

АНАЛИЗ КИНЕМАТИЧЕСКИХ СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ ФОРМООБРАЗОВАНИЕМ ТОРЦОВЫХ ЗУБЧАТЫХ КОНТУРОВ ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ ДВИЖЕНИИ ДЕЛЕНИЯ

*Полоцкий государственный университет
Новополоцк, Беларусь*

Для кинематического формирования пазов торцового зубчатого контура по схемам, основанным на непрерывном процессе деления при согласованных вращательных движениях инструмента и заготовки [1, 2], необходимо обеспечить направление скорости исполнительного движения вдоль обрабатываемого паза.

В случае обработки прямолинейных пазов, ориентированных в радиальном направлении, данное условие выполняется, если плоскость вращения инструмента расположена под определенным углом λ к прямой, проходящей через ось вращения заготовки и точку M контакта средней точки режущего лезвия инструмента с плоскостью вращения заготовки.

Угол λ , задающий положение точки M относительно оси вращения заготовки (угол установки инструмента), определяется по формуле:

$$\lambda = \arcsin \frac{L}{Rm}, \quad (1)$$

где L – расстояние между прямой, перпендикулярной оси вращения инструмента, проходящей через точку M , и осью вращения заготовки;

R – радиус инструмента;

m – число пазов торцового зубчатого контура.

Если величина L в (1) постоянна, то требуемое направление скорости V обеспечивается только в одной точке контакта режущего лезвия с формируемым пазом, так как происходит непрерывное изменение направления и величины скорости V , что обусловлено зависимостью окружной скорости заготовки от радиуса заготовки R_3 (см. рисунок 1). Поэтому пазы торцового зубчатого контура формируются с отклонением от номинальной геометрии.

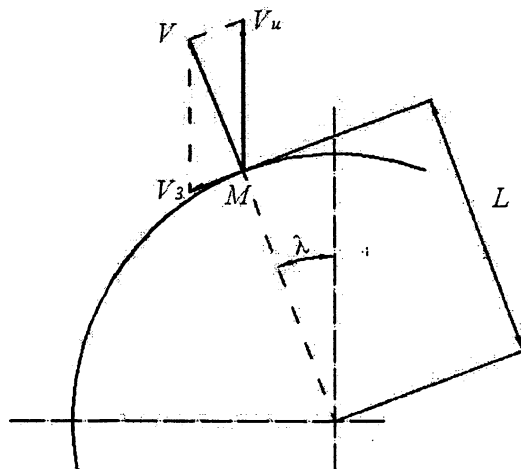


Рисунок 1- Схема скоростей при обработке торцовых зубчатых контуров

С целью повышения точности формирования пазов необходимо проанализировать возможность управления траекторией относительного движения режущего элемента кинематическими способами. Установление закономерности изменения направления скорости от-

носительного движения важно также для оценки геометрии формируемого торцового зубчатого контура и диапазона изменения углов резания.

Скорость исполнительного движения зависит от окружных скоростей заготовки V_3 и инструмента V_{II}

$$\vec{V} = \vec{V}_3 + \vec{V}_{II}. \quad (2)$$

Учитывая, что

$$V_{II} = R\omega, \quad (3)$$

$$V_3 = R_3\omega_3, \quad (4)$$

где ω и ω_3 - угловые скорости инструмента и заготовки,

$$V = \sqrt{(R_3\omega_3)^2 - (R\omega)^2 + 2R\omega R_3\omega_3 \cos(\lambda)}. \quad (5)$$

Основываясь на постулате, что скорость V направлена по касательной к траектории можно определить направление скорости относительного движения точки, принадлежащей режущей кромке. Уравнение, описывающие траекторию данного движения следует из математической модели схемы обработки [2]. В частности математическая модель формообразования торцового зубчатого контура секторным инструментом имеет вид:

$$\begin{cases} x_I = L \cos \alpha + R \sin(\alpha m + \beta_I) \cos(\alpha + \lambda), \\ y_I = L \sin \alpha + R \sin(\alpha m + \beta_I) \sin(\alpha + \lambda), \\ z_I = R(1 - \cos(\alpha m + \beta_I)) - \frac{(\alpha m + \beta_I) \cdot S}{2\pi}, \end{cases} \quad (6)$$

где α - угол поворота заготовки или режущей головки в относительном движении; β_i - величина, определяющая угловое относительное расположение режущих элементов;

S - подача на оборот инструмента.

