

УДК 514.8, 62.342

С.А. Камчатный, А.В. Сковородин, А.В. Становской, Н.Р. Щербаков

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СБЛИЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРИ ФОРМООБРАЗОВАНИИ ДЕТАЛЕЙ ПЕРЕДАТОЧНОГО МЕХАНИЗМА С ЭЦ-ЗАЦЕПЛЕНИЕМ

Формообразующая обработка деталей является важнейшим аспектом машиностроительного производства. Проблема обработки (формообразования) поверхности детали передаточного механизма в самой общей постановке является задачей сближения двух поверхностей в пространстве до состояния касания, в котором поверхности имеют общую касательную плоскость. Получены системы уравнений для определения местоположения фрезы в момент касания. Найдены аналитические или численные решения этих систем. Разработан комплекс специальных компьютерных программ управления движением фрезы, обрабатывающей деталь.

Ключевые слова: *формообразование, эксцентриково-циклоидальное зацепление, касание поверхностей.*

1. Обработка деталей сферической фрезой

Обработка детали происходит последовательным вытачиванием координатных линий на поверхности детали, т.е. считается, что один из параметров на этой поверхности задан. При этом условии для управления процессом формообразования с применением сферической фрезы достаточно знать координаты (x, y) центра сферы заданного диаметра df в плоскости, перпендикулярной оси вращения детали (ось OZ), при условии касания сферы с заданной координатной линией на поверхности детали.

1.1 Входная деталь

Входная деталь в ЭЦ-зацеплении [1, 2] образована окружностями, расположенными в параллельных плоскостях, центры которых лежат на винтовой линии (червячный элемент). Обозначая радиус окружности через ρ , а радиус цилиндра, на котором лежит винтовая линия, – через ε , запишем параметрические уравнения обрабатываемой поверхности в виде вектор-функции двух аргументов:

$$\overrightarrow{Sv}(v, \alpha) = \begin{pmatrix} \varepsilon \cos v + \rho \cos(\alpha + v) \\ \varepsilon \sin v + \rho \sin(\alpha + v) \\ c_2 \cdot v \end{pmatrix},$$

где $c_2 = lr/2\pi$, а lr – размер детали по оси OZ .

Для нахождения центров фрезы воспользуемся двумя условиями касания двух поверхностей: это существование общей точки на детали и сферы, а также параллельность нормалей детали и сферы в общей точке. Условие наличия общей точки запишем в следующем виде:

$$|\vec{S}(x, y) - \vec{Sv}(v, \alpha)| = \frac{df}{2},$$

где $\vec{S}(x, y) = \begin{pmatrix} x \\ y \\ 0 \end{pmatrix}$ – радиус-вектор центра сферы, или в виде

$$[x - (\varepsilon \cos v + \rho \cos(\alpha + v))]^2 + [y - (\varepsilon \sin v + \rho \sin(\alpha + v))]^2 + \left(\frac{lr \cdot v}{2\pi}\right)^2 = \frac{df^2}{4}. \quad (1.1)$$

Найдем единичную нормаль в точке детали:

$$\vec{Ns}(v, \alpha) = \frac{1}{\sqrt{lr^2 + 4\varepsilon^2 \pi^2 \sin^2 \alpha}} \begin{pmatrix} \cos(\alpha + v) \cdot lr \\ \sin(\alpha + v) \cdot lr \\ -\sin(\alpha) \cdot 2\varepsilon \cdot \pi \end{pmatrix}.$$

Условие параллельности нормалей детали и сферы запишем в виде обращения в нуль векторного произведения:

$$[\vec{S}(x, y) - \vec{Sv}(v, \alpha)] \times \begin{pmatrix} \cos(\alpha + v) \cdot lr \\ \sin(\alpha + v) \cdot lr \\ -\sin(\alpha) \cdot 2\varepsilon \cdot \pi \end{pmatrix} = 0.$$

