

УДК 621.91.04

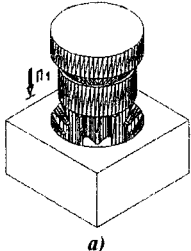
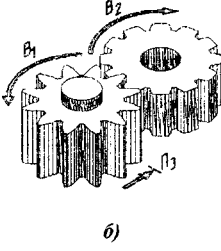
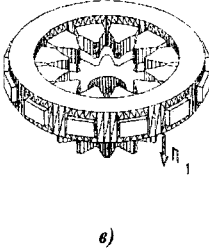
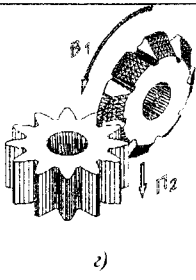
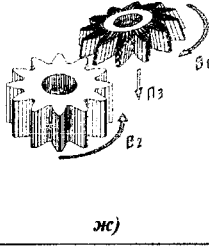
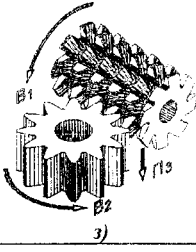
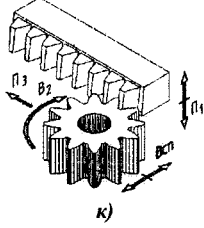
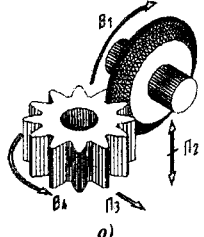
НОВЫЕ СПОСОБЫ ОБРАБОТКИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС И ИХ РЕАЛИЗАЦИЯ
ЧЕРЕЗ БЛОЧНО-МОДУЛЬНУЮ ИНСТРУМЕНТАЛЬНУЮ СИСТЕМУ

д-р техн. наук, доц. Н.Н. ПОПОК, В.А. ТЕРЕНТЬЕВ
(Полоцкий государственный университет)

Представлены новые способы обработки цилиндрических зубчатых колес, в которых используется метод следа при формировании эвольвентного профиля. Рассматривается блочно-модульный инструмент, применяемый при реализации предлагаемых способов зубообработки.

Анализ вопроса. Традиционно сложилось так, что в настоящее время в машиностроении используется лишь два основных метода формирования эвольвентного профиля зубьев при нарезании цилиндрических зубчатых колес - метод копирования и метод обката. Соответственно ограничено и общее количество методов образования поверхности зубьев, определяющихся сочетанием методов получения производящих линий (образующей и направляющей) - таблица [1].*

Использование методов формообразования зубьев в известных способах обработки зубчатых колес

		Методы получения направляющей геометрической линии			
		копирование	обкат	след	касание
Методы получения образующей геометрической линии	копирование	 a)	 б)	 в)	 г)
	обкат	Не осуществимо д)	Не применяется е)	 ж)	 з)
	след	Не осуществимо и)	 к)	Не применяется л)	Не применяется м)
	касание	Не осуществимо н)	 о)	Не применяется п)	Не применяется р)

* Разработка основ эффективных методов формообразования сложных поверхностей резанием: Промежуточный отчет; / УО «ПГУ»; Рук. В.А. Данилов; Отв. исп. В.А. Терентьев. - ГБ № 4021. - Новополоцк, 2004. - 104 с.

В таблице представлены следующие промышленные способы зубообработки:

- а) объемная штамповка (не является процессом резания);
- б) горячее и холодное накатывание зубьев цилиндрических колес и зубокалибрование (не являются процессами резания);
- в) зубопротягивание, обработка зуборезными и зубодолбежными головками для одновременного нарезания всех зубьев;
- г) обработка дисковыми модульными фрезами; обработка профильными шлифовальными кругами;
- ж) зуботочение обкаточными резцами;
- з) зубофрезерование червячными фрезами и зубошлифование червячными абразивными кругами;
- к) зубострогание зуборезными гребенками;
- о) зубошлифование дисковым обкаточным кругом и зубошлифование тарельчатыми кругами.

