

ляющих эксплуатационную стойкость режущего инструмента из сталей типа Р6М5: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.16.01 / Физико-техн. ин-т АН БССР.–Минск, 1980.–20 с. 19. Chaus A.S., Rudnickii F.I. Effect of modification on the structure and properties of cast tungsten-molybdenum high-speed steels // Metal Science and Heat Treatment.–1989.–Vol. 31, Nos. 1–2. P. 121–128. 20. Chaus A.S. The Formation of Structure in as-cast High-speed Steels during Primary Solidification // Technology 97: Proc. of the Intern. Conf.–Bratislava, STU, 1997.–Vol. 1.–P. 312–318. 21. Chaus A.S. On the prospects of the use of low-alloy tungsten-free high-speed steel 11M5F for cast tools // Metal Science and Heat Treatment.–1998.–Vol. 40, Nos 7–8.–P. 319–325. 22. Chaus A.S. Effect of modification and alloying on wear resistance of high-speed steels // Journal of Friction and Wear.–1999.–Vol. 20, No 3, p. 83–89. 23. Chaus A.S., Latyshev I.V. Effect of vanadium, titanium, and niobium on the structure and properties of cast tungsten-molybdenum high-speed steels // The Physics of Metals and Metallography.–1999.–Vol. 88, No 5. P. 462–468. 24. Chaus A. S., Murgas M., Latyshev I.V., Toth R. Thermal treatment of cast carburised high-speed steel alloyed with Ti, Nb and V // Metal Science and Heat Treatment.–2001.–Vol. 43, Nos 5–6. 25. Chaus A.S., Rudnickii F.I., Murgas M. Structural inheritance and special features of fracture of high-speed steels // Metal Science and Heat Treatment.–1997.–Vol. 39, Nos. 1–2. P. 53–56. 26. Chaus A.S. Wear behavior of cast and rolled high-speed steel tools in turning // Journal of Friction and Wear.–1999.–Vol. 20, No 4. P. 30–33. 27. Chaus A.S. Wear behavior of tools from cast and rolled high-speed steels at milling // Journal of Friction and Wear.–2000.–Vol. 21, No 4. P. 94–99. 28. Chaus A.S. Wear behavior of tools from cast and rolled high-speed steels // CO - MAT - TECH 2002: Proc. of the Intern. Conf.:–Bratislava, STU, 2002.–Vol. 1.–P. 30–37.

УДК 621.91.04

Данилов В.А., Терентьев В.А.

АНАЛИЗ И КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ЗУБЬЕВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

*Полоцкий государственный университет
Новополоцк, Беларусь*

Зубчатые передачи находят широкое применение в самых разнообразных машинах и механизмах в различных отраслях промышленности. Постоянный рост промышленного производства влечет за собой постоянное увеличение объема и номенклатуры производимых зубчатых колес.

Операция нарезания зубьев в технологическом процессе обработки зубчатого колеса является наиболее сложной, трудоемкой и дорогостоящей. На нее приходится до 70% от общего времени обработки колеса. Зубообрабатывающие станки и инструменты составляют 7-10% парка станков и используемых инструментов в индустриально развитых странах. Известные сегодня, традиционные способы зубообработки и современное зубообрабатывающее оборудование лишь в относительной мере удовлетворяют запросам промышленности.

На фоне этого анализ патентной и технической литературы в области зубообработки позволяет выявить несколько парадоксальную ситуацию - зубонарезание сегодня является одной из наиболее консервативных областей металлообработки с точки зрения внедрения новых идей. В частности это относится к методам формообразования зубьев. Причины ситуации, на наш взгляд, следующие.

1. Сложность кинематической реализации в процессе резания математической зависимости эвольвентного профиля зуба.
2. Проверенность на практике и всесторонняя отработанность известных способов зубообработки.
3. Субъективность и тенденциозность в оценке вновь синтезированных способов зубообработки в сравнении с традиционными способами.
4. Отсутствие более-менее полной систематизации (классификации) методов формообразования зубьев и способов зубообработки (зубонарезания).

Первые две причины объективны и оправданы. Третья причина – вне сферы технического анализа. Четвертая причина - отсутствие работающей классификации методов и способов зубонарезания – сдерживает не только внедрение, но и поиск новых решений в зубообработке.