Это условие даёт два уравнения:

$$-2 \sin \alpha \cdot \varepsilon \cdot \pi \cdot y + (2\varepsilon \cdot \sin v + 2\rho \cdot \sin(\alpha + v)) \cdot \sin \alpha \cdot \varepsilon \cdot \pi + \frac{1}{2} lr^2 \frac{v}{\pi} \cdot \sin(\alpha + \pi) = 0,$$

$$2 \sin \alpha \cdot \varepsilon \cdot \pi \cdot x + (-2\varepsilon \cdot \cos v - 2\rho \cdot \cos(\alpha + v)) \cdot \sin \alpha \cdot \varepsilon \cdot \pi - \frac{1}{2} lr^2 \frac{v}{\pi} \cdot \cos(\alpha + \pi) = 0.$$

Отсюда получим координаты центра сферы, касающейся червяка в точке (v, α) :

$$x = (\varepsilon \cos v + \rho \cos(\alpha + v)) + \frac{1}{2} lr^2 \frac{v}{\pi} \cdot \cos(\alpha + v) \cdot \frac{1}{2 \sin \alpha \cdot \varepsilon \cdot \pi},$$

$$y = (\varepsilon \sin v + \rho \sin(\alpha + v)) + \frac{1}{2} lr^2 \frac{v}{\pi} \cdot \sin(\alpha + v) \cdot \frac{1}{2 \sin \alpha \cdot \varepsilon \cdot \pi}.$$

Подставляя эти выражения в уравнение (1.1), получим связь между параметрами v и α , откуда получаем два варианта выражения параметра v через α . Таким образом, при заданной координатной линии (спирали) на червяке $\alpha = \alpha_0$ получается два значения для криволинейной координаты v точки касания сферы и поверхности червячного элемента. Наличие двух решений, соответствует тому, что сфера может касаться поверхности детали как снаружи, так и изнутри. Из геометрических соображений оставляется значение v_0 , дающее наружное касание. Подставляя α_0 и v_0 в предыдущие уравнения, получаем координаты (x, y) центра сферы, касающейся входной детали в точке линии α_0 . Для обработки входной детали необходимо расположить фрезу так, чтобы центр сферической насадки находился в точке с координатами $(x, y, 0)$.

На рис. 1 изображено касание сферической фрезы с входной деталью в точке координатной линии $\alpha = \alpha_0$ (вытачиваемая линия).

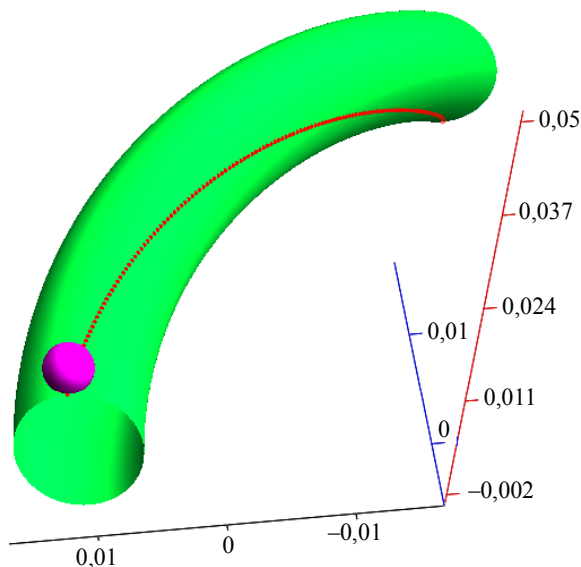


Рис. 1. Контактное взаимодействие поверхности червячного элемента и сферы (фрезы)

1.2. Выходная деталь

Поверхность выходной детали образована движением плоской кривой – эквидистанты эпитрохоиды [3]. Зададим эпитрохоиду в виде вектор-функции аргумента τ :

$$\overline{Te}(\tau) = \begin{pmatrix} -\varepsilon \cos \tau + \frac{D}{2} \cos \frac{\tau}{n} \\ -\varepsilon \sin \tau + \frac{D}{2} \sin \frac{\tau}{n} \end{pmatrix},$$

где ε – эксцентриситет, D – делительный диаметр, $n + 1$ – количество циклов кривой. Эквидистанта эпитрохоиды может быть записана в виде

$$\overline{E}(\tau) = \overline{Te}(\tau) + \rho \frac{\overline{Ne}(\tau)}{|\overline{Ne}(\tau)|},$$

где

$$\overline{Ne}(\tau) = \begin{pmatrix} \varepsilon \cos \tau - \frac{D}{2n} \cos \frac{\tau}{n} \\ \varepsilon \sin \tau - \frac{D}{2n} \sin \frac{\tau}{n} \end{pmatrix}$$

– вектор нормали в точке кривой. Вид кривой изображен на рис. 2, там же изображена окружность O_1 , касающаяся эквидистанты эпитрохоиды изнутри.