Таблица является двумерной матрицей и не охватывает, естественно, всех способов обработки зубчатых колес, в которых реализованы такие же методы формообразования. Например, метод формообразования «след + обкат» (ячейка к) используется также в способах зубодолбления зуборезными долбками и одиночными резцами. В то же время в таблице представлены все методы формообразования зубьев, реализованные в настоящее время в зубообработке.

Постановка задачи. Вполне очевидно, что эвольвентная линия зуба, как и любая другая линия, может быть сформирована в процессе резания методом следа. Однако в настоящее время данный метод формирования зубьев не получил развития. Причины этого, на наш взгляд, следующие:

- 1) сложность реализации математической зависимости эвольвентного профиля зуба;
- 2) проверенность на практике и всесторонняя отработанность известных способов зубообработки;
- 3) отсутствие более или менее полной систематизации (классификации) методов формообразования зубьев и способов зубообработки (зубонарезания);
- 4) определенная субъективность и тенденциозность в оценке вновь синтезированных способов зубообработки в сравнении с традиционными способами.

В результате проведенного анализа нами была обоснована возможность использования метода следа при формировании эвольвентной линии зуба. Там же был разработан математический и алгоритмический аппарат программного формирования эвольвенты методом следа.

В данной работе предлагаются синтезированные нами способы обработки зубчатых колес, в которых реализованы методы формообразования зубьев, неиспользуемые в промышленности.

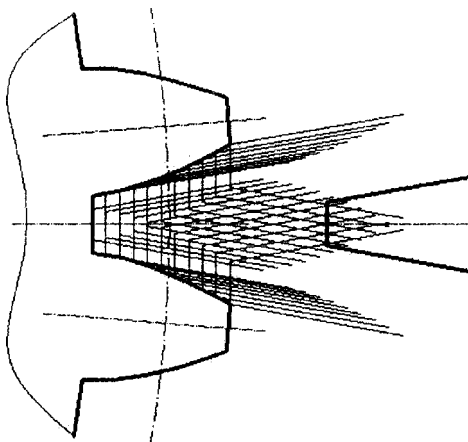


Рис. 1. Формирование впадины инструментом

Перед разработкой способов было проведено компьютерное моделирование геометрии получения эвольвенты методом следа в графической среде AutoCAD 2002. Предварительное моделирование зубонарезания позволяет оценить возможность осуществимости процесса формообразования, рассчитать и проанализировать геометрические параметры процесса (в частности, площади последовательно срезаемых слоев), наглядно представить картину обработки.

Графическое моделирование проведено для инструмента, имеющего прямоугольное и трапециевидальное сечение в плане. В процессе компьютерного моделирования были использованы также радиусные профили кромок. Геометрическая картина формирования эвольвентного профиля с использованием инструмента трапециевидального сечения с углом заострения 20° представлена на рис. 1.

Синтез новых способов зубообработки. Из теории формообразования известно, что эвольвентная линия зуба может служить как направляющей, так и образующей производящей линией. В соответствии с этим могут быть синтезированы способы зубообработки, реализующие следующие формообразующие методы: «след + след»; «касание + след»; «касание + касание». Метод «след + касание» нереализуем. Ниже приводится краткое описание синтезированных способов.

