

УДК 621.91.04

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И СИНТЕЗ РАЦИОНАЛЬНЫХ МЕТОДОВ
ПРОФИЛИРОВАНИЯ НЕКРУГЛЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

Ф. И. ПАНТЕЛЕЕНКО, доктор техн. наук, профессор
А.А. ДАНИЛОВ, аспирант
(БНТУ, г. Минск)

Пантелеенко Ф. И. – 220013, г. Минск, пр. Независимости, 65,
Белорусский национальный технический университет,
e-mail: panteleyenkofi@tut.by

На основе теории формообразования поверхностей выполнен системный анализ схем профилирования некруглых поверхностей методами следа, касания и обката. Для них определена структура исполнительного движения и дана оценка выполнимости существенных признаков, характеризующих процесс профилирования по производительности, точности, сложности реализации. Рассмотрен метод синтеза рациональной кинематики формообразования профильных поверхностей, основанный на частичном переносе ее функции на режущий инструмент. Такой подход позволил установить эффективные схемы профилирования некруглых поверхностей дисковыми и цилиндрическими фрезами, резцовыми головками внешнего и внутреннего касания, круглыми и некруглыми резцами, что важно для реализации соответствующих способов обработки некруглых поверхностей на универсальных станках и для проектирования специализированных станков.

Ключевые слова: некруглые поверхности, схемы профилирования, анализ, синтез.

Введение

Профильные моментопередающие соединения (ПМС) по сравнению с традиционными шлицевыми обладают более высокой усталостной прочностью, износостойкостью, пониженным уровнем шума и другими эксплуатационными преимуществами при меньшей себестоимости изготовления [1, 2]. Однако в отечественном машиностроении ПМС применяются редко, что обуславливает актуальность решения задач научного и конструкторско-технологического обеспечения их производства, создания соответствующего специализированного оборудования и эффективных технологий обработки некруглых поверхностей (НП) деталей ПМС, реализующих прогрессивные методы их формообразования. В этой связи, учитывая многообразие формы [2-7] и известных методов формообразования НП [7-17], актуальным является обоснованный выбор из известных или синтез рациональных методов профилирования с точки зрения простоты реализации, управляемости формообразованием [18] для обеспечения макро- и микрогеометрии НП [19], что важно для проектирования технологий, специализированного станочного оборудования и режущих инструментов.

Решение этой задачи обуславливает необходимость системного анализа и исследований методов формообразующей обработки НП на базе теорий формообразования поверхностей и резания, научных основ синтеза схем обработки и проектирования технологического оборудования [16, 20-22] с учетом геометрии моментопередающих поверхностей [2-8].

Методика исследования

Независимо от геометрии НП рассматривается как кинематическая, формируемая относительным перемещением ее производящих линий (ПЛ) – образующей и направляющей,

что соответствует определенным схемам механической и физико-технической обработки НП. При этом, согласно теории формообразования поверхностей [16, 20, 21], каждая из ПЛ поверхности может быть образована базовыми методами копирования K_n , следа $Сл$, касания $Кс$, обката $Об$ [20] и комбинированными методами, например $(K_n+Сл)$, $(Об+Сл)$ и др. [16].

В качестве существенных для оценки методов профилирования НП приняты признаки, определяющие исполнение производящего элемента (ПЭ) инструмента и вид формообразования ПЛ (полное или частичное), характеризующие разрешающие возможности методов по точности и производительности формообразования, сложности их реализации и позволяющие на единой основе сравнивать известные и возможные методы формообразования НП.

Исходя из этих положений, проведен анализ возможных схем профилирования НП, из которых установлены рациональные.

Обсуждение результатов исследования

Профилирование НП методом копирования. Производящим элементом при методе копирования является линия, определяющая форму или режущей кромки (при обработке лезвийным инструментом), или образующей инструментальной поверхности (при обработке вращающимся инструментом). Благодаря единовременному взаимодействию ПЭ с номинальной поверхностью изделия метод копирования обеспечивает полное формообразование ПЛ и поэтому характеризуется высокой производительностью. Однако необходимость в специальном инструменте обуславливает неуниверсальность данного метода и ограничивает область его экономически обоснованного применения обработкой некруглых отверстий протяжками, а наружных НП – фасонными инструментами [11] при периодическом движении деления, что отрицательно влияет на производительность и точность формообразования.