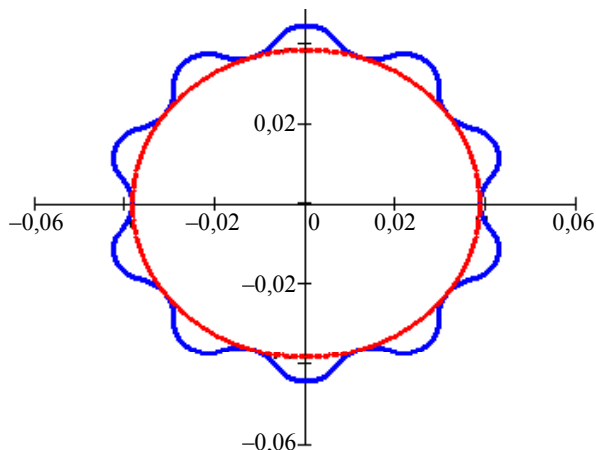


Рис. 2. Эквидистанта эпитроюиды

Поверхность выходной детали запишем в виде вектор-функции двух аргументов:

$$\vec{E}v(\nu, \tau) = \begin{pmatrix} \cos \frac{\nu}{n-1} \vec{E}(\tau)_0 + \sin \frac{\nu}{n-1} \vec{E}(\tau)_1 \\ -\sin \frac{\nu}{n-1} \vec{E}(\tau)_0 + \cos \frac{\nu}{n-1} \vec{E}(\tau)_1 \\ \frac{lr}{2\pi} \nu \end{pmatrix}, \quad (1.2)$$

где ν – угол поворота входной детали, $\nu/(n-1)$ – угол поворота эквидистанты. Здесь и далее обозначения вектор-функций с нижними индексами означают соответствующие координаты этих функций, которые являются скалярными функциями. График поверхности выходной детали представлен на рис. 3:

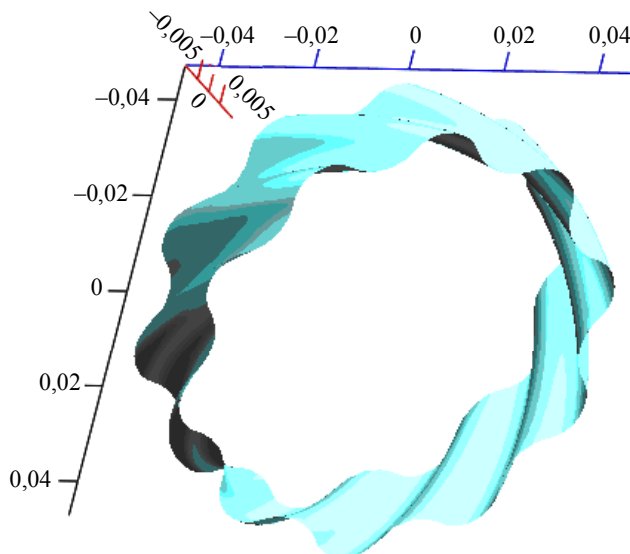


Рис. 3. Поверхность выходной детали

Требование касания сферы с выходной деталью приводит к системе трех уравнений на четыре неизвестных. Условие того, что точка детали лежит на сфере с центром $(x, y, 0)$ диаметром df имеет вид

$$|\vec{S}(x, y) - \vec{E}v(u, \tau)| = \frac{df}{2}.$$

Отсюда получаем первое уравнение:

$$\left[x - \cos \frac{v}{n-1} \vec{E}(\tau)_0 - \sin \frac{v}{n-1} \vec{E}(\tau)_1 \right]^2 + \left[y + \sin \frac{v}{n-1} \vec{E}(\tau)_0 - \cos \frac{v}{n-1} \vec{E}(\tau)_1 \right]^2 + \frac{(lr \cdot v)^2}{4\pi^2} = \frac{df^2}{4}. \quad (1.3)$$