Способ 1. Реализация метода формообразования зуба «след + след». На рис. 2 представлена схема способа обработки впадины зубчатого колеса резцом с использованием метода «след + след». Резец в горизонтальной плоскости имеет прямоугольное сечение. Для осуществления процесса формирования зубьев в предлагаемом способе зубообработки необходимо два движения фор-

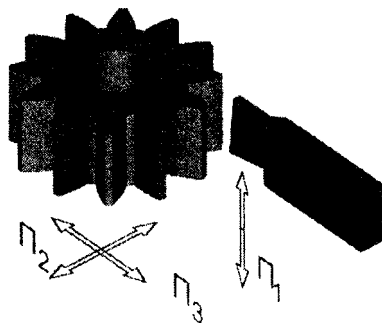


Рис. 2. Реализация метода «след + след»

мообразования: 1) главное возвратно-поступательное движение $\Phi_v(P_1)$ для получения формы зуба по длине; 2) сложное движение подачи $\Phi_s(P_2P_3)$, включающее два поступательных взаимосвязанных движения, для получения эвольвенты.

В классификационной таблице способ должен занять незадействованную ячейку «л».

Как было отмечено, способ может быть реализован при использовании резца, имеющего в горизонтальной плоскости сечение, отличное от прямоугольного (например, трапецеидальное).

Способ 2. Реализация метода формообразования зуба «касание + след». На рис. 3 представлена схема способа обработки впадины зубчатого колеса дисковой фрезой с использованием метода «касание + след».

Фреза в плоскости, перпендикулярной вектору скорости резания, имеет, как и предыдущий инструмент, прямоугольное сечение.

Для осуществления процесса формирования зубьев в данном предлагаемом способе зубообработки необходимо три движения формообразования: 1) главное движение $\Phi_v(B_1)$; 2) поступательное движение $\Phi_{s1}(P_2)$ для получения формы зуба по длине; 3) сложное движение подачи $\Phi_{s2}(P_3P_4)$, включающее два поступательных взаимосвязанных движения, для получения эвольвенты.

В классификационной таблице способ должен занять незадействованную ячейку «п».

Так же как и предыдущий, способ может быть реализован при использовании дисковой фрезы, имеющей в плоскости, перпендикулярной вектору скорости резания, сечение, отличное от прямоугольного, например, трапецеидальное.

Способ 3. Реализация метода формообразования зуба «касание + касание». На рис. 4 представлена схема способа обработки впадины зубчатого колеса пальцевой фрезой с использованием метода «касание + касание».

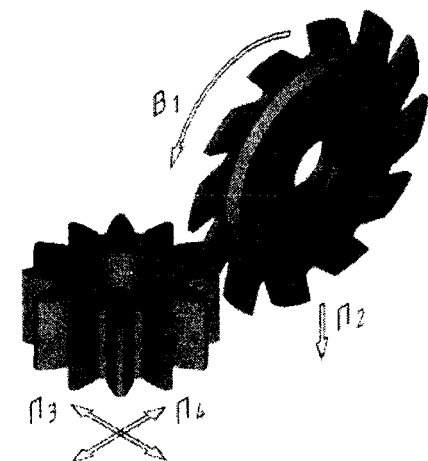


Рис. 3. Реализация метода «касание + след»

с использованием метода «касание + касание».

Для осуществления процесса формирования зубьев в данном предлагаемом способе зубообработки необходимо три движения формообразования: 1) главное движение $\Phi_v(B_1)$; 2) поступательное движение $\Phi_{s1}(P_2)$ для получения формы зуба по длине; 3) сложное движение подачи $\Phi_{s2}(P_3P_4)$, включающее два поступательных взаимосвязанных движения, для получения эвольвенты. Движение $\Phi_v(B_1)$ участвует в создании обеих производящих линий, поэтому количество движений для данного метода меньше теоретического, равного четырем.

В классификационной таблице способ должен занять незадействованную ячейку «р».

Проведенный прогнозирующий сравнительный анализ разработанных и известных способов зубообработки позволил выявить следующее.

1. Предлагаемые способы в принципе могут быть реализованы в обрабатывающих системах.

2. Разработанные способы в сравнении с известными имеют меньшую производительность формообразования из-за применения низкопроизводительного в своей основе метода следа.