Для одного режущего элемента система уравнений (5) примет вид:

$$\begin{cases} x = L \cos \alpha + R \sin(\alpha m) \cos(\alpha + \lambda), \\ y = L \sin \alpha + R \sin(\alpha m) \sin(\alpha + \lambda), \\ z = R(1 - \cos(\alpha m)) - \frac{(\alpha m) S}{2\pi}. \end{cases} \quad (7)$$

Изменение направления скорости исполнительного движения можно проанализировать через ее проекции в декартовой системе координат:

$$V_x = \frac{dx}{dt}; V_y = \frac{dy}{dt}; V_z = \frac{dz}{dt}. \quad (8)$$

В системе уравнений (7) параметр времени t выражается через угол поворота заготовки α в относительном движении. В частном случае, при постоянной частоте вращения заготовки, имеем:

$$\alpha = At. \quad (9)$$

С учетом (9) и (8) система уравнений (7) приводится к виду:

$$\begin{cases} x' = (L \cos(At) + R \sin(Atm) \cos(At + \lambda))', \\ y' = (L \sin(At) + R \sin(Atm) \sin(At + \lambda))', \\ z' = \left(R(1 - \cos(Atm)) - \frac{(Atm) \cdot S}{2\pi} \right)'. \end{cases} \quad (10)$$

Анализ системы уравнений (10) позволяет указать два кинематических способа управления процессом формообразования:

- изменением параметров установки в процессе обработки;
- изменением отношения частот вращения заготовки и инструмента.

Оба способа управления обеспечивают изменение траектории относительного движения режущих элементов и, следовательно, формы обработанных поверхностей.

В относительном движении режущая кромка перемещается из положения на заготовке с радиусом R_3 и углом λ , в положение с радиусом R_3' и углом λ' (рис. 2). Новое положение характеризуется иным значением скорости V_3' , что следует из (4), и иным ее направлением. В результате непрерывно изменяются величина и направление результирующей скорости V' , что влияет на геометрию формируемых поверхностей пазов. Необходимо отметить, что изменение указанных параметров взаимосвязано, что обусловлено кинематическими и геометрическими связями в обрабатывающей системе:

$$\omega = \omega_3 m, \quad (11)$$

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda, \quad (12)$$

$$V_{И}' = R\omega \cos(\Delta\lambda). \quad (13)$$

Рассмотрим задачу управления траекторией относительного движения инструмента за счет изменения параметров установки инструмента в процессе обработки по способу, обеспечивающему возможность обработки пазов с требуемой формой дна.

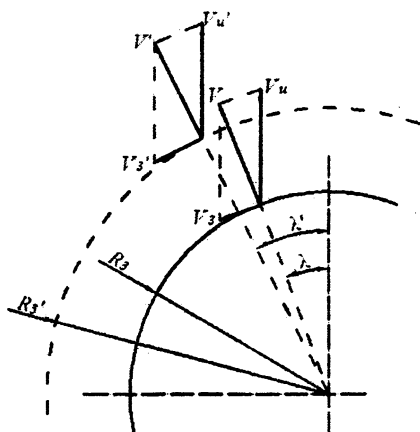


Рисунок 2 - Изменение направления скорости относительного движения при формировании

Способ состоит в том, что инструменту, кроме вращательного движения, сообщают дополнительное сложное движение, например, посредством эксцентрика (рисунок 3), вращение которого связано с вращением инструмента. На рисунке 3 точка O принадлежит оси вращения эксцентрика, а точка A – оси вращения инструмента. Параметр e – определяет усложнение эксцентрика.

Определим траекторию движения режущего элемента инструмента, работающего по рассматриваемому способу.

Пусть начальное положение составных частей механизма характеризуется следующими параметрами (см. рисунок 3):

- угол поворота инструмента – 0^0 ;
- угол поворота эксцентрика – 180^0 .

Из рисунка 3 следует, что:

$$\begin{cases} x = R\cos\alpha - e\cos(m\alpha) \\ y = R\sin\alpha - e\sin(m\alpha). \end{cases} \quad (14)$$

Анализ системы (14) показывает, что форму дна паза, можно изменять за счет величины эксцентриситета e , делая ее вогнутой, выпуклой или плоской.

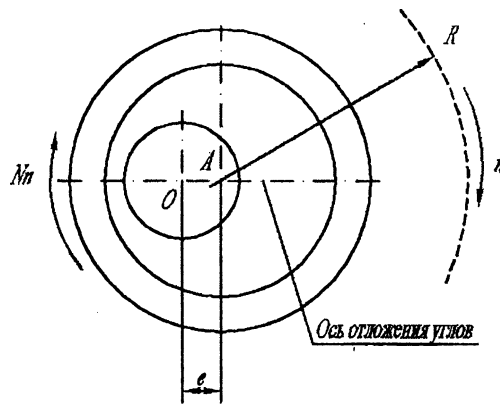


Рисунок 3 - Схема кинематического управления траекторией движения режущего инструмента

При повороте инструмента на угол α точке режущей кромки добавляется перемещение от эксцентрика, что изменяет направление вектора скорости режущего элемента. Таким образом, скорость резания есть геометрическая сумма окружных скоростей эксцентрика V_1 и инструмента V_2 :

$$\vec{V} = \vec{V}_1 + \vec{V}_2,$$

$$V^2 = V_1^2 + V_2^2 - 2V_1V_2 \cos(N\alpha - \alpha). \quad (15)$$

Из формулы видно, что режущая кромка получает наибольшую скорость на перифериях венца.

