

ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ТА МЕТОДИ ОБРОБЛЕННЯ РІЗАННЯМ І ПОВЕРХНЕВОГО ЗМІЦНЕННЯ

УДК 621.9

В.А. Витренко, Б.С. Воронцов, М.Н. Кузнецова, В.В. Черноволов
Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля (г. Луганск)

ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ЗУБЬЕВ МНОГОЗАХОДНЫХ ЗУБООБРАБАТЫВАЮЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

© Витренко В.А., Воронцов Б.С., Кузнецова М.Н., Черноволов В.В., 2011

Розглянуто актуальну проблему – розроблення принципово нового зубообробного інструменту, отриманого відповідно до схеми формоутворення третього класу.

The article is devoted to the solution of the actual problem of development of the principally new teeth-treating instrument obtained according to the third class form shaping scheme.

Постановка проблеми. Многозаходные зубообрабатывающие инструменты позволяют в значительной степени сократить время на обработку зубчатого изделия по сравнению с обработкой при помощи стандартных зубообрабатывающих инструментов. Кроме того, режимы резания зубьев при помощи таких инструментов значительно отличаются от режимов резания при обработке стандартными фрезами и долбяками.

Предлагаемые инструменты работают в пространственном станочном зацеплении, т. е. их оси расположены на перекрещивающихся валах. В этом случае основные окружности таких долбяков и многозаходных фрез являются однополостными гиперboloидами вращения.

Анализ последних исследований. В настоящее время зубья на однополостных гиперboloидах не удаётся нарезать. Это обусловлено тем, что конструкторы, технологи и исследователи зубообрабатывающих инструментов не могут найти производящие поверхности для сопряжённых поверхностей такого инструмента и нарезаемых зубчатых колёс. Исследователи пытались изготовить такой инструмент на телах вида однополостной гиперboloид при помощи пальцевых фрез [1]. Для этого создавались сложные механизмы, при помощи которых нарезались зубья на однополостных гиперboloидах. Инструмент такого типа имел впадину между зубьями, по форме совпадающую с формой пальцевой фрезы, причем этот профиль оказался постоянным во всех сечениях однополостного гиперboloида. Этот инструмент оказался неработоспособным.

Такое положение привело к тому, что гиперboloидную поверхность инструмента в промышленности заменяют на винтовую, червячную поверхность с архимедовым, конволютным или эвольвентным профилем зуба [5]. При нарезании зубьев этим инструментом реализуется точечный характер касания зубьев, что приводит к получению низкокачественной поверхности обработанных зубьев.

Формулировка цели доклада. В представленной работе предлагается изменить схему формообразования червячных фрез и зуборезных долбяков, в результате чего основная инструментальная поверхность инструмента базируется на однополостном гиперboloиде вращения. Зубья на заготовке гиперboloидного инструмента нарезаются при помощи цилиндрического

инструментального зубчатого колеса. Так как инструментальное колесо не затыловано, то передние режущие грани на нем затачиваются под любыми углами, зависящими от материала нарезаемой гиперboloидной заготовки и материала инструмента, а также их твёрдости.

Разработана новая схема формообразования гиперboloидных фрез и гиперboloидных долбяков методом обкатки на серийных зубофрезерных станках при помощи цилиндрических инструментальных зубчатых колес.

Изложение основного материала. Относительное движение в станочном зацеплении определено двумя независимыми параметрами, которыми являются движение обкатки и движение вдоль прямолинейной образующей однополостного гиперboloида, которая совпадает с осью вращения стола станка. Представленная схема формообразования представлена на рис. 1.

Зная поверхность инструментального зубчатого колеса, при помощи дифференциальной геометрии и матричного исчисления совершим переход от системы координат, связанной с инструментальным зубчатым колесом, к системе координат, связанной с нарезаемым гиперboloидным зубчатым изделием.