3. Для осуществления предлагаемых способов может быть использован более простой с конструктивной, технологической и стоимостью точек зрения инструмент. В частности, для реализации первого способа возможно использование инструмента типа отрезных резцов, а для реализации второго способа – инструмента типа дисковых или пазовых фрез.

4. С точки зрения условий прочности инструментальной системы третий способ может иметь лишь ограниченное применение из-за малого диаметра инструмента.

5. Для реализации разработанных способов могут быть применены универсальные металлорежущие станки с системами ЧПУ типа CNC: горизонтально- и вертикально-фрезерные; многооперационные; долбежные и др. Используемые станки должны быть оснащены универсальными делительными приспособлениями для периодического делительного поворота заготовки на угловой шаг зубьев.

6. Преимущественным является использование разработанных способов в индивидуальном и мелкосерийном производстве при отсутствии специального зубообрабатывающего оборудования.

Реализация новых способов через блочно-модульную инструментальную систему. Выше было отмечено, что при реализации предлагаемых способов может быть использован инструмент, который проще, технологичнее и дешевле в изготовлении по сравнению со специальным зуборезным инструмен-

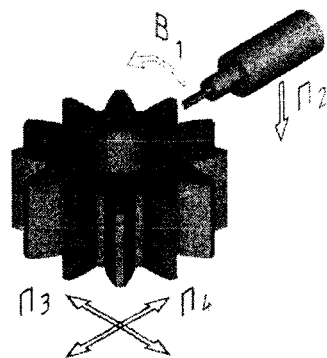


Рис. 4. Реализация метода «касание + касание»

том. В этой связи логичным является анализ возможности применения при обработке по рассмотренным способам блочно-модульной инструментальной системы, разрабатываемой на кафедре «Металлорежущие станки и инструменты» Полоцкого государственного университета [3,5,6].

Как известно, модульный принцип построения конструкций режущих инструментов широко используется зарубежными фирмами: шведской «Sandvik Coromant», немецкими «Hertel», «Knuth», «Kennametal» и другими. Однако следует отметить, что западные фирмы, располагая мощной материально-технической базой и расширяя номенклатуру модулей, редко используют межтиповую унификацию модулей, что повышает стоимость режущего инструмента. В конечном итоге, такой подход обременителен и неприемлем для отечественного машиностроения.

Предложенный нами подход к проектированию блочно-модульных режущих инструментов (БМРИ) основывается [2] на систематизации обрабатываемых конструктивных элементов и поверхностей деталей, их унификации применительно к конкретным условиям производства и соответствующей систематизации и унификации составляющих блоков и модулей режущего инструмента [4]. То есть проектирование осуществляется не по стандартным типам инструментов, а по их назначению и применению для обработки конкретных конфигураций конструктивных элементов и поверхностей.

В состав разработанной блочно-модульной инструментальной системы входят (рис. 5) следующие компоненты:

- подсистема (банк) режущих пластин;
- подсистема (банк) сборных резцовых блоков со сменными режущими пластинами;
- подсистема (банк) корпусных модулей;
- подсистемы (банки) унифицированных базирующих и крепежных элементов.

Главное **отличие** разработанной инструментальной системы от известных систем - возможность использования ее компонентов в инструментах различного типа. Кроме того, инструмент системы относительно прост и дешевле в изготовлении. Блочно-модульный инструмент прошел испытание в условиях машиностроительного производства. В настоящее время инструментальная система расширяется за счет включения новых компонентов.

