

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЦИКЛОИДАЛЬНОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ МНОГОГРАННИКОВ

Е.О. Сизых

kabutops@gmail.com

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Рассмотрено перспективное направление разработки высокопроизводительных методов формообразования гранных поверхностей деталей. Представлены этапы моделирования процесса циклоидального формообразования деталей, поперечное сечение которых выполнено в виде правильных многоугольников

Ключевые слова

Моделирование, циклоидальное формообразование, многогранники

Поступила в редакцию 08.06.2016

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016

Одним из приоритетных направлений в развитии станкоинструментальной промышленности является создание технологических систем на базе высокоэффективных процессов обработки. Решить задачу создания таких систем можно, используя прогрессивные конструкции деталей машин, а также путем разработки процессов их формообразования. Примером таких конструкций являются профильные бесшпоночные соединения [1], содержащие некруглые поверхности (рис. 1). Благодаря целому ряду преимуществ, такие моментопередающие соединения нашли широкое применение в машиностроении. Так, по сравнению со шпоночными и шлицевыми соединениями, они имеют повышенную несущую способность, большую прочность и срок службы, более высокий КПД при передаче крутящего момента, обладают свойством самоцентрирования под нагрузкой [2]. Крутящий момент в таких соединениях передается по гладким цилиндрическим поверхностям с циклоидальной направляющей.

В некоторых зарубежных странах бесшпоночные соединения используют в коробках скоростей передач и гитарах металлорежущих станков (Schaublin, Швейцария), гибких модульных инструментальных системах (Sandvik-Coromant, Швеция), кузнечно-прессовом оборудовании (Schmid, Швеция) и некоторых компрессорах (Intersoff, США).

В отечественном машиностроении профильные детали применяют в промышленных роботах типа «Универсал-50м», хвостовиках металлорежущего инструмента [3]. Используют также специальные крепежные детали из легированных сталей с содержанием бора, которые имеют участки четырех- или шестигранной формы и опорный поясик диаметром, превышающим габариты много-

гранника. Изготовить такие детали из катаной шестигранной заготовки невозможно. Их выполняют по 10 качеству точности [4].

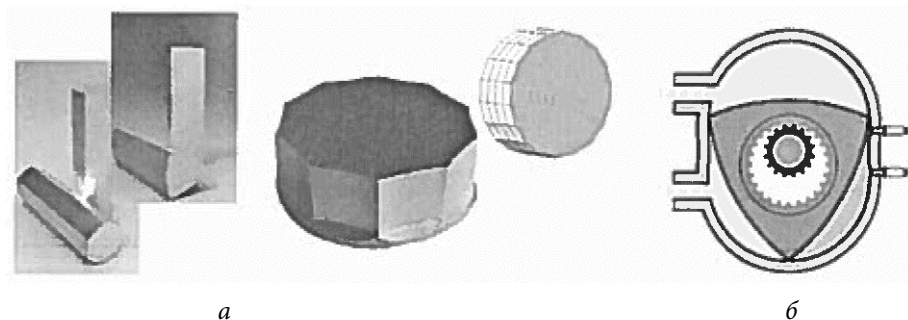


Рис. 1. Детали с многогранным профилем (а) и вариант их применения в двигателе Ванкеля (б)

Технологическое производство профильных соединений позволяет обрабатывать некруглые валы теми же высокопроизводительными методами, что и круглые (точением, фрезерованием, шлифованием), это существенно снижает затраты на выпуск профильных соединений, по сравнению со шлицевыми или шпоночными.

В отечественном машиностроении ввиду недостаточной технологической базы для производства профильных бесшпоночных соединений существуют ограничения в их использовании. В этой связи актуально решение теоретических и прикладных задач, связанных с разработкой технологии получения деталей для таких соединений.

Реализация данных направлений может быть обеспечена на основе схем лезвийной обработки, компоновка и кинематика которых формируют циклоидальные траектории формообразования в виде эпи-, гипо- и перитрохоиде. В их основе лежит сочетание двух вращательных движений, сообщаемых заготовке и инструменту.

Для решения одной из технологических задач получения профильных соединений выполним моделирование процесса формирования многогранных валов. Чтобы разработать модель формообразования, применимую к различным схемам касания пары деталь-инструмент, а также методам фрезоточения и цилиндрического фрезерования, способам реализации резания (попутное, встречное), необходима единая кинематическая структура и единая пространственная компоновка элементов технологической пары (параллельное расположение осей вращения детали и инструмента).