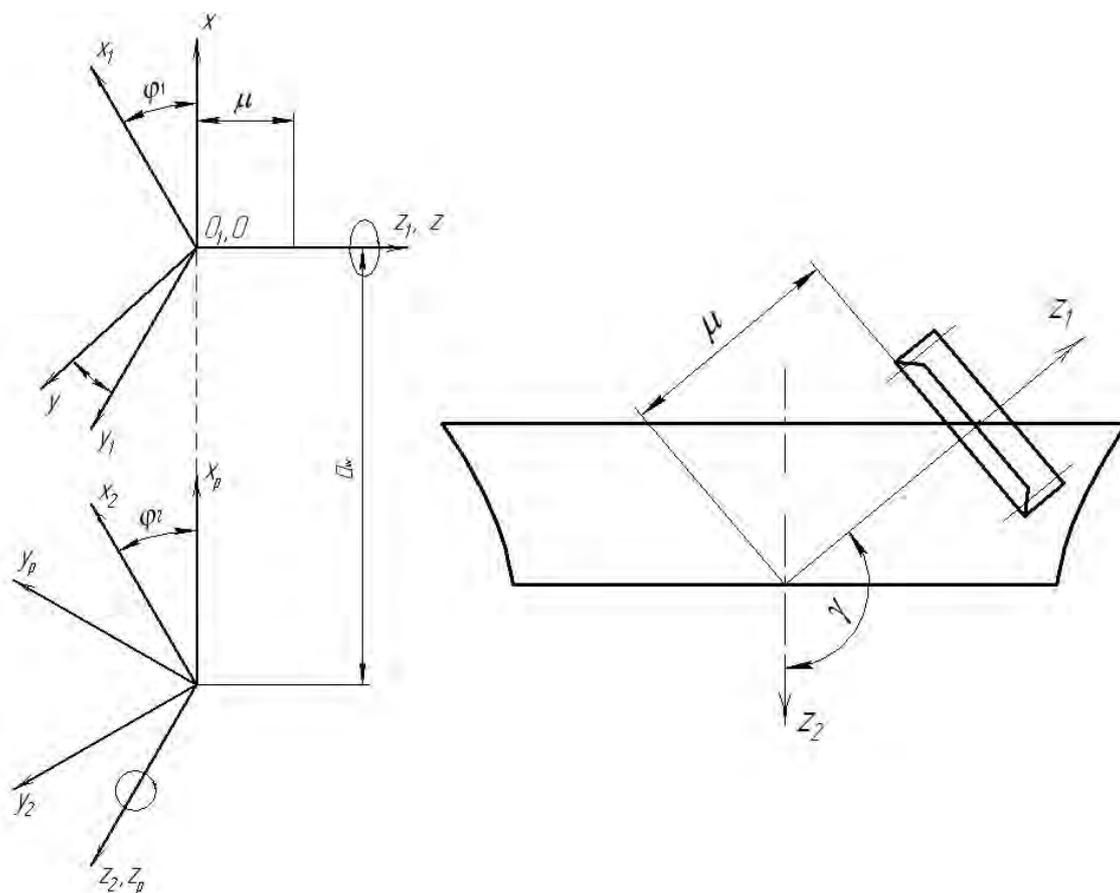


Рис. 1. Системы координат, связанные с инструментальным колесом и нарезаемым гиперboloидным инструментом

Вывод формул преобразования координат от системы S_1 к S_2 основывается на такой записи:

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

Здесь: \vec{r}_1 и \vec{r}_2 – столбцевые матрицы радиус-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_{21} – результирующая матрица для непосредственного перехода от S_1 к S_2 .

Тогда $\vec{r}_1 = M_{2p}M_{p0}M_{01}$ примет следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} x_2 &= (x_1 \cos \varphi_1 - y_1 \sin \varphi_1 + a_w) \cos \varphi_2 + [(x_1 \sin \varphi_1 + y_1 \cos \varphi_1) \cos \gamma - x_1 \sin \gamma] \sin \varphi_2 \\ x_2 &= (x_1 \cos \varphi_1 - y_1 \sin \varphi_1 + a_w) \sin \varphi_2 + [(x_1 \sin \varphi_1 + y_1 \cos \varphi_1) \cos \gamma - z_1 \sin \gamma] \cos \varphi_2 \\ z_2 &= (x_1 \sin \varphi_1 + y_1 \cos \varphi_1) \sin \gamma + z_1 \cos \gamma \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Система уравнений (2) описывает связь между координатами вращающейся системы, жестко связанной с цилиндрическим инструментальным зубчатым колесом и координатами вращающейся системы, жестко связанной с нарезаемой гиперboloидной зубчатой заготовкой.

Во время нарезки зубьев на гиперboloидной заготовке режущие кромки инструментального зубчатого колеса совершают движения, определяемые параметрами μ, φ_1 , где φ_1 – угол поворота режущих кромок относительно оси o_1z_1 , μ – расстояние режущей кромки от плоскости $o_1x_1y_1$.

Подставляя в уравнение (2) значения координат режущей кромки, получим уравнения семейства поверхностей зубьев на гиперboloидной заготовке. Таким образом, уравнения семейства определяют поверхности зубьев в зависимости от трёх параметров λ, μ и φ_1 . Здесь параметр φ_2 выражен через параметр φ_1 , а передаточное число u_{21} с использованием выражения $\varphi_2 = \varphi_1 \cdot u_{21}$. Тогда уравнения производящей поверхности в системе координат $x_1 y_1 z_1$ примет следующий вид:

$$x_1 = f_1(\lambda) - r_1; \quad y_1 = f_2(\lambda); \quad z_1 = \mu. \quad (3)$$

В векторной форме уравнение производящей поверхности, являющейся производящим инструментальным зубчатым колесом, запишем в следующем виде:

$$\vec{r}_1(\lambda, \mu) = [f_1(\lambda) - r_1] \vec{i} + \mu \vec{k}. \quad (4)$$

Используя равенства (3), получим векторы касательных к прямым $\lambda = \text{const}$ и $\mu = \text{const}$:

$$\vec{r}_1^{(\lambda)} = f_1' \lambda \vec{i} + f_2' \vec{j}; \quad \vec{r}_1^\mu = \vec{k}. \quad (5)$$

При рассмотрении станочного зацепления и определении основных элементов нарезаемого гиперboloидного инструмента (кривизны зубьев, контактных линий) необходимо знать проекции единичного вектора нормали к производящей поверхности.