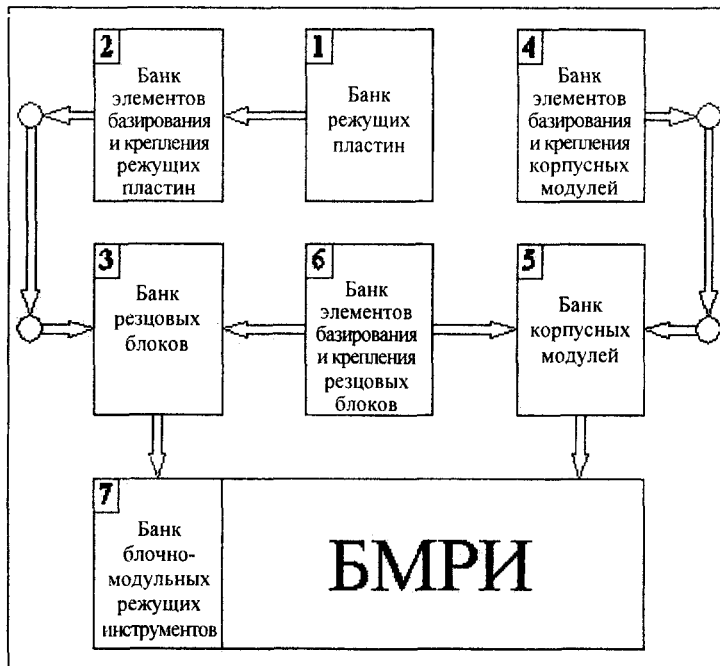


Рис. 5. Принцип формирования системы БМРИ

Разработка зуборезного блочно-модульного режущего инструмента. Одним из направлений расширения системы является использование ее в процессах зубообработки. В частности, оснатив резцовые блоки, входящие в блочно-модульную инструментальную систему, оригинальными режущими пластинами, получаем основу для зубообрабатывающих инструментов, реализующих описанные выше способы зубообработки.

На рис. 6 представлена конструкция подобного резцового блока. Пластина 1 с трапецидальным сечением режущей части устанавливается в пазу цанги 2 и поджимается к вертикальной стенке паза

резьбовым штифтом 3. Цанга 2 устанавливается в корпус 4. Зажим режущей пластины 1 производится при осевом смещении цанги 2 винтом 5 за счет контакта конических поверхностей цанги и корпуса. Фиксация цанги 2 от проворота осуществляется при помощи штифта 6, запрессованного в корпусе 4.

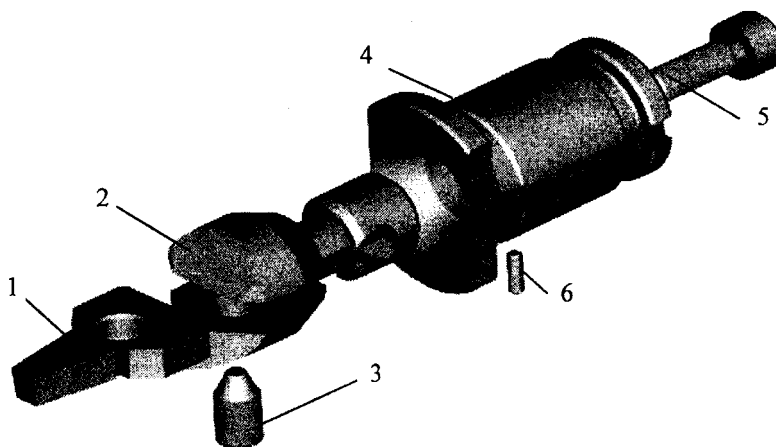


Рис. 6. Сборный резцовый блок

Отметим, что на основе резцового блока, представленного на рис. 6, могут быть спроектированы инструменты для реализации как первого, так и второго способа.

Пример зуборезного инструмента для осуществления второго способа на горизонтально-фрезерном станке представлен на рис. 7. Сборная зуборезная головка имеет корпусной модуль 1, в котором выполнены базисуемые и зажимные элементы. В базисуемых отверстиях корпусного модуля 1 устанавливаются шесть резцовых блоков 2, конструкция которых представлена на рис. 5. Резцовые блоки 2 закрепляются в корпусном модуле при помощи двух сухарей 3 и 4, на которых выполнены радиусные лыски. Сухари стягиваются винтом 5. Фиксация резцового блока 2 от проворота в корпусном модуле 1 осуществляется при помощи установочного винта 6.

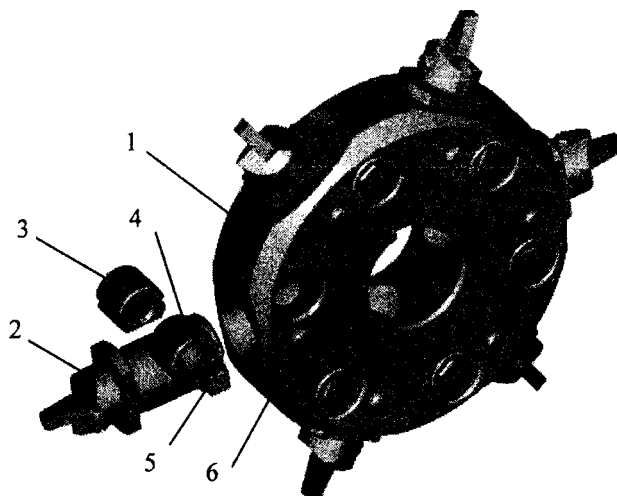


Рис. 7. Сборная зуборезная головка

Выводы

1. Проведен анализ известных, используемых в промышленности способов обработки цилиндрических зубчатых колес. Выявлено, что в промышленной зубообработке отсутствуют способы, реализующие формообразование эвольвентной линии зуба методом следа.

2. Обоснована возможность использования метода следа при формировании эвольвентной линии зуба, разработан математический и алгоритмический аппарат программного формирования эвольвенты методом следа. Проведено графическое моделирование процесса образования эвольвенты зуба.

3. Синтезированы новые способы зубообработки, реализующие следующие формообразующие методы: «след + след»; «касание + след»; «касание + касание».

4. Проведен прогнозирующий сравнительный анализ разработанных и известных способов зубообработки, который выявил принципиальную возможность реализации синтезированных способов в обрабатывающих системах. Выявлено, что основной возможной областью использования разработанных способов является индивидуальное и мелкосерийное производство при отсутствии там специального зубообрабатывающего оборудования.

5. Обоснована возможность реализации новых способов через апробированную блочно-модульную инструментальную систему, разработка которой ведется на кафедре «Металлорежущие станки и инструменты» Полоцкого государственного университета.

6. Предложены конструкции резцовых блоков и блочно-модульных режущих инструментов, которые могут быть использованы при реализации разработанных способов зубообработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федотенок А.А. Кинематическая структура металлорежущих станков. - М.: Машиностроение, 1970.-403 с.
2. Попок Н.Н. Мобильная реорганизация машиностроительного производства. - Мн.: Технопринт, 2001.-396 с.
3. Пат. № 56384. Государственного патентного комитета Республики Беларусь на полезную модель. Многолезвийный блочно-модульный режущий инструмент / Заявитель ПГУ. Авторы: Попок Н.Н., Терентьев В.А. -Зарег. в Гос. реестре изобретений 20.04.02.
4. Попок Н.Н., Терентьев В.А. Рациональное инструментообеспечение предприятий на основе создания блочно-модульных конструкций режущего инструмента // Машиностроение. - Мн.: Технопринт, 2001.-Вып. 17.-С. 233 -238.
5. Попок Н.Н., Терентьев В.А., Сидикевич А.В. Разработка гаммы блочно-модульного режущего инструмента // Теоретические и технологические основы упрочнения и восстановления изделий машиностроения: Сб. науч. тр. - Мн.: Технопринт; Новополоцк: ПГУ, 2001. - С. 607 - 612.
6. Автоматизированное проектирование модульных режущих инструментов / Н.Н. Попок, В.А. Терентьев, А.В. Сидикевич, А.Н. Попок // Машиностроение. - Мн.: Технопринт, 2004. - Вып. 17. - Т. 2 - С. 145 - 150.