода от S_1 к S_0 ; M_{2p} – матрица перехода от S_p к S_2 ; M_{21} – результирующая матрица для непосредственного перехода от S_1 к S_2 .

Подставляя в выражения (1) значения матриц перехода, получаем

$$\left. \begin{aligned} \xi_2 &= (\xi_1 \chi_{00} \varphi_1 - \psi_1 \sigma_{1v} \varphi_1 + \alpha_{\omega}) \chi \chi_0 \varphi_2 + [(\xi_1 \sigma_{1v} \varphi_1 + \psi_1 \chi_{00} \varphi_1) \chi \chi_{00} \sigma - \\ &\quad - \xi_1 \sigma_{1v} \gamma] \sigma_{1v} \varphi_2 \\ \psi_2 &= -(\xi_1 \chi_{00} \varphi_1 - \psi_1 \sigma_{1v} \varphi_1 + \alpha_{\omega}) \sigma \sigma_{1v} \varphi_2 + [(\xi_1 \sigma_{1v} \varphi_1 + \psi_1 \chi_{00} \varphi_1) \chi \chi_{00} \sigma - \\ &\quad - \xi_1 \sigma_{1v} \gamma] \chi_{00} \varphi_2 \\ \zeta_2 &= (\xi_1 \sigma_{1v} \varphi_1 + \psi_1 \chi_{00} \varphi_1) \sigma \sigma_{1v} + \xi_1 \chi_{00} \sigma \gamma \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Уравнение поверхности цилиндра можно описать следующей системой уравнений:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= r_1 \cos \lambda \\ y_1 &= r_1 \sin \lambda \\ z_1 &= \mu \end{aligned} \right\}$$

Для определения искомой гиперboloидной поверхности к системе (2) необходимо приписать уравнение связи $\vec{n} \vec{V}^{(12)} = 0$, где $\vec{n}$ – вектор нормали к поверхности зуба цилиндрического колеса.

Тогда уравнения связи между параметрами λ, μ, φ_1 можно записать в следующем виде:

$$\begin{aligned} F(\lambda, \varphi_1) &= \vec{n}_1 \vec{V}_1^{(12)} = n_{x1} V_{x1}^{(12)} + n_{y1} V_{y1}^{(12)} + n_{z1} V_{z1}^{(12)} = \\ &= r_1 (1 - u_{21} \cos \gamma_0 - r_1 \mu u_{21} \sin \gamma_1 \sin \gamma (\sin \varphi_1 - \cos \lambda \cos \lambda \varphi_1) + \\ &\quad + r_1 a_w u_{21} \cos \gamma_0 \sin \gamma (\cos \varphi_1 - \sin \lambda \sin \lambda \varphi_1) \end{aligned} \quad (3)$$

Если полученное выражение (3) приписать к системе уравнений (2), представляющих семейство поверхностей, то получим поверхность гиперboloидного колеса.

Аналогичная схема формообразования может быть использована при обработке гиперboloидной поверхности цилиндрическим обкатным резцом при подаче ее вдоль оси резца (рисунок 3).

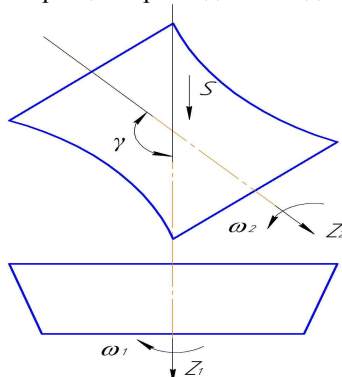


Рисунок 3 – Схема формообразования

На рисунке 4 представлен способ получения гиперboloидной заготовки на зубофрезерном станке.

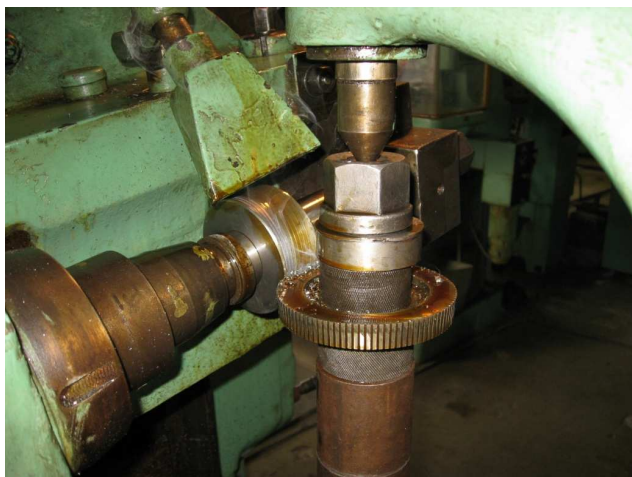


Рисунок 4 – Получение гиперboloидной заготовки

Этот способ применяется для изготовления гиперболоидных зуборезных фрез, использование которых позволяет повысить производительность и точность обработки зубчатых колес и снизить себестоимость изготовления [2,3].

В качестве кривой, позволяющей модифицировать исходный контур в процессе интерактивного синтеза, используем кривую Безье третьего порядка.

Уравнение кривой в параметрическом виде:

$$x_k = f_1(\lambda, P_x) = (1-\lambda)^3 x_0 + 3(1-\lambda)^2 \lambda x_1 + 3(1-\lambda) \lambda^2 x_2 + \lambda^3 x_3,$$

$$y_k = f_2(\lambda, P_y) = (1-\lambda)^3 y_0 + 3(1-\lambda)^2 \lambda y_1 + 3(1-\lambda) \lambda^2 y_2 + \lambda^3 y_3.$$

где $P_x=(x_0, x_1, x_2, x_3)$, $P_y=(y_0, y_1, y_2, y_3)$ – векторы координат опорных и управляющих точек P_0, P_1, P_2, P_3 , λ – переменная величина $0 \leq \lambda \leq 1$.