Вектор нормали к производящей поверхности определяется следующим образом:

$$\vec{N} = (\vec{r}_1^\lambda \times \vec{r}_1^\mu). \quad (6)$$

Проекция единичного вектора нормали к производящей поверхности запишем в следующем виде:

$$n_{x1} = f_2' / \sqrt{(f_1')^2 + (f_2')^2}; \quad n_{y1} = f_1' / \sqrt{(f_1')^2 + (f_2')^2}; \quad n_{z1} = 0. \quad (7)$$

Для определения нормальных кривизн, главных направлений и других характеристик производящих поверхностей необходимо иметь выражения для коэффициентов первой и второй квадратичных форм. В общем случае коэффициенты первой квадратичной формы поверхности равны:

$$E_1 = (\vec{r}_1^\lambda)^2; \quad F_1 = \vec{r}_1^\lambda \vec{r}_1^\mu; \quad G_1 = (\vec{r}_1^\mu)^2. \quad (8)$$

Коэффициенты второй квадратичной формы определим при помощи следующих зависимостей:

$$L_1 = \vec{n}_1 \frac{\partial^2 \vec{r}_1}{\partial \lambda^2}; \quad M_1 = \vec{n}_1 \frac{\partial^2 \vec{r}_1}{\partial \lambda \partial \mu}; \quad N_1 = \vec{n}_1 \frac{\partial^2 \vec{r}_1}{\partial \mu^2}, \quad (9)$$

где \vec{n}_1 – единичный вектор нормали к производящей поверхности.

Зная коэффициенты первой и второй квадратичной форм, определим нормальные кривизны линий, лежащих на производящей цилиндрической поверхности в следующем виде:

$$K = L_1 d\lambda^2 / (E_1 d\lambda^2 + G_1 d\mu^2). \quad (10)$$

Направления, в которых определяются кривизны производящей поверхности, зависят от отношения $\partial\lambda/\partial\mu$. Так, например, нормальные кривизны вдоль линий $\mu = \text{const}$ и $\lambda = \text{const}$, являются в рассматриваемом случае главными, будут равны:

$$K_\mu = L_1/E_1 = (f_1'f_2'' - f_1''f_2') / \left[(f_1')^2 + (f_2')^2 \right]^{3/2}; \quad K_\lambda = N_1/G_1 = 0. \quad (11)$$

Совокупность приведенных выше уравнений при заданном значении угла поворота φ_1 определяет контактные линии на поверхностях зубьев инструментального зубчатого колеса и нарезаемой гиперboloидной фрезы или долбяка в разработанном станочном зацеплении.

Выводы. Работа посвящена решению актуальной задачи – разработке принципиально нового зубообрабатывающего инструмента, полученного согласно схеме формообразования третьего класса. В работе была найдена основная инструментальная поверхность, сопряженная с поверхностью зубьев обрабатываемых зубчатых колес.

На основании выполненных теоретических исследований была разработана принципиально новая схема формообразования гиперboloидных зуборезных фрез и долбяков. Впервые производящее цилиндрическое инструментальное зубчатое колесо в процессе формообразования двигалось вдоль прямолинейной образующей однополостного гиперboloида.

1. А.С. 965645 СССР, МКИ В23F1/06. Способ изготовления гиперboloидных зубчатых колес и устройство для его осуществления / В.М. Печенкин (СССР); опубл. 25.10.1982 г. 2. Воронцов Б.С., Витренко В.А., Бочарова И.А., Кириченко И.А. Моделирование гиперboloидных инструментов с использованием САД – систем // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем // Збірник наукових праць. – Краматорськ: ДДМА, вип. №17, 2005. – С. 318–323. 3. Родин П.Р. Проектирование и производство режущего инструмента. [Учеб. пособие для вузов специальности “Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты”]. – К.: Техника, 1968. – 358 с. 4. Родин П.Р., Климов В.И. Технология изготовления зуборезного инструмента. – К.: Техника, 1982. – 207 с. 5. Витренко В.А. Гиперboloидные инструменты для обработки и отделки цилиндрических прямозубых зубчатых колес. Дисс. ... д-ра техн. наук. – Луганск, 1995. – 304 с. 6. Геометрия сопряжённых поверхностей / Равская Н.С., Родин П.Р., Николаенко Т.П., Мельничук П.П., Выготовский Г.Н. – Житомир: ЖИТИ, 2001. – 319 с. 7. Основи формоутворення поверхонь при механічній обробці / Равська Н.С., Родін П.Р., Ніколаєнко Т.П., Мельничук П.П. – Житомир: ЖИТИ, 2000. – 169 с.