При моделировании процесса формирования многогранных профилей принята концепция циклоидального формообразования [5], согласно которой траектория движения точки, фиксированной на вращающемся объекте в координатах, связанных с другим вращающимся объектом, представляет собой трохоида (общее название циклоидальной кривой). Трохоида — циклическая

кривая, образованная точкой, которая связана с производящей окружностью, перекатываемой с проскальзыванием или без него по другой (направляющей) окружности. Поэтому для лезвийной обработки с циклоидальной схемой формообразования многогранных профилей фиксированная относительно инструментального шпинделя точка, например вершина резца, описывает трохоиду S (рис. 2).

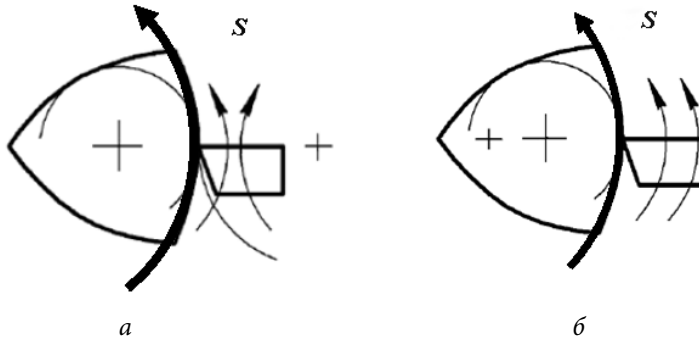


Рис. 2. Внешняя (а) и охватывающая (б) схемы циклоидального формообразования многогранных профилей

Для описания формообразующей траектории S принята полярная система координат (ρ, φ) . Это связано с типом исполнительных движений, а также формой заготовки и инструмента. При разработке модели формообразования использован принцип относительности движений, согласно которому деталь и связанную с ней систему координат фиксируют, предотвращая вращение, а инструменту с центром O_i сообщают обратное движение вокруг центра O_d с угловой скоростью $-\omega_d$, равной по величине и противоположной по направлению угловой скорости ω_d реального вращения детали (рис. 3).

Модель формирования циклоидальной траектории, можно записать в виде системы уравнений [6, 7]:

$$\begin{aligned} \tilde{\rho} &= \sqrt{1 - 4(1 - i_1)i_1 \sin^2(\theta / 2)}; \\ \tilde{\rho} \sin v &= i_1 \sin \theta; \\ \varphi &= \tau + v; \\ \tau &= -i\theta, \end{aligned} \tag{1}$$

где $\tilde{\rho} = \frac{\rho}{R_d}$ — приведенный радиус формообразования; $i_1 = \frac{R_i}{R_d}$ — геометрическое передаточное отношение схемы технологического зацепления; R_d — геометрическая координата радиус-вектора детали; R_i — геометрическая координата радиус-вектора инструмента. Для внешней схемы касания пары деталь-инструмент $R_d > 0$, $R_i < 0$, $i_1 < 0$; θ — текущий угол отклонения радиус-

вектора формообразующей точки инструмента от нулевого положения (полюс зацепления p), рад; $i = \frac{\omega_d}{\omega_n}$ — кинематическое передаточное отношение угловых скоростей детали и инструмента; φ — угловая координата вектора формообразования в абсолютных координатах, связанных с деталью; τ — текущее угловое отклонение центра инструмента O_n^1 ; ν — угловое отклонение радиус-вектора формообразования относительно начального положения (линии центров) в подвижной системе координат.