Профилирование НП методом следа. Производящим элементом при методе следа являются или точка или множество точек, что соответствует обработке одним резцом или резцовой головкой. Так как исполнительное движение профилирования осуществляется со скоростью резания, то наличие в его структуре реверсивного движения ограничивает производительность и отрицательно влияет на точность обработки. В этой связи к рациональным следует отнести схемы, при которых движение профилирования образовано вращательными движениями, а ПЭ представляет множество точек. Этим требованиям соответствуют две практические схемы профилирования (рис. 1), реализуемые методом полигонального точения [17] резцовой головкой внешнего (рис. 1, а) или внутреннего (рис. 1, б) касания. Более высокую производительность и лучшие условия резания обеспечивает схема обработки охватывающей резцовой головкой (схема б) [23].

Благодаря универсальности, возможности обработки на одном станке как наружных, так и внутренних НП, непрерывности процесса обработки практическое применение получила также схема профилирования, основанная на сообщении ПЭ согласованных вращательного B_1 и осциллирующего O_2 движений (рис. 1, в), реализуемая на станках для профильного точения, на токарно-затыловочных и др. станках. Ее недостатком является относительно низкая производительность из-за возвратно-поступательного движения инструмента.

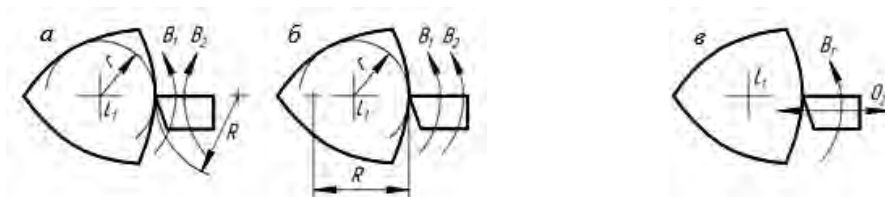


Рис. 1. Рациональные схемы профилирования НП методом следа при полигональном (а, б) и некруглом точении (в)

Профилирование НП методом касания. Движения профилирования методом касания различаются количеством и типом элементарных движений. Из множества возможных заслуживают внимания, как более простые в реализации, схемы профилирования, представленные на рис. 2.

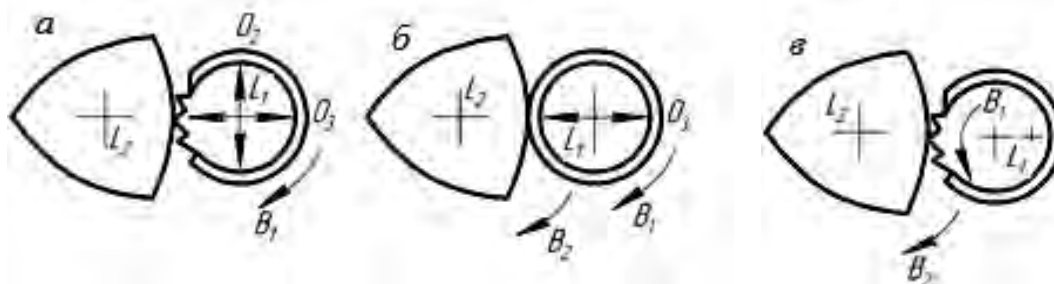


Рис. 2. Схемы профилирования некруглых поверхностей методом касания

Схема *a* применяется на фрезерных станках с ЧПУ [10], а схема *б* – на шлифовальных станках с копировальной или числовой системой управления. Простой в реализации, благодаря совмещению движений профилирования и резания в одно движение $\Phi_{vs}(B_1B_2)$, является схема *в*, при которой профилирование НП осуществляется некруглой [15] или эксцентрично установленной круглой [16] дисковой фрезой. В обоих случаях упрощается формообразующая система станка и обеспечивается возможность обрабатывать НП на универсальных станках различного назначения.

Профилирование НП методом обката. Профиль НП формируется методом обката как огибающая множества вспомогательных производящих линий. На рис. 3 представлены некоторые схемы этого класса.