Еще два уравнения получаются из условия параллельности нормали в точке детали и вектора, идущего из этой точки в центр сферы. Для нахождения нормали к поверхности продифференцируем (1.2) по τ и v , векторное произведение этих векторов и дает вектор нормали к поверхности:

$$\vec{NE}v(u, \tau) = \begin{pmatrix} \frac{lr}{2} \cdot \frac{\sin \frac{v}{n-1} \cdot \frac{d}{d\tau} \vec{E}(\tau)_0 - \cos \frac{v}{n-1} \cdot \frac{d}{d\tau} \vec{E}(\tau)_1}{\pi} \\ \frac{lr}{2} \cdot \frac{\cos \frac{v}{n-1} \cdot \frac{d}{d\tau} \vec{E}(\tau)_0 + \sin \frac{v}{n-1} \cdot \frac{d}{d\tau} \vec{E}(\tau)_1}{\pi} \\ \frac{\vec{E}(\tau)_0 \cdot \frac{d}{d\tau} \vec{E}(\tau)_0 + \vec{E}(\tau)_1 \cdot \frac{d}{d\tau} \vec{E}(\tau)_1}{n-1} \end{pmatrix}. \quad (1.4)$$

Третья координата этого вектора зависит только от τ . Поэтому дальше будем писать $\vec{NE}v(\tau)_2$. Из условия параллельности нормали в точке детали и вектора, идущего из этой точки в центр сферы, получаем

$$[\vec{S}(x, y) - \vec{E}v(u, \tau)] \times \vec{NE}v(u, \tau) = 0.$$

Это приводит к трем соотношениям, из которых одно является следствием двух других. Выпишем два существенных соотношения:

$$\left(x - \cos \frac{v}{n-1} \vec{E}(\tau)_0 - \sin \frac{v}{n-1} \vec{E}(\tau)_1 \right) \cdot \vec{NE}v(\tau)_2 - \frac{lr^2 v}{4\pi^2} \cdot \left(-\sin \frac{v}{n-1} \cdot \frac{d}{d\tau} \vec{E}(\tau)_0 + \cos \frac{v}{n-1} \cdot \frac{d}{d\tau} \vec{E}(\tau)_1 \right) = 0, \quad (1.5)$$

$$\left(y + \sin \frac{v}{n-1} \vec{E}(\tau)_0 - \cos \frac{v}{n-1} \vec{E}(\tau)_1 \right) \cdot \vec{NE}v(\tau)_2 + \frac{lr^2 v}{4\pi^2} \cdot \left(\cos \frac{v}{n-1} \cdot \frac{d}{d\tau} \vec{E}(\tau)_0 + \sin \frac{v}{n-1} \cdot \frac{d}{d\tau} \vec{E}(\tau)_1 \right) = 0. \quad (1.6)$$

Из (1.5) выражаем x , а из (1.6) – y :

$$x = \frac{lr^2v}{4\pi^2 \overline{NEv}(\tau)_2} \left(-\sin \frac{v}{n-1} \cdot \frac{d}{d\tau} \bar{E}(\tau)_0 + \cos \frac{v}{n-1} \cdot \frac{d}{d\tau} \bar{E}(\tau)_1 \right) + \cos \frac{v}{n-1} \cdot \bar{E}(\tau)_0 + \sin \frac{v}{n-1} \cdot \bar{E}(\tau)_1, \quad (1.7)$$

$$y = \frac{-lr^2v}{4\pi^2 \overline{NEv}(\tau)_2} \left(\cos \frac{v}{n-1} \cdot \frac{d}{d\tau} \bar{E}(\tau)_0 + \sin \frac{v}{n-1} \cdot \frac{d}{d\tau} \bar{E}(\tau)_1 \right) - \left(\sin \frac{v}{n-1} \cdot \bar{E}(\tau)_0 - \cos \frac{v}{n-1} \cdot \bar{E}(\tau)_1 \right). \quad (1.8)$$

Подставляя эти выражения в (1.3), после упрощений получаем зависимость между параметрами v и τ , из которой получается два варианта выражения параметра v через τ . Подставляя эти выражения в (1.7) и (1.8), получим координаты центра сферы как функции параметра τ . Задание τ определяет на поверхности координатную линию, показанную на рис. 4. Именно эту линию и будет вытачивать фреза.