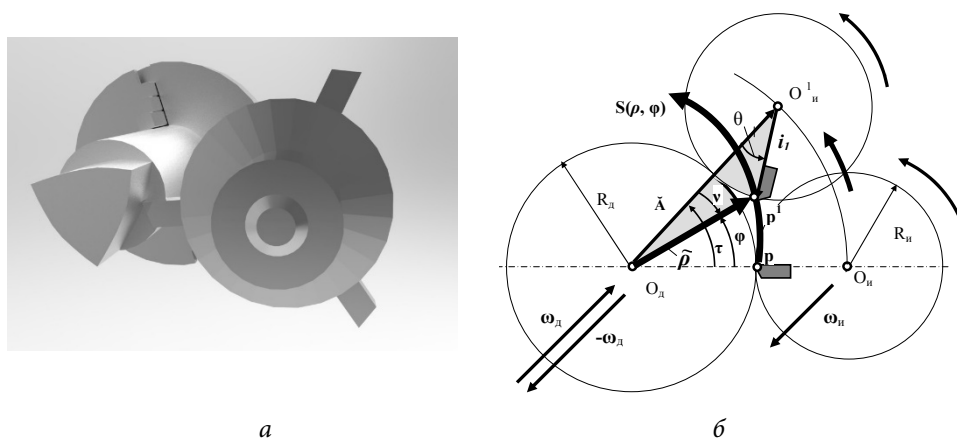


Рис. 3. Обработка (а) и схема формирования траектории $S(\rho, \varphi)$ относительного движения резца (б)

Далее рассмотрим алгебраическую модель циклоидальной траектории формообразования в виде заданной функции $\tilde{\rho} = F(i_1, i, \varphi)$:

$$\tilde{\rho} = 1 - \frac{1}{2}(1 - i_1)i_1 \left(\frac{\varphi}{i_1 - i} \right)^2 \quad (2)$$

или

$$\tilde{\rho} = 1 - \frac{1}{2}(i_1^{-1} - 1) \left(\frac{\varphi}{1 - I^{-1}} \right)^2, \quad (3)$$

где $I = \frac{V_n}{V_d} = \frac{i_1}{i}$ — кинематическое передаточное отношение окружных скоростей детали и инструмента.

Графическое построение модели формообразования циклоидальных многогранников проведено в автоматизированном режиме с использованием программного пакета *Mathcad 14*, что позволяет существенно снизить трудоем-

кость процесса построения пространственных композиций формообразующих траекторий и ограниченных ими циклоидальных многогранников.

Рассмотрим алгоритм графического построения композиции циклоидальных траекторий.

1. Открыть в главном меню операционной системы *Windows XP* окно *Mathcad 14*.
2. Вызвать курсором в меню рабочих панелей «Панель графиков» (рис. 4, а).
3. Кликнуть окно «Полярный график» на панели графиков (рис. 4, б).



Рис. 4. Рабочие панели семейства *Math* (а) и полярный график (б)

4. В окне построения графиков в метках для символического задания функции и пределов изменения параметров (ρ , φ) определить требуемые параметры графиков (рис. 5).

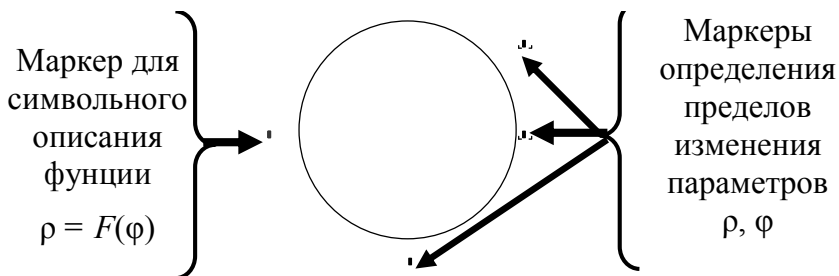


Рис. 5. Окно построения графиков

5. После выполнения шагов 1–4 в окне построения графиков визуализируются пространственные композиции циклоидальных траекторий, ограничивающих требуемый многогранник.

На рис. 6 представлены многогранные профили с числом граней $N = 3, 4, 6$, полученные в условиях попутного (ПР) и встречного (ВР) резания. Моделирование проведено для внешней схемы касания детали и инструмента с геометрическим передаточным отношением $i_1 = -4,318$, соответствующим размерам детали $R_d = 22$ мм и инструмента $R_i = 95$ мм. В каждой ячейке изображены пространственная композиция формообразующих траекторий и сформированный ею многогранный профиль.