В данной работе мы предлагаем классификационную схему методов формообразования зубьев цилиндрических зубчатых колес. Основой ее построения служит известная и широко используемая обобщенная систематизация методов формообразования поверхностей в зависимости от сочетания методов образования образующей и направляющих геометрических линий [1].

В результате анализа известных способов зубообработки *на первом этапе классифицирования* были выявлены и систематизированы используемые в промышленности методы формирования поверхностей зубьев цилиндрических зубчатых колес – таблица 1.

Традиционно сложилось так, что в настоящее время используется лишь два основных метода формирования профиля зубьев при нарезании цилиндрических зубчатых колес – метод копирования и метод обката. Соответственно ограничено и общее количество методов образования поверхности зубьев. Известные способы зубообработки с разной степенью подробности проанализи-

рованы в технической литературе, в частности, в таких обобщающих трудах, как [2, 3].

Метод копирования при профилировании эвольвенты

При использовании метода копирования эвольвентный профиль зуба полностью определяется формой режущей кромки инструмента. Как правило, формопереносимый (характеристический) образ инструмента при этом соответствует форме впадины зуба нарезаемого колеса.

Метод формообразования поверхности зуба будет определяться сочетанием методов получения производящих линий (образующей и направляющей). В данном случае реализованы в зубообработке три комбинации методов: “копирование + копирование”; “копирование + след”; “копирование + касание”.

Метод формообразования “*копирование + копирование*” (табл.1, а) не может быть реализован при обработке резанием. В данном случае обе геометрические производящие линии образуются при использовании объемной штамповки. Движения формообразования при этом отсутствуют, необходимо лишь движение Π_1 для установки материальной поверхности (формы) в конечное положение.

Метод формообразования “*копирование + след*” (табл.1, в) широко используется в промышленности. Известными способами зубообработки, реализующими этот метод, являются: строгание (долбление) профильными резцами; зубопротягивание; обработка зуборезными и зубодолбежными головками для одновременного нарезания всех зубьев. При обработке зуборезными головками и при зубопротягивании необходимо одно движение формообразования $\Phi_v(\Pi_1)$ для получения формы зуба (прямая линия) по длине. При строгании профильными резцами после обработки каждой впадины колесо, установленное в делительном приспособлении, поворачивается на $1/2$ часть оборота для обработки следующей впадины колеса.

Метод формообразования “*копирование + касание*” (табл.1, г) реализован в известных способах зубообработки: обработка пальцевыми модульными фрезами; обработка дисковыми модульными фрезами; обработка профильными шлифовальными кругами. Данный метод зубообработки осуществляется двумя формообразующими движениями: $\Phi_v(B_1)$, $\Phi_s(\Pi_2)$. Как и в предыдущем методе, при осуществлении цикла обработки зубчатого колеса необходимо делительное движение для периодического поворота заготовки на $1/2$ часть оборота.

Метод обката при профилировании эвольвенты

Профиль зуба колеса, нарезаемого методом обката, формируется как огибающая последовательных положений режущих кромок инструмента в его движении относительно заготовки. Инструмент, соответствующий эвольвентному производящему колесу или прямобочной производящей рейке, формирует на заготовке эвольвентные зубья.

При использовании профилирования эвольвенты методом обката в зубообработке реализованы пять комбинаций методов: “копирование + обкат”; “обкат + след”; “обкат + касание”; “след + обкат”; “касание + обкат”.