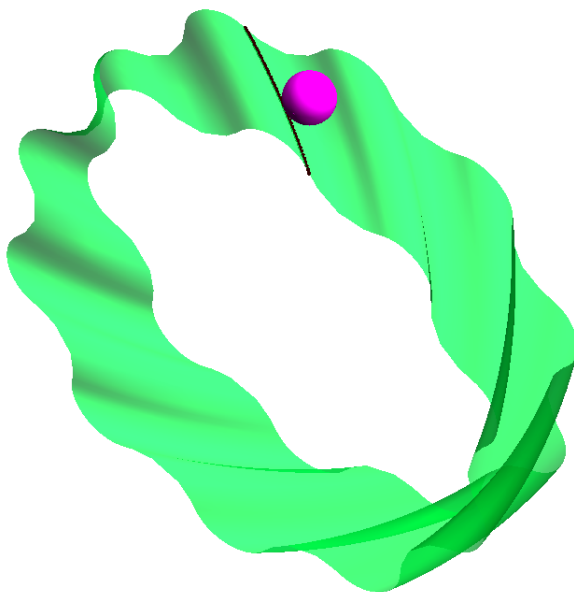


Рис. 4. Касание сферической фрезы с заданной координатной линией на поверхности выходной детали

Наличие двух решений, соответствует тому, что сфера может касаться детали как снаружи, так и изнутри. Чтобы оставить только наружное касание, составлена специальная подпрограмма, которая производит отбор корня. Критерием отбора корня является требование, чтобы расстояние от центра детали до центра фрезы больше радиуса окружности O_1 (см. рис. 2).

2. Обработка деталей торической фрезой

При формообразовании поверхностей выходной детали малого размера целесообразно использование не сферической фрезы, а фрезы, боковая поверхность которой, – тор, поскольку при этом достигается меньший радиус кривизны вытравливаемой поверхности фрезы.

Параметрические уравнения поверхности торической фрезы имеют вид

$$\overrightarrow{tor}(u, v) = \begin{pmatrix} 0 \\ c_1 \cdot \sin v \\ c_1 \cdot \cos v \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} rf \cdot \sin u \\ rf \cdot \cos u \cdot \sin v \\ rf \cdot \cos u \cdot \cos v \end{pmatrix},$$

где df – диаметр фрезы, $c_1 = df/2 - rf$, rf – радиус кривизны боковой поверхности тора. При обработке детали ось фрезы (ось симметрии тора) поворачивается в плоскости, перпендикулярной оси червячного элемента, на угол ϕ , а поверхность тора смещается вдоль этой оси на величину Ht . Эти две величины определяют положение фрезы в каждый момент времени обработки детали и должны быть найдены из условия касания взаимодействующих поверхностей. Запишем уравнения поверхности фрезы с учетом этих смещений в виде

$$\overrightarrow{Tor}(u, v) = \begin{pmatrix} \cos \phi & \sin \phi & 0 \\ \sin \phi & \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \left(\overrightarrow{tor}(u, v) + \begin{pmatrix} Ht \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \right).$$

Тогда единичный вектор нормали поверхности тора в точке с криволинейным координатами (u, v) имеет вид

$$\overrightarrow{N}(u, v) = \begin{pmatrix} \cos \phi \sin u - \sin \phi \cos u \sin v \\ \sin \phi \sin u + \cos \phi \cos u \sin v \\ \cos u \cos v \end{pmatrix}.$$

2.1. Входная деталь

Зададим обрабатываемую поверхность и единичный вектор нормали (как и в п. 1.1) в виде

$$\overrightarrow{Sv}(v, \alpha) = \begin{pmatrix} \varepsilon \cos v + \rho \cos(\alpha + v) \\ \varepsilon \sin v + \rho \sin(\alpha + v) \\ c_2 \cdot v \end{pmatrix}, \quad \overrightarrow{Ns}(v, \alpha) = \frac{1}{\sqrt{c_2^2 + \varepsilon^2 \sin^2 \alpha}} \cdot \begin{pmatrix} \cos(\alpha + v) \cdot c_2 \\ \sin(\alpha + v) \cdot c_2 \\ -\sin(\alpha) \cdot \varepsilon \end{pmatrix}.$$

Параметр α на поверхности червячного элемента считается заданным ($\alpha = \alpha_0$) – тем самым на этой поверхности выделяется винтовая линия, вдоль которой движется фреза при обработке детали.