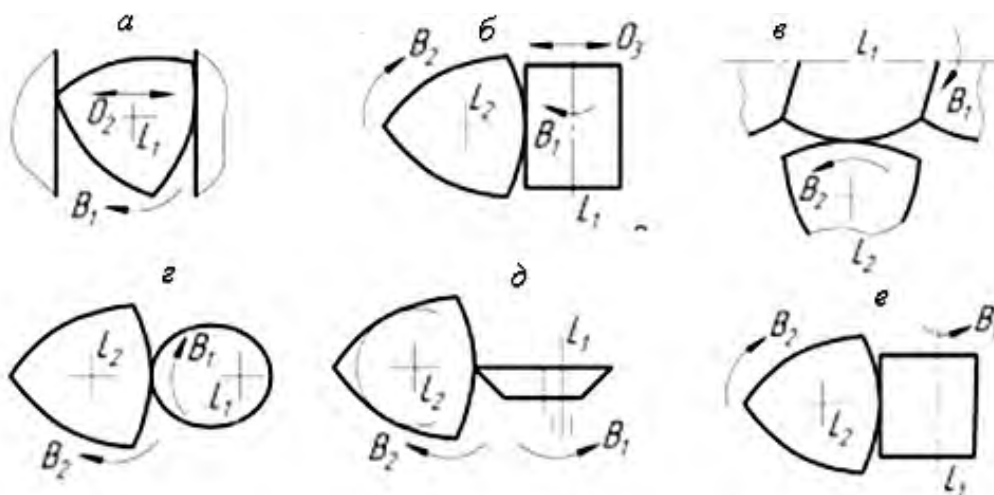


Рис. 3. Схемы профилирования методом обката при разделенных (*a, б*) и совмещенных (*в – д*) движениях профилирования и резания

Схема *a* целесообразна при профилировании НП равной ширины путем сообщения производящей плоскости относительно вращающейся заготовки осциллирующего движения O_2 . Схема *б* реализуется при обработке НП вращающимся цилиндрическим инструментом, осциллирующее движение O_3 которого функционально связано с вращением B_2 заготовки.

Характерным для схем *в-д* является совмещение движений профилирования и резания, что позволяет реализовывать их на универсальных станках. Обработка по схеме *в* осуществляется червячной фрезой [9], а по схеме *г* – специальным долбяком [14]. Формирование некруглого профиля по схеме *д* достигается некруглым или эксцентрично установлен-

ным круглым резцом [16]. Во втором случае упрощается реализация схемы обработки, при этом профиль поверхности не зависит от радиуса резца, что повышает точность формообразования. Профилирование НП по схеме *e* осуществляется некруглой или эксцентрично установленной круглой цилиндрической фрезой [16]. Схема *e*, представляющая модификацию схемы *b*, иллюстрирует метод синтеза рациональной кинематики формообразования НП, основанный на частичном перенесении ее функции на инструмент, что в данном случае реализуется при эксцентричной установке цилиндрической фрезы относительно оси L_1 ее вращения.

Выводы

1. Геометрия рабочих поверхностей ПМС допускает множество способов их обработки по схемам частичного и полного формообразования при профилировании методами копирования, следа, касания и обката.
2. Предложенная методика позволяет на единой основе выполнять системный анализ известных и возможных методов профилирования и разрабатывать прогрессивные способы обработки НП.
3. Установлены рациональные схемы частичного и полного профилирования НП, реализуемые методами некруглого, полигонального и ротационного точения, обработкой дисковыми и цилиндрическими фрезами. Предпочтительны схемы, основанные на совмещении движений профилирования и резания, что упрощает кинематику формообразования и позволяет обрабатывать НП на универсальных станках другого назначения.

Список литературы

1. Тимченко А.И. Процессы формообразования профильных поверхностей изделий с равноосным контуром: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.08. – М., 1993. – 41 с.
2. Grossmann C. Fretting fatigue of shape optimised polygon-shaft-hub connections. – Berlin, 2007. – 156 p.
3. DIN 32711–79. Antriebsselemente Polygonprofile P3G. – Berlin: Beuth, 1979. – 3 p.
4. DIN 32712–79. Antriebsselemente Polygonprofile P4C. – Berlin: Beuth, 1979. – 3 p.
5. ОСТ 92-4742–86. Соединения профильные. Типы и размеры.
6. Синкевич В.М., Микитюк Е.П. Новый вид профильных соединений в узлах судовых механизмов // Вестник машиностроения. – 1990. – № 11. – С. 60–63.
7. Лакирев С.Г., Чиненов С.Г. Математическое моделирование и новые принципы формообразования некруглых поверхностей: в 2 ч. Ч. 1. – Челябинск: ЧГТУ, 1994. – 156 с.
8. Максимов С.П. Повышение эффективности формообразования профильных соединений на базе «треугольника Рело»: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01. – Челябинск, 2005. – 184 с.
9. Волковский С.В. Повышение эффективности формообразования равноосноконтурных поверхностей посредством создания режущего инструмента, реализующего метод огибания: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01. – Хабаровск, 2002. – 218 с.
10. Зенин Н.В. Технологическое обеспечение качества трехгранного профиля бесшпоночных соединений в условиях серийного производства: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08. – М., 2007. – 132 с.
11. Шитиков А.Н. Проектирование сборных фрез для обработки наружного РК-профиля: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Тула, 2007. – 20 с.

12. *Ворона В.В.* Расчет оснастки и операции токарной обработки синусоидальных цилиндрических поверхностей: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01. – Курск, 2008. – 202 с.
13. *Разумов М.С.* Повышение производительности формообразования наружных поверхностей посредством планетарного механизма: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.07. – Курск, 2011. – 158 с.
14. *Панкратов П.А.* Разработка эффективного долбежного инструмента для обработки сложных криволинейных поверхностей по методу обкатывания: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08. – Курск, 2013. – 20 с.
15. *Максименко Ю.А.* Создание метода проектирования дисковых фрез с конструктивным исполнением радиальной подачи для обработки валов с РК и К-профилем: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Курск, 2014. – 20 с.
16. Конструирование и оснащение технологических комплексов / А.М. Русецкий и др.; под общ. ред. А.М. Русецкого. – Минск: Беларуская навука, 2014. – 316 с.
17. *Данилов А.А.* Анализ и реализация схем полигонального течения многогранных поверхностей // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. – 2016. – № 11. – С. 19–27.
18. *Пантелеенко Ф.И., Данилов А.А., Спецман М.В.* Рациональные методы формообразования и упрочнения деталей профильных соединений // Новые технологии и материалы, автоматизация производства: материалы международной научно-технической конференции, Брест, 2–3 ноября 2016 г. – Брест: БрГТУ, 2016. – С. 119–122.
19. *Пантелеенко Ф.И., Данилов А.А.* Формирование топологии некруглых поверхностей с регулярным микрорельефом // Сборник материалов докладов международной научной конференции «Материалы для работы в экстремальных условиях – 6». – Киев, 2016.
20. *Федотенок А.А.* Кинематическая структура металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1970. – 403 с.
21. *Радзевич С.П.* Формообразование поверхностей деталей. Основы теории. – Киев: Растан, 2001. – 592 с.
22. *Ермаков Ю.М.* Разработка высокопроизводительных способов механической обработки резанием и металлорежущих станков на основе исследования взаимосвязи способов: автореф. дис ... д-ра техн. наук: 05.03.01. – М., 1994. – 32 с.
23. *Данилов А.А.* Сравнение схем профилирования некруглых поверхностей методом следа // Перспективные направления развития технологии машиностроения и металлообработки: тезисы докладов международной научно-технической конференции, Минск, 7–8 апреля 2016 г. / редкол.: В.К. Шелег (отв. ред.) и др. – Минск: Бизнесофсет, 2016. – С. 45–46.

**SYSTEM ANALYSIS AND SYNTHESIS OF RATIONAL METHODS
OF SHAPING NON-CIRCULAR SURFACES**

Panteleyenko F.I., D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: panteleyenkofi@tut.by
Danilov A.A., Post-graduate Student, e-mail: Alexmeinadk@gmail.com

Belarusian National Technical University, 65 Nezavisimosty avenue, Minsk, 220013, Republic of Belarus

Abstract

Torque transmitting non-circular work surfaces have, in comparison with spline connections, substantial operational benefits and lower manufacturing costs. The geometry of non-circular surfaces allows for multiple profiling schemes. This allows to choose rational one when designing of machine tools and equipment depending on the shape surface and conditions of production. Based on the theory of surfaces formed a method of analysis of non-circular surfaces grading schemes. This allows to carry out a systematic analysis of the methods of profiling non-circular surfaces and develop innovative ways of processing. The essential features of the profiling schemes were established which are important for comparison and implementation on machine tools. These features are shape-producing elements, the result of their interaction with the nominal surface of the product, the type of formation (full, partial), and others. The structure of the executive movements for profiling schemes was examined. Circuit forming non-circular surfaces with the combined movements of the profiling and cutting are preferred. This allows to proceed with non-circular surfaces on universal machine tools with simple kinematics. Rational schemes of profiling non-circular surfaces in the processing of various disk and cylindrical cutters, cutter heads, round and non-round cutters are presented as a result of research.

Keywords

non-circular surface, profiling scheme, analysis, synthesis, implementation