

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И СИНТЕЗ МЕТОДОВ ПРОФИЛИРОВАНИЯ НЕКРУГЛЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ МОМЕНТОПЕРЕДАЮЩИХ СОЕДИНЕНИЙ

А.А. ДАНИЛОВ, В.А. ДАНИЛОВ

The article presents the characteristics of the methods of non-circular surfaces forming. Patterns of tool interaction with a nominal surface of the product with the full and partial shaping are considered. Method of structural description of surface profiling schemes is proposed. Recommendations regarding the selection of profiling schemes of non-circular surfaces in the design of machine tools are given

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

Постановка задачи. 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], что обуславливает актуальность их широкого применения в технике. 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 на универсальных металлорежущих станках. В этой связи, учитывая многообразие возможных методов формообразования НП, актуальным является обоснованный выбор из известных или синтез рациональных методов с точки зрения простоты реализации, управляемости формообразованием для обеспечения макро- и микрогеометрии НП, что важно для проектирования технологий, специализированного станочного оборудования и режущих инструментов. Решение этой задачи возможно на основе системного анализа и соответствующих исследований методов формообразующей обработки НП на базе теорий формообразования поверхностей и резания, научных основ синтеза схем обработки и проектирования технологического оборудования с учетом геометрии моментопередающих поверхностей и предъявляемых к ним требований.

Геометрия моментопередающих поверхностей. Деталь ПМС может быть ограничена одной или множеством конгруэнтных поверхностей, образующих некруглую (многогранную) цилиндрическую или коническую моментопередающую поверхность с периодически повторяющимся профилем. Форма поперечного сечения НП зависит от количества граней (выступов), ограниченных дугами окружностей, синусоидальными и циклоидальными кривыми, линиями равной ширины и др. [1, 2]. В ПМС обычно применяются НП с выпуклыми гранями, параметры которых регламентируются соответствующими стандартами, например, DIN 32711. В качестве примера на *рисунке 1* показаны изделия, рабочие поверхности которых имеют полигональный профиль Р3G по DIN 32711. При обработке деталей ПМС важно обеспечить параметры поверхности, влияющие на его собираемость и работоспособность – конгруэнтность и относительное расположение граней сопрягаемых поверхностей.

Анализ геометрии некруглых моментопередающих поверхностей показывает, что их можно рассматривать как кинематические, т.е. образованные перемещением образующей, например, линии, ограничивающей профиль, вдоль прямолинейной направляющей или наоборот, перемещением прямой вдоль контурной линии, что соответствует определенным схемам механической и физико-технической обработки НП.

Характеристика методов формообразования производящих линий НП. Согласно теории формообразования поверхностей [3] формирование любой поверхности включает генерацию в про-

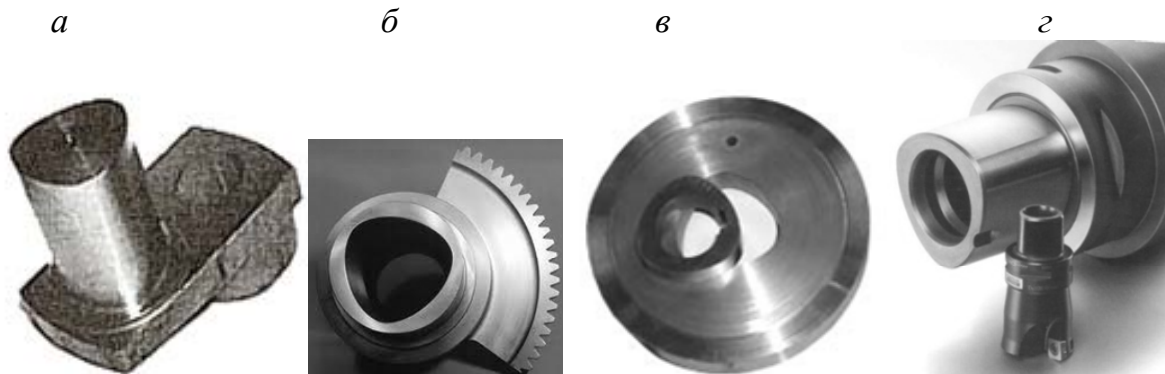


Рис. 1. – Примеры деталей машин (а, б) и технологической оснастки (в, г) с профильными моментопередающими поверхностями