Тогда уравнение цилиндрического прямозубого колеса в подвижной системе координат $S_1(x_1 y_1 z_1)$, будет иметь вид:

$$x_1 = f_1(\lambda, P_x) - r_1; \quad y_1 = f_2(\lambda, P_y); \quad z_1 = \mu$$

В прямоугольных координатах уравнения поверхности зубьев гиперболоидного колеса примут вид:

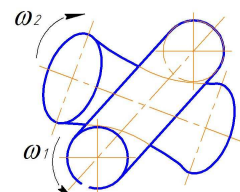
$$\left. \begin{aligned} x_2 &= (f_1(\lambda, P_x) - r_1)(\cos \varphi_1 \cos \varphi_2 + \cos \gamma \sin \varphi_1 \sin \varphi_2) + f_2(\lambda, P_y) \times \\ &\times (\cos \gamma \cos \varphi_1 \sin \varphi_2 - \sin \varphi_1 \cos \varphi_2) - \mu \sin \gamma \sin \varphi_2 + a_w \cos \varphi_2 \\ y_2 &= (f_1(\lambda, P_x) - r_1)(\cos \gamma (\cos \varphi_1 \cos \varphi_2 - \sin \varphi_2 \cos \varphi_1) + f_2(\lambda, P_y) \times \\ &\times (\sin \varphi_1 \sin \varphi_2 + \cos \gamma \sin \varphi_1 \cos \varphi_2) - \mu \sin \gamma \cos \varphi_2 - a_w \sin \varphi_2 \\ z_2 &= (f_1(\lambda, P_x) - r_1) \sin \gamma \sin \varphi_1 + f_2(\lambda, P_y) \sin \gamma \sin \varphi_1 + \mu \cos \gamma \end{aligned} \right\}$$

Тогда уравнения связи между параметрами λ, μ, φ_1 можно записать в следующем виде:

$$\begin{aligned} F(\lambda, \mu, P, \varphi) &= \vec{n}_1 \vec{V}_1^{(12)} = n_{x1} V_{x1}^{(12)} + n_{y1} V_{y1}^{(12)} + n_{z1} V_{z1}^{(12)} = \\ &= -(1 - u_{21} \cos \gamma)(f_2(\lambda, P_y) f_2'(\lambda, P_y) + f_1'(\lambda, P_x) f_1(\lambda, P_x) - r_1) - \\ &- \mu u_{21} \sin \gamma (f_2'(\lambda, P_y) \cos \varphi_1 + f_1'(\lambda, P_x) \sin \varphi_1) - \\ &- a_w u_{21} \cos \gamma (f_2'(\lambda, P_y) \sin \varphi_1 - f_1'(\lambda, P_x) \cos \varphi_1) \end{aligned}$$

Следовательно, в классификацию кинематических схем формообразования необходимо включить четвертый тип схемы формообразования третьего класса, представленный в таблице 2.

Таблица 2 – Четвертый тип схем формообразования

Класс схемы	Тип схемы	Относительное движение изделия и инструмента при профилировании		Представление относительного движения с помощью аксоидов	Эскиз взаимного расположения аксоидов	Аксоид	
		Составляющие	Суммарное мгновенное			инструмента	изделия
3	4	Два вращения вокруг скрещивающихся осей	Винтовое	Качение со скольжением гиперболоида по цилиндру		Гиперболоид Цилиндр	Цилиндр Гиперболоид

Таким образом, в работе сделан анализ четвертого типа кинематической схемы формообразования третьего класса, в основе которого лежит взаимодействие оксидов цилиндра и тела, типа «однополостной гиперболоид».

Использование этого типа схемы формообразования позволяет изготавливать недорогой высокопроизводительный инструмент, улучшающий качество механической обработки деталей.

Бibliографический список используемой литературы

1. Родин П.Р. Основы проектирования режущих инструментов / П.Р. Родин. — К.: Вища школа, 1990. — 424 с.
2. Витренко В.А. Повышение производительности зубонарезания цилиндрических зубчатых колес гиперболоидным инструментом за счет совершенствования формообразования резанием: монография / В.А. Витренко, В.В. Белозерова. — Луганск: Ноулидж, 2009. — 147 с.
3. Воронцов Б.С. Гиперболоидные инструменты для изготовления цилиндрических колес с произвольным профилем зуба // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: збірник наукових праць. — Краматорськ, 2006. — Вип. 19. — С. 76–81.

Поступила в редакцию 03.04.2012 г.

Воронцов Б.С., Вітренко В.О., Кузнецова М.М. Удосконалення кінематичних схем формоутворення зубообробного інструменту

Аналізується новий тип кінематичної схеми формоутворення третього класу, в основі якого лежить взаємодія оксидів циліндра і тіла, типу «однополостний гіперболоїд»

Ключові слова: схеми формоутворення, однополостний гіперболоїд, зубофрезерний верстат, інструменти, зубчасте колесо.

Vorontsov B.S., Vitrenko V.A., Kuznetsova M.N. Perfection of kinematic schemes of teeth-treating instrument shape formation

New type of the third class shape formation kinematic scheme based on interaction of oxoid cylinder with the body of “one-cave hyperbola” type has been analyzed.

Keywords: shape formation scheme, one-cave hyperbola, teeth-treating machine-tool, instrument, teeth-wheel.