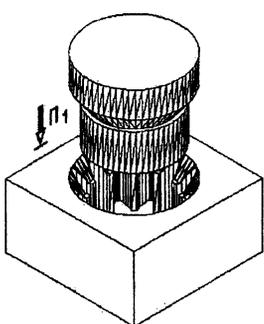
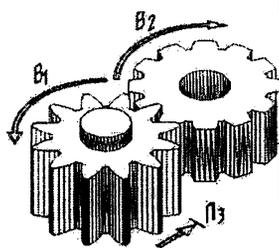
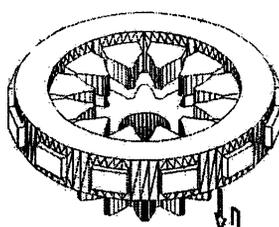
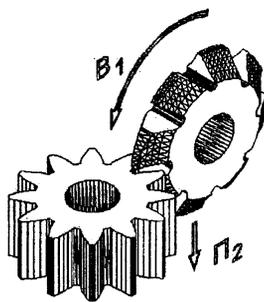
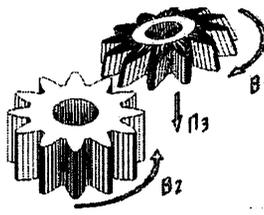
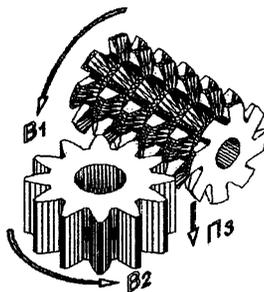
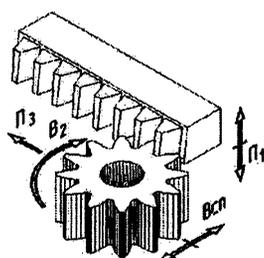
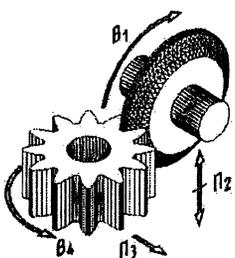
Метод формообразования “*копирование + обкат*” (табл.1, б) не может быть применен при обработке резанием. Этот метод реализован в способах пластического деформирования, в частности, при горячем (холодном) накатывании зубьев цилиндрических колес и зубокалибровании. В данном случае образующая производящая линия (форма зуба по длине) воспроизводится формой зуба накатника. Для осуществления процесса формирования зубьев необходимо одно сложное движение формообразования $\Phi(V_1V_2)$ и движение Π_3 для перемещения инструмента-накатника в конечное положение (на глубину впадины).

Метод формообразования “*обкат + след*” (табл.1, ж) реализован в промышленности в известном способе зубообработки – зуботочении. В качестве инструмента в способе используется обкаточный резец (сборный или цельный). Для осуществления процесса формирования зубьев в этом способе необходимы два движения формообразования: сложное обкатное $\Phi_v(V_1V_2)$ для получения эвольвенты и простое движение $\Phi_s(\Pi_3)$ для получения формы зуба по длине. Метод формообразования “*обкат + касание*” (табл.1, з) широко используется в промышленности. Известными способами зубообработки, реализующими этот метод, служат: зубофрезерование червячными фрезами и зубошлифование червячными абразивными кругами. Для осуществления процесса формирования зубьев в этом способе необходимы три движения формообразования: сложное обкатное $\Phi_v(V_1V_2)$ для получения эвольвенты и два простых движения – вращательное и поступательное $\Phi_{s1}(\Pi_3)$ для получения формы зуба по длине. Так как для получения исходного контура рейки инструмент необходимо вращать (движение V_1), то это вращение инструмента используется одновременно и для формы зуба по длине. Два движения в этом случае являются совмещенными.

Метод формообразования “*след + обкат*” (табл.1, к) один из наиболее используемых в промышленности. Известными способами зубообработки, реализующими этот метод, служат: зубодолбление зуборезными долбьяками; зубострогание зуборезными гребенками. Для осуществления процесса формирования зубьев в этих способах необходимы два движения формообразования: простое возвратно-поступательное движение $\Phi_v(\Pi_1)$ для получения формы зуба по длине и сложное обкатное $\Phi_s(V_2\Pi_3)$ (зубострогание) для получения эвольвенты. Качательное движение $V_{сп}$ осуществляется для отвода инструмента от заготовки при его обратном (холостом) ходе.