Таблица. Характеристика методов формирования производящих линий

Существенные признаки	Методы профилирования производящих линий			
	Копирование <i>Кп</i>	След <i>Сл</i>	Касание <i>Кс</i>	Обкат <i>Об</i>
Форма производящих элементов ПЭ	Линия <i>L</i>	Точка <i>T</i> Множество точек $\{Ti\}$	Множество точек $\{Ti\}$	- Линия <i>L</i> -Множество линий $\{Li\}$
Инструментальная поверхность ИП	- Линейчатая поверхность <i>Лп</i> - Поверхность вращения: - цилиндрическая <i>ЦВр</i> - коническая <i>КВр</i> - фасонная <i>ФВр</i>			- Плоскость <i>Пл</i> -Цилиндрическая <i>Ц</i> - Коническая <i>К</i> - Винтовая <i>Вт</i> -Фасонная вращения <i>ФВр</i>
Вспомогательные производящие линии ВПЛ			Окружность <i>Ок</i> Прямая <i>Пр</i> Кривая <i>Кр</i>	Прямая <i>Пр</i> Кривая <i>Кр</i>
Форма мгновенного контакта ПЭ с номинальной НП	Линия <i>L</i>	Точка <i>T</i>	Точка <i>T</i>	Точка <i>T</i>
Характер взаимодействия ПЭ с номинальной НП во времени	Единовременное <i>E</i>	Непрерывное <i>H</i>	Прерывистое <i>П</i>	<i>H</i> - (<i>Обн</i>) <i>П</i> - (<i>Обп</i>)
Результат взаимодействия ПЭ с ПЛ номинальной НП	Линия <i>L</i>	Линия <i>L</i>	Множество точек $\{Ti\}$	-Линия <i>L</i> - <i>Обн</i> -Множество точек $\{Ti\}$ - <i>Обп</i>
Вид формообразования ПЛ	Полное	Полное	Частичное	-Полное - <i>Обн</i> -Частичное - <i>Обп</i>

цессе обработки ее производящих линий (ПЛ) – образующей и направляющей, каждая из которых может быть образована базовыми методами копирования *Кп*, следа *Сл*, касания *Кс*, обката *Об* [3] и комбинированными методами, например (*Кп+Сл*), (*Об+Сл*) и др. [2]. Возможные сочетания методов формирования ПЛ определяют множество методов формообразования поверхности.

В *таблице* отражены существенные признаки базовых методов профилирования НП, характеризующие их разрешающие возможности по точности и производительности формообразования, сложности реализации. Данные признаки позволяют на единой основе сравнивать известные и возможные методы формообразования НП при определении рациональных. Рассмотрим эту задачу.

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 (см. *таблицу*) метод копирования обеспечивает полное формообразование ПЛ и поэтому характеризуется высокой производительностью процесса формообразования. Однако необходимость в специальном инструменте обуславливает неуниверсальность данного метода и ограничивает область его рационального применения обработкой некруглых отверстий протяжками и прошивками, а наружных НП – специальными фасонными инструментами при периодическом движении деления, что отрицательно влияет на производительность и точность формообразования.

Профилирование НП методом следа. В соответствии с *таблицей* ПЭ при методе следа являются или точка или множество точек $\{Ti\}$, что соответствует обработке 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 профилирования, при которых исполнительное движение образовано вращательными элементарными движениями в соответствии со структурной формулой [*Сл*- $\{Ti\}$ - $\Phi(B_1B_2)$], а ПЭ является множеством точек $\{Ti\}$. Указанной формуле соответствуют две практические схемы профилирования (*рисунок 2*), реализуемые методом полигонального точения резцовой головкой внешнего касания (*рисунок 2, а*), или охватывающей резцовой головкой (*рисунок 2, б*), например, на специализированных и современных многооперационных токарных станках.

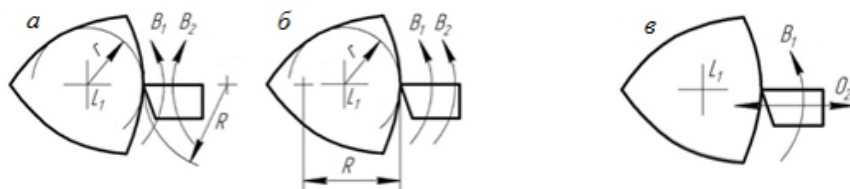


Рис.2. – Рациональные схемы профилирования НП методом следа резцовыми головками (а, б) и резцом (в)

Благодаря универсальности, возможности обработки на одном станке как наружных, так и внутренних поверхностей, непрерывности процесса обработки практическое применение получила также схема профилирования [Сл-Т-Ф(B_1O_2)], основанная на сообщении производящему элементу согласованных вращательного B_1 и осциллирующего O_2 движений (рисунок 2, в), реализуемая на специализированных станках профильного точения, на токарно-затыловочных и др. станках.