Чтобы найти точки касания поверхностей червячного элемента и тора (фрезы), используем два условия: параллельность нормалей этих поверхностей в точке касания и принадлежность этой точки обеим поверхностям.

Из условия параллельности нормалей с учетом поворота оси фрезы на угол ϕ

$$\overrightarrow{Ns}(v, \alpha) \times \overrightarrow{N}(u, v) = 0$$

получаем 2 уравнения на 4 неизвестных – v, u, v, ϕ :

$$\sin(\alpha) \cdot \varepsilon \cdot \sin u \sin \phi + \sin(\alpha + v) \cdot c_2 \cdot \cos u \cos v + \sin(\alpha) \cdot \varepsilon \cdot \cos \phi \cos u \sin v = 0,$$

$$\sin(\alpha) \cdot \varepsilon \cdot \cos u \sin v \sin \phi - \sin(\alpha) \cdot \varepsilon \cdot \cos \phi \sin u - \cos(\alpha + v) \cdot c_2 \cdot \cos u \cos v = 0.$$

Условие наличия общей точки у поверхностей

$$\overline{Tor}(u, v) = \overline{Sv}(v, \alpha)$$

приводит ещё к трём уравнениям на 5 неизвестных u, v, ϕ и ht . Из полученной системы уравнений удаётся выразить u, ϕ и ht через v в виде

$$\begin{aligned} uv(u, v) &= \frac{(c_1 + rf \cdot \cos u) \cos v}{c_2}, \\ \sin \phi(u, v) &= \frac{c_2 \cdot \varepsilon \cdot \cos u \cos v \left[\begin{array}{cc} \sin(\alpha_0 + uv(u, v)) & \sin \alpha_0 \cos u \sin v \\ -\cos(\alpha_0 + uv(u, v)) & -\sin \alpha_0 \sin u \end{array} \right]}{(\sin^2 u + \cos^2 u \sin^2 v) \sin^2 \alpha_0 \cdot \varepsilon^2}, \\ \cos \phi(u, v) &= \frac{c_2 \cdot \varepsilon \cdot \cos u \cos v \left[\begin{array}{cc} \sin \alpha_0 \sin u & \sin(\alpha_0 + uv(u, v)) \\ \sin \alpha_0 \cos u \sin v & -\cos(\alpha_0 + uv(u, v)) \end{array} \right]}{(\sin^2 u + \cos^2 u \sin^2 v) \sin^2 \alpha_0 \cdot \varepsilon^2}, \quad (2.1) \\ Ht(u, v) &= \frac{(\varepsilon \cdot \cos u \sin \alpha_0 \cdot (rf \cdot \cos u + c_1)) \sin^2 v + (\sin u \cdot c_1 (\rho + \varepsilon \cdot \cos \alpha_0)) \sin v + \sin \alpha_0 \sin^2 u \cdot rf \cdot \varepsilon}{(-\sin \alpha_0 \sin u \cdot \varepsilon + (\rho + \cos \alpha_0 \cdot \varepsilon) \sin v \cos u)}. \end{aligned}$$

Задача сводится к решению системы двух уравнений на два неизвестных u, v :

$$\begin{aligned} &(-c_1 \cdot \sin v - rf \cdot \cos u \cdot \sin v) \sin \phi(u, v) + (rf \cdot \sin u + Ht(u, v)) \cos \phi(u, v) - \\ &\quad - (\varepsilon \cos(uv(u, v)) + \rho \cos(\alpha_0 + uv(u, v))) = 0, \\ &(rf \cdot \sin u + Ht(u, v)) \sin \phi(u, v) + (c_1 \cdot \sin v + rf \cdot \cos u \cdot \sin v) \cos \phi(u, v) - \\ &\quad - \varepsilon \sin(uv(u, v)) + \rho \sin(\alpha_0 + uv(u, v)) = 0. \end{aligned}$$

Численное решение этой системы найдено с помощью средств математического пакета MathCad. Подставляя теперь найденные значения u, v в (2.1), находим величины ϕ и Ht , определяющие положение фрезы в каждый момент времени обработки детали.