Частота вращения инструмента:

$$n = \frac{V}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{N^2 \cdot e^2 + R^2 - 2 \cdot e \cdot N \cdot R \cdot \cos(N\alpha - \alpha)}}. \quad (16)$$

Кинематические способы управления путем изменения параметров установки в процессе обработки не ограничиваются только управлением траектории инструмента, возможны варианты изменения параметров установки заготовки или их совместное трансформирование. Общим во всех случаях является цикличность этих процессов, причем количество циклов кратно количеству формируемых пазов.

Кинематический способ управления путем изменения отношения частот вращения инструмента и заготовки реализуется через настройку обрабатывающей системы на различное количество формируемых пазов. В математической модели это обеспечивается параметром настройки m . В частном случае данный параметр равен числу формируемых пазов, что обеспечивает последовательное формирование элементов торцового зубчатого контура. В случае управления данным параметром осуществляется циклическое изменение передаточного отношения, что позволяет изменять траекторию движения режущих элементов, с целью повышения точности формируемых пазов по их прямолинейности.

Таким образом, применение кинематических способов управления формообразованием торцовых зубчатых контуров обеспечивает достижение двух основных целей: обработка торцовых зубчатых контуров различной геометрии; повышение точности формообразования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Данилов, В.А., Киселев, Р.А., Определение параметров схемы формообразования и геометрии червячного инструмента для непрерывной обработки плоского зубчатого контура // *Машиностроение: Республиканский межведомственный сборник научных трудов.* – Мн., 2001. – Вып. 17. – С. 205 – 209.
2. Данилов, В.А., Киселев, Р.А. Определение параметров схемы непрерывного формообразования и режущего инструмента для обработки плоского зубчатого контура // *Вестник Полоцкого государственного университета: серия В. Прикладные науки.* Том II, №2, 2003. С. 34-41.

УДК 621.835

Данильчик С.С.

РАСЧЕТ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЗАДАТЧИКА ДВИЖЕНИЯ УСТРОЙСТВА ВИБРАЦИОННОГО ТОЧЕНИЯ К ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНОМУ СТАНКУ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Вибрационное точение является эффективным способом стружкодробления в процессе обработки деталей, но при этом снижается качество обработанной поверхности. В отличие от обычного резания, где осевое расстояние между траекториями движения резца на соседних витках Δ одинаковое и равно подаче на оборот S_0 , при вибрационном точении оно изменяется от нуля до $\Delta_{\max} \geq 2S_0$ (рис.1, а), в результате чего происходит увеличение высоты гребешков, остающихся после обработки.

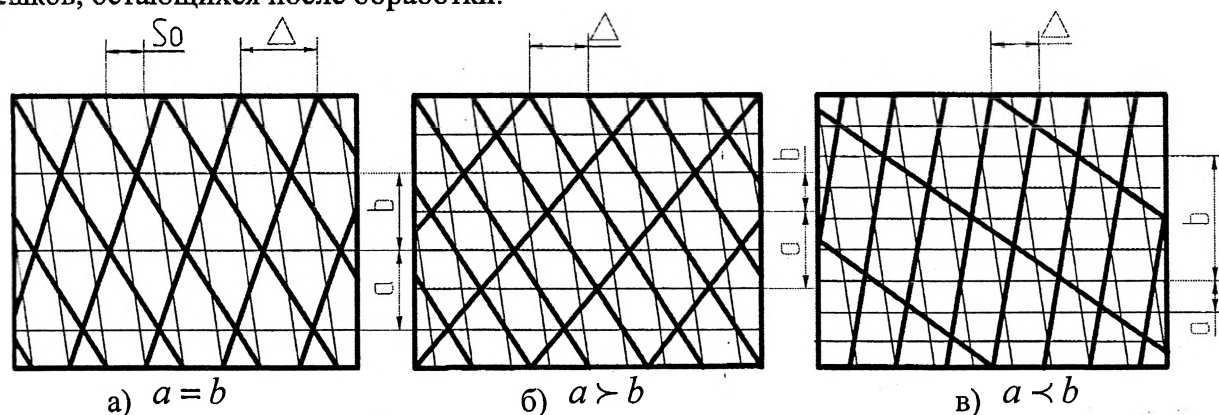


Рисунок 1 - Методы вибрационного точения:

а) - симметричное, б) – асимметричное мягкое, в) – асимметричное жесткое

Уменьшение расстояния Δ , а, следовательно, и высоты гребешков возможно при переходе от симметричного вибрационного точения к асимметричному. Асимметричное вибрационное точение характеризуется различными временными промежутками движения резца в направлении подачи и обратном направлении, т.е. коэффициентом асимметрии:

$$\xi = \frac{T_{вр}}{T_{отв}}$$

где $T_{вр}$ и $T_{отв}$ - время, соответственно, отводимое на врезание инструмента в заготовку и отвод в процессе его колебательного движения. Если $\xi > 1$, т.е. время на врезание превышает