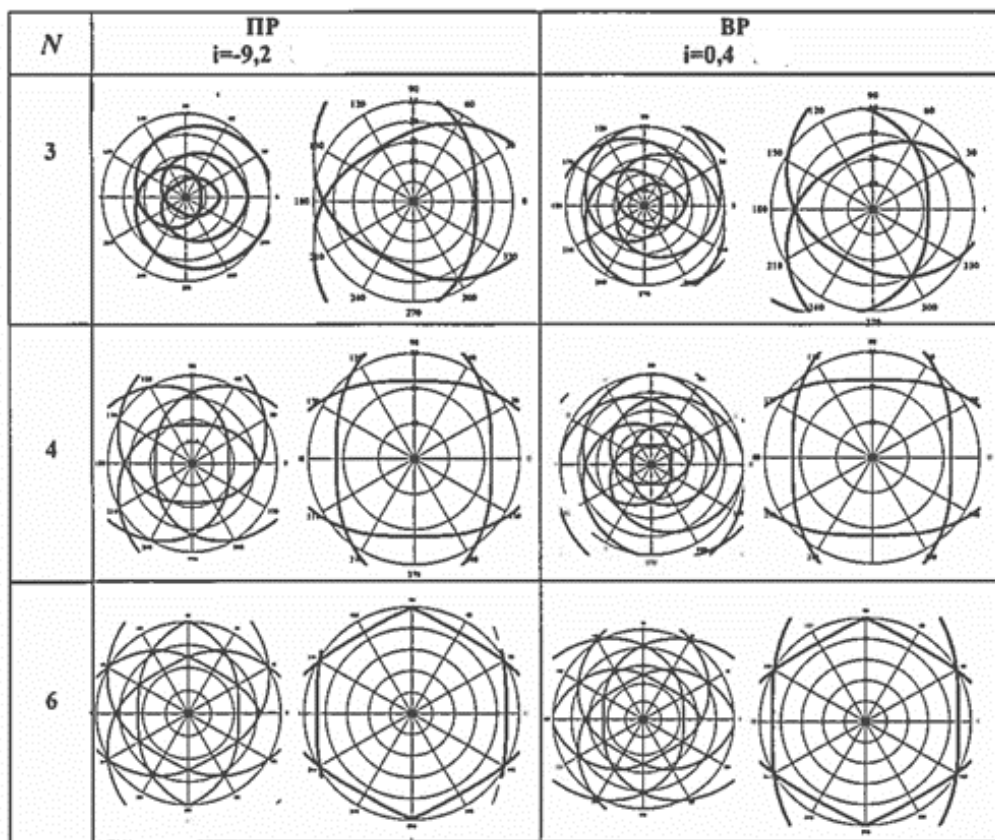


Рис. 6. Циклоидальные многогранники, полученные в условиях попутного (слева) и встречного (справа) резания

При моделировании пространственной композиции формообразующих траекторий для получения представленных результатов были приняты следующие условия: угловое смещение траекторий $2\pi/N$ и кривизна траектории знакопостоянна. Исследования в данном направлении планируется продолжить.

Литература

1. Чарнко Д.В., Тимченко А.И. Профильные соединения валов и втулок в машиностроении // Вестн. машиностроения. 1981. № 1. С. 33–35.
2. Данилов В.А., Данилов А.А. Анализ и реализация методов формообразования некруглых поверхностей профильных моментопередающих соединений // Вестн. Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность, прикладные науки. Машиноведение и машиностроение. 2014. № 11. С. 8–15.
3. Разумов М.С., Соколов Е.В., Климова Г.Н. Расширение области использования многогранников // Обеспечение качества продукции на этапах конструкторской и технологической подготовки производства / Межвузовский сборник научных трудов. Воронежский ГТУ. Воронеж. 2012. № 10. С. 51–59.
4. Бобылев М.В., Столяров В.П., Закиров Д.М. Современные подходы к производству высокопрочного крепежа // Металлоснабжение и сбыт. 2000. №5. С. 17–21.

5. *Иванов В.С.* Моделирование процесса циклоидального формообразования при лезвийной обработке поверхностей вращения // *Технология машиностроения*, 2007. № 7. С. 19–23.
6. *Иванов Д.В.* Моделирование процесса формообразования дискретно-щелевых структур при бирототрной лезвийной обработке // *Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн.* 2013. №7. С. 345–366.
URL: <http://technomag.bmstu.ru/doc/182415.html>
7. *Иванов В.С., Иванов Д.В.* Исследование процесса формирования щели на трубчатом профиле при обработке вращающимся лезвийным инструментом по параметрам траектории формообразования // *Технология машиностроения*. 2009. № 2. С. 21–25.

Сизых Евгений Олегович — магистрант кафедры «Металлорежущие станки и оборудование», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Д.В. Иванов, канд. техн. наук, доцент кафедры «Металлорежущие станки и оборудование», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.