Контактное взаимодействие поверхностей тора и червячного элемента в точке заданной винтовой линии $\alpha = \alpha_0$ изображено на рис. 5.

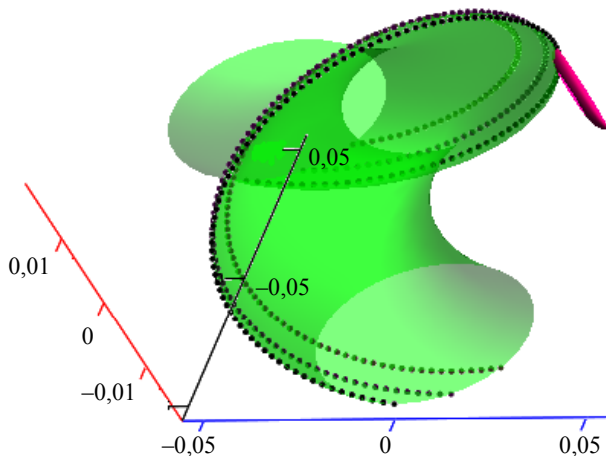


Рис.5. Контактное взаимодействие поверхности червячного элемента и торической фрезы

2.2 Выходная деталь

Зададим уравнения обрабатываемой поверхности как и в п. 1.2 в виде (1.2), а вектор нормали – в виде (1.4). Тогда условие параллельности нормалей к поверхностям детали и тора в точке касания запишется в виде

$$\vec{N}(u, v) \times \begin{pmatrix} -c_2 \cdot \left(-\sin \frac{v}{n-1} \cdot e'_0(\tau) + \cos \frac{v}{n-1} \cdot e'_1(\tau) \right) \\ c_2 \cdot \left(\cos \frac{v}{n-1} \cdot e'_0(\tau) + \sin \frac{v}{n-1} \cdot e'_1(\tau) \right) \\ ee'(\tau) \end{pmatrix} = 0,$$

где обозначено:

$$e'_0(\tau) = \frac{d}{d\tau} \bar{E}(\tau)_0, \quad e'_1(\tau) = \frac{d}{d\tau} \bar{E}(\tau)_1, \quad ee'(\tau) = \frac{e'_0(\tau) \bar{E}(\tau)_0 + e'_1(\tau) \bar{E}(\tau)_1}{n-1}.$$

Отсюда находим выражения параметров u , v точек касания фрезы с заданной линией на поверхности детали ($\tau = \alpha_0$):

$$u = \arctg \left(\frac{c_2 \cdot r_2(\psi)}{ee'(\alpha_0) \left(\frac{ee'(\alpha_0)^2 + r_1(\psi) \cdot c_2^2}{ee'(\alpha_0)^2} \right)^{\frac{1}{2}}} \right), \quad (2.2)$$

$$v = \arcsin \left(\frac{\operatorname{tg} u \operatorname{tg} \psi \cdot e'_1(\alpha_0) + e'_0(\alpha_0)}{\operatorname{tg} \psi \cdot e'_0(\alpha_0) - e'_1(\alpha_0)} \right). \quad (2.3)$$

Здесь обозначено: $\psi = \varphi + v/(n-1)$.

Условие наличия общей точки у поверхностей тора и выходной детали приводит ещё к трём уравнениям:

$$\begin{aligned} & (-c_1 \cdot \sin v - rf \cdot \cos u \cdot \sin v) \sin \phi + (rf \cdot \sin u + Ht) \cos \phi = \\ & = \cos \frac{v}{n-1} \bar{E}_0(\tau) + \sin \frac{v}{n-1} \bar{E}_1(\tau), \\ & (rf \cdot \sin u + Ht) \sin \phi + (c_1 \cdot \sin v - rf \cdot \cos u \cdot \sin v) \cos \phi = \\ & = -\sin \frac{v}{n-1} \bar{E}_0(\tau) + \cos \frac{v}{n-1} \bar{E}_1(\tau), \\ & c_1 \cdot \cos v + rf \cdot \cos u \cos v = c_2 \cdot v \end{aligned} \quad (2.4)$$

Исключая из первых двух уравнений системы (2.4) Ht и подставляя в результат полученные выше выражения для u и v , получаем уравнение для определения ψ :

$$\begin{aligned} & \left(\frac{c_1}{\sqrt{ee'(\alpha_0)^2 + r_1(\psi)^2 c_2^2}} + \frac{rf}{\sqrt{ee'(\alpha_0)^2 + (e'_0(\alpha_0)^2 + e'_1(\alpha_0)^2) \cdot c_2^2}} \right) \times \\ & \times r_1(\psi) \frac{c_2 \cdot |ee'(\alpha_0)|}{ee'(\alpha_0)} + r_2(\psi) = 0, \end{aligned}$$

где обозначено:

$$r_1(\psi) = \cos \psi \cdot e'_0(\alpha_0) + \sin \psi \cdot e'_1(\alpha_0),$$

$$r_2(\psi) = \sin \psi \cdot \bar{E}_0(\alpha_0) - \cos \psi \cdot \bar{E}_1(\alpha_0).$$

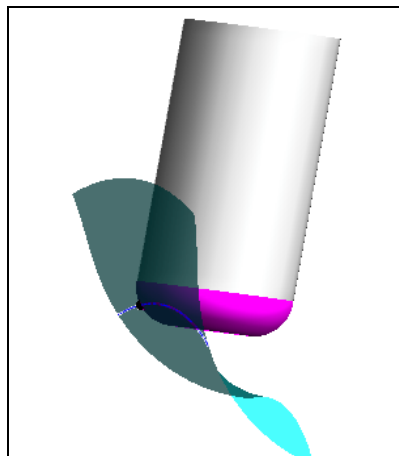


Рис. 6. Фрагмент выходной детали в касании с торической фрезой

Теперь из (2.2), (2.3) можно найти координаты точки контакта u , v , а с их помощью из третьего уравнения системы (2.4) легко находится параметр ψ , по которому, в свою очередь, определяется угол поворота оси фрезы:

$$\phi = \frac{-v}{n-1} + \psi.$$

Высота подъёма Ht находится из линейной комбинации первых двух уравнений системы (2.4).

Построенная геометрическая модель определяет параметры положения фрезы в контакте с заданной линией обрабатываемой детали (рис. 6), что позволяет создавать программу для станка с ЧПУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент РФ 2439401. Эксцентриково-циклоидальное зацепление зубчатых профилей (варианты) / В.В. Становской, С.М. Казакиявичюс, Т.А. Ремнева, В.М. Кузнецов, А.В. Становской. Заявлено 29.01.2010; опублик. 10.01.2012, Бюлл. № 1.
2. Kazakyavichyus S.M., Shcherbakov N.R., Remneva T.A., et al. Performance of eccentric-cycloid engagement with change in the interaxial distance: modification of tooth configuration // Rus. Engineer. Research. 2011. V. 31. No. 3. P. 197–199.
3. Савелов А.А. Плоские кривые. М.: ГИФМЛ, 1960. С. 118.

Статья поступила 25.10.2012г.

Kamchatnyi S.A., Skovorodin A.V., Stanovskoi A.V., Shcherbakov N.R. MATHEMATICAL SIMULATION OF THE PROCESS OF SURFACE APPROACHING WHEN GENERATING THE GEOMETRY OF DETAILS OF THE DRIVING GEAR WITH EC-GEARING. Generation of the geometry in detail processing is the most important aspect of the machine-building industry. The problem of processing of the surface of the driving gear detail, in the most general formulation, is the task of two surfaces approaching up to the point of contact where the surfaces have the common tangent plane. Systems of equations for the determination of the milling cutter location, at the contact point, have been derived. Analytical and numeral solutions of these systems have been found. A complex of special computer programs to control the milling cutter motion while processing the detail was developed.

Keywords: generation of geometry, ec-gearing, contact of surfaces.

KAMCHATNIY Sergey Alexandrovich (Tomsk State University)

E-mail: kam-serega2030@sibmail.com.vcf

SKOVORODIN Alexandr Vladimirovich (CJSC «Technology Market» Tomsk)

E-mail: ssurik@mail.ru

STANOVSKOY Alexandr Viktorovich (CJSC «Technology Market» Tomsk)

E-mail: sav.tomsk@sibmail.com

SHCHERBAKOV Nikolay Romanovich (Tomsk State University)

E-mail: nrs@math.tsu.ru