Таблица 1

Применяемые методы формообразования поверхностей зубьев

		* Методы образования направляющей геометрической линии						
		Копирование	Обкат	След	Касание			
Методы образования образующей геометрической линии	Копирование	 <p>a)</p>	 <p>б)</p>	 <p>в)</p>	 <p>г)</p>			
	Обкат	Не осуществимо	Не применяется	 <p>ж)</p>	 <p>з)</p>			
	След	Не осуществимо	 <p>к)</p>	Не применяется	Не применяется			
	Касание	Не осуществимо	 <p>о)</p>	Не применяется	Не применяется			
		д)	е)	и)	л)	м)	н)	п)

Метод формообразования “касание + обкат” (табл.1, о) реализован в промышленности в известных способах зубообработки: зубошлифовании дисковым обкаточным кругом и зубошлифовании тарельчатыми кругами. Для осуществления процесса формирования зубьев в этих способах необходимы три движения формообразования: два простых движения – вращательное $\Phi_v(B_1)$ и возвратно-поступательное $\Phi_{s1}(П_2)$ для получения формы зуба по длине; сложное обкатное $\Phi_{s2}(П_3B_4)$ для получения эвольвенты.

На втором этапе классифицирования были выявлены и систематизированы разработанные (опубликованные), но неиспользуемые в промышленности методы формирования поверхностей зубьев. Определены аналоги применяемых способов с позиции формообразования.

Как показывает анализ таблицы 1, не все теоретические методы формообразования поверхностей зубьев реализованы в промышленных способах обработки зубчатых колес. Поэтому *на третьем этапе классифицирования* была подтверждена теоретическая возможность осуществления методов формообразования зубьев: “след + след”; “касание + след”; “касание + касание”. Для этого с использованием известных математических зависимостей была разработана математическая модель программного (управляемого) получения эвольвентного профиля. Математическая модель реализована в алгоритме расчета координат любой точки эвольвенты впадины. На основании математической модели и алгоритма расчета координат разработаны способы зубообработки, реализующие названные методы формообразования. Проведено компьютерное моделирование эвольвенты впадины зубчатого колеса для разработанных способов.

Результаты двух последних этапов классифицирования позволяют дополнить и усовершенствовать классификационную схему методов формообразования зубьев (табл.1), составленную на основе анализа известных способов зубообработки. Усовершенствованная классификация представлена в таблице 2. В классификационную схему внесены перечисленные ниже изменения.

1. В незаполненную ячейку “л” внесен разработанный способ обработки зубчатых колес резцом, реализующий метод формообразования “след + след”.

2. В пустовавшую ранее ячейку “п” внесен разработанный способ обработки зубчатых колес дисковой фрезой, реализующий метод формообразования “касание + след”.

3. В незаполненную ранее ячейку “р” внесен разработанный способ обработки зубчатых колес концевой фрезой, реализующий метод формообразования “касание + касание”.

4. В ячейке “ж” произведена демонстрационная замена известного способа зуботочения обкаточным резцом разработанным ранее нами способом зуботочения цепным инструментом реечного типа [4, 5].

5. В ячейке “e” размещена схема возможного способа пластической обработки зубчатого колеса методом двойного обката (“обкат + обкат”).

6. Переименованы ячейки для преобразования схемы в двумерный массив (матрицу). Теперь обозначение ячейки состоит из двух цифр: первая цифра обозначает метод получения образующей линии, вторая - метод получения направляющей линии. Цифры соответствуют следующим методам образования производящих линий: 1 – копирование; 2 – след; 3 – обкат; 4 – касание.