Возможность профилирования НП по различным схемам, обуславливает необходимость их сравнительного анализа по показателям эффективности при выборе реализуемой схемы. Например, из схем профилирования а и б (см. рисунок 2), более высокую производительность при заданной скорости резания и лучшие условия резания обеспечивает схема профилирования НП охватывающей резцовой головкой (схема б) [4].

Профилирование НП методом касания. Структурная формула схемы профилирования методом касания в общем случае включает определители метода профилирования (Kc), формы вспомогательных линий (Ok , Pr , Kp) и формообразующих движений Φ_v и Φ_s (см. таблицу). Движения профилирования различаются количеством и типом элементарных движений. Например, на специальном шлифовальном станке AFD 330-1500 фирмы FORTUNA (ФРГ) для обработки некруглых валов с равноосным контуром применяется схема [Kc - Ok - $\Phi_v(B_1)$, $\Phi_s(B_2O_3O_4)$], по которой в процессе обработки шлифовальная бабка совершает одновременно согласованные с вращением B_2 заготовки возвратно-поступательные движения O_3 и O_4 соответственно в горизонтальной и вертикальной поверхностях, что существенно усложняет конструкцию и отрицательно влияет на жесткость станка. Из множества возможных заслуживают внимания, как более простые в реализации схемы профилирования (рисунок 3), которые описываются следующими структурными формулами: а – [Kc - Ok - $\Phi_v(B_1)$, $\Phi_s(O_2O_3)$]; б – [Kc - Ok - $\Phi_v(B_1)$, $\Phi_s(B_2O_3)$]; в – [Kc - Kp - $\Phi_{vs}(B_1B_2)$].

Схема а применяется для обработки коротких наружных и внутренних НП на фрезерных станках с ЧПУ концевыми фрезами, а схема б – на шлифовальных станках с копировальной или числовой системой управления для обработки НП. Наиболее 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 эксцентрично установленной круглой или некруглой дисковой фрезой.

В обоих случаях перемещение ПЭ в радиальном направлении, необходимое для формирования профиля НП обеспечивается не кинематически, как в схеме б, а геометрически за счет формы ПЭ, благодаря чему упрощается формообразующая система станка и обеспечивается возможность обрабатывать НП этим методом на универсальных станках, например, токарных многооперационных.

Профилирование НП методом обката. Профиль НП формируется методом обката как огибающая множества вспомогательных производящих линий – режущих лезвий или образующих исходной инструментальной поверхности. На рисунке 4 представлены некоторые реализованные схемы этого класса, выражаемые следующим структурным формулам: а – [Ob - $Pr(Pl)$ - $\Phi(B_1O_2)$]; б – [Ob - $Pr(Ck)$ - $\Phi(B_2O_3)$]; в – [Ob - $Kp(Bm)$ - $\Phi(B_1B_2)$]; г – [Ob - $Kp(Cn)$ - $\Phi(B_1B_2)$]; д – [Ob - $Kp(Cn)$ - $\Phi(B_1B_2)$]; е – [Ob - $Pr(Cn)$ - $\Phi(B_1B_2)$].

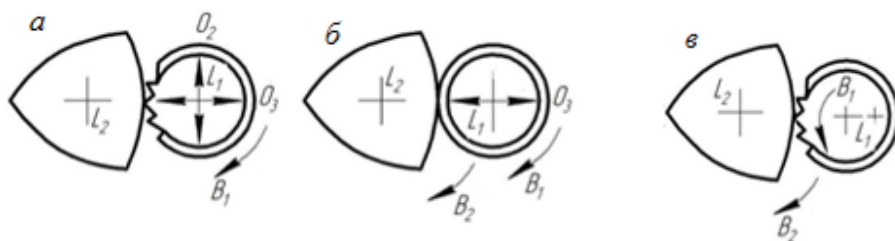


Рис.3. – Схемы профилирования некруглых поверхностей методом касания

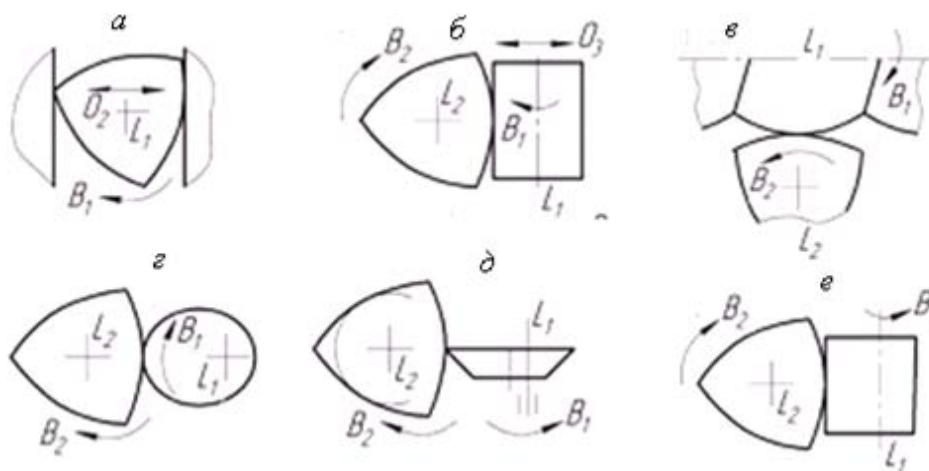


Рис.4. – Схемы профилирования методом обката при разделенных (а, б) и совмещенных в-е движениях профилирования и резания

Схема *a* применяется при фрезеровании и шлифовании некруглых поверхностей инструментами с плоской производящей поверхностью при сообщении ей относительно вращающейся заготовки осциллирующего движения O_2 . Схема *б* реализуется при обработке НП цилиндрическим инструментом, осциллирующее движение O_3 которого функционально связано с вращением B_2 заготовки.

Характерным для схем *в-е* является совмещение движений профилирования и резания, что позволяет реализовывать их на универсальных станках. Обработка по схеме *в* осуществляется червячной фрезой, а по схеме *г* – специальным долбяком. Формирование некруглого профиля по схеме *д* достигается некруглым или эксцентрично установленным круглым резцом [2]. Во втором случае упрощается реализация схемы обработки, при этом профиль поверхности не зависит от радиуса резца, что повышает точность формообразования. Профилирование НП по схеме *е* осуществляется некруглой или более технологичной в изготовлении и заточке эксцентрично установленной круглой цилиндрической фрезой.

Схема *е* образуется из схемы *б* при перенесении функции кинематики формообразования на инструмент, что практически реализуется при эксцентричной установке цилиндрической фрезы относительно оси L_1 ее вращения.

Независимость от диаметра инструмента формы некруглых профилей, образуемых методом обката по схемам *б* и *е* инструментами с прямолинейной формой ПЭ, является основой эффективных способов последовательной или параллельной комплексной обработки заданной НП разными инструментами на одном станке по общей схеме формообразования, что обеспечивает высокую точность профилирования и производительность обработки.

Объединение возможных схем профилирования НП и формирования поверхностей по длине образует множество методов их формообразования, как основу для синтеза кинематических схем обработки [5] и кинематической структуры специализированных станков [6].

Заключение. Из изложенного следует, что геометрия рабочих поверхностей ПМС допускает множество методов их обработки, основанных на процессах частичного и полного формообразования при профилировании методами копирования, следа, касания и обката. Их формализованное описание в виде структурных формул, отражающих существенные признаки методов формообразования, позволяет на единой основе выполнять системный анализ известных и возможных методов, создавать прогрессивные способы обработки НП.

В результате проведенного анализа установлены рациональные схемы частичного и полного профилирования поверхностей, реализуемые методами некруглого, полигонального и ротационного точения, обработкой дисковыми и цилиндрическими фрезами. Универсальным методом повышения точности профилирования некруглых поверхностей при неполном формообразовании является раздельное выполнение движений профилирования и резания. В качестве рациональных для реализации при проектировании специализированных станков предпочтительны методы, основанные на двух-элементарных движениях профилирования, не содержащих реверсивные элементарные движения, что обеспечивает упрощение кинематики станка, улучшение условий работы его исполнительных механизмов, повышение производительности и точности формообразования.

Полученные результаты позволяют обосновано подходить к анализу и совершенствованию существующих и разработке эффективных технологий формообразования деталей ПМС, решать основные задачи функционального проектирования и модернизации станков для их обработки.

Литература

1. Тимченко, А.И. РК-профильные соединения и их применение в различных отраслях промышленности / А.И. Тимченко // СТИН. – 1993. – №2. – С. 13-18.
2. Данилов, В.А. Формообразующая обработка сложных поверхностей резанием / В.А. Данилов. – Мн.: Наука и техника, 1995. – 264 с.
3. Федотенок, А.А. Кинематическая структура металлорежущих станков / А.А. Федотенок. – М.: Машиностроение, 1970. – 403 с.
4. Danilov, A. Analysis of methods for machining of noncircular surfaces. / A. Danilov, V. Danilov // European and national dimension in research: Materials of VII junior researchers' conference (Novopolotsk, April 29-30, 2015); in 3 Parts. Part 3, Technology. – P. 180-181.
5. Данилов, А.А. Синтез рациональных схем обработки некруглых валов профильных моментопередающих соединений / А.А. Данилов // Труды молодых специалистов Полоцкого государственного университета. – 2014, выпуск 75. Промышленность. – С. 77 – 80.
6. Данилов, А.А. Синтез и анализ кинематической структуры станка для обработки некруглых валов / А.А. Данилов // Труды молодых специалистов Полоцкого государственного университета. – 2014, выпуск 75. Промышленность. – С. 84 – 87.

© БГАТУ

ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ МЕТОД ИЗУЧЕНИЯ ТЕМЫ «ЦЕПНЫЕ ПЕРЕДАЧИ»

А.Н. ДЕМИДЕНКО, Н.Н. РОМАНЮК

When using a chain transfer dynamic forces appear to increase with increasing chain pitch, moving masses of cargo and reduce the number of teeth of the drive sprocket. To demonstrate the translational movement of the chain rate of change developed original training device

Ключевые слова: метод обучения, лабораторная работа, учебный прибор, цепная передача

В курсе «Детали машин» ГОСТом регламентирован порядок расчета зубчатых передач, а для расчета цепных передач такого ГОСТа нет. Над созданием методики расчета цепных передач работали И.И. Мархель, А.Т. Скойбеда, А.А. Готовцев, И.П.Котенок, В.И. Анурьев, С.А. Чернавский и другие. При этом в первую очередь анализировались причины выхода из строя цепных передач на основании экспериментальных данных, показывающих, что срок службы передачи чаще всего ограничивается долговечностью цепи, которая в первую очередь зависит от износостойкости шарниров. Из-за пульсирующего характера изменения расстояния от центра вращения звездочки до продольной оси цепи, она имеет неравномерную скорость движения, что ведет к появлению динамических сил, которые увеличиваются с ростом шага цепи, движущихся масс груза и уменьшения числа зубьев приводной звездочки.

Для демонстрации изменения поступательной скорости движения цепи в БГАТУ разработан оригинальный учебный прибор (рисунок 1: а – вид сбоку, б – вид сверху).

Учебный прибор состоит из рамы 1, на которой установлена опора 2 ведомой звездочки 3 с четырьмя зубьями, соединенной цепью 4 с ведущей звездочкой 5, имеющей также четыре зуба, установленной на опоре 6 и приводимой во вращение рукояткой 7. Для фиксации угла поворота ведущей звездочки 5 к ее торцу прикреплена звездочка 8 храпового останова, а его собачка 9 закреплена на опоре 6 ведущей звездочки 5, кроме того посередине зуба на диаметре делительной окружности ведущей звездочки 5 по касательной к делительной окружности на кронштейне 10 закреплена стрелка 11 со шкалой, указывающая направление окружной скорости ведущей звездочки 5. На острие стрелки 11 на оси 12 с возможностью поворота установлен двухсторонний отвес, у которого верхний участок 13, выполнен из тонкой стальной проволоки, а нижний 14 – из тонкой стальной пластины, имеющей значительно больший вес, чем тонкая стальная проволока, что обеспечивает строго вертикальное положение двухстороннего отвеса, а к звену цепи 4, подходящему к зубу ведущей звездочки 5 прикреп-

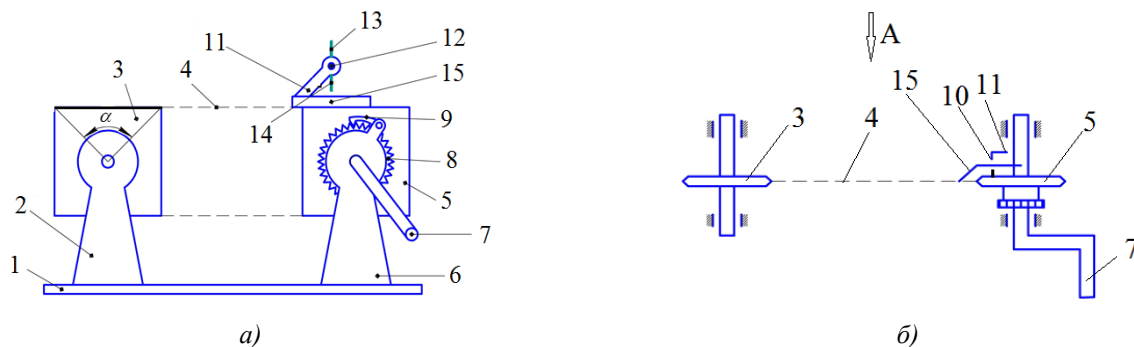


Рисунок 1 – Схема учебного прибора для демонстрации изменения поступательной скорости движения цепи