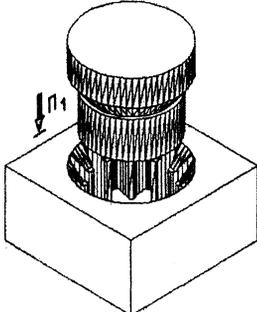
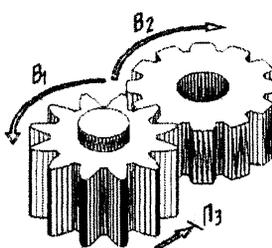
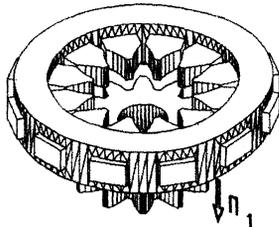
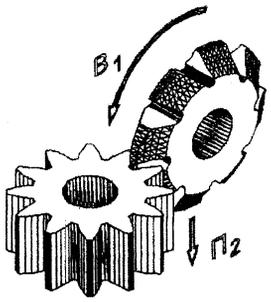
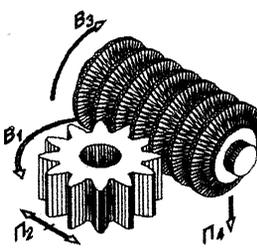
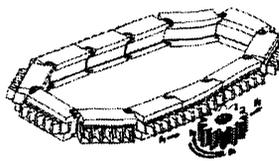
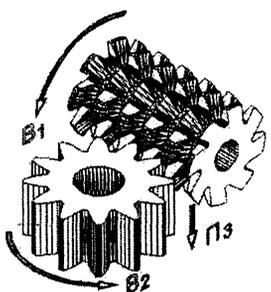
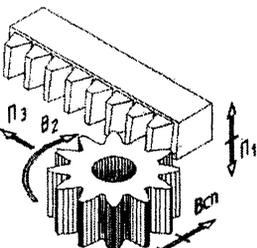
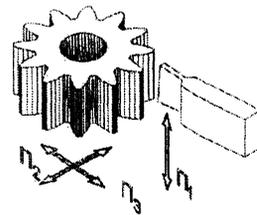
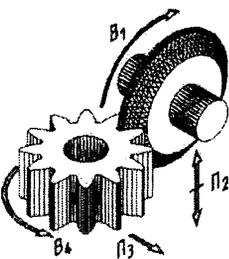
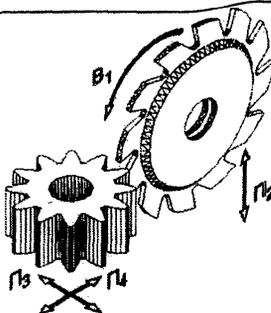
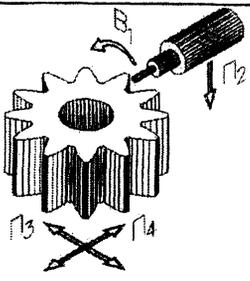
Разработанная классификационная схема может служить как инструментом анализа, так и инструментом синтеза способов зубообработки. Однако представленная классификация позволяет систематизировать только методы формообразования зубьев. Для обобщенной систематизации способов обработки зубчатых колес необходима доработка (развитие) классификационной схемы. В качестве предпосылок разработки такой классификации можно отметить следующее.

1. Классификационная схема должна представлять собой многомерный массив с учетом составляющих общих схем обработки.

2. Новая классификационная схема должна учитывать разработанные ранее способы систематизации способов формообразующей обработки, например, такие как [6, 7 и др.].

Таблица 2

* Методы формообразования поверхностей зубьев зубчатых колес

		Методы образования направляющей геометрической линии			
		Копирование	Обкат	След	Касание
Методы образования образующей геометрической линии	Копирование	 <p>11</p>	 <p>12</p>	 <p>13</p>	 <p>14</p>
	Обкат	<p>Не осуществимо</p> <p>21</p>	 <p>22</p>	 <p>23</p>	 <p>24</p>
	След	<p>Не осуществимо</p> <p>31</p>	 <p>32</p>	 <p>33</p>	<p>Не реализуемо</p> <p>34</p>
	Касание	<p>Не осуществимо</p> <p>41</p>	 <p>42</p>	 <p>43</p>	 <p>44</p>

ЛИТЕРАТУРА

1. Федотенок А.А. Кинематическая структура металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1970. – 403 с.
2. Производство зубчатых колес: Справочник / С.Н. Калашников, А.С. Калашников, Г.И. Коган и др.; Под общ. Ред. Б.А. Тайца. – М.: Машиностроение, 1990. – 464 с.
3. Технология производства и методы обеспечения качества зубчатых колес и передач: Учебное пособие / В.Е. Антонюк, М.М. Кане, В.Е. Старжинский и др. – Мн.: УП “Технопринт”, 2003. – 766 с.
4. А.с. 1653917 СССР, МКИ В23F 5/28. Способ нарезания цилиндрических зубчатых колес / В.А. Терентьев, А.И. Трофимов. – Оpubл. Б.И., 1991, №21.
5. А.с.1504019. Зубообрабатывающий станок роторного типа / Терентьев В.А., Терентьева И.В., Трофимов А.И. - Оpubл. БИ, 1989. №32.
6. Данилов В. А. Научные основы технологии формообразования сложных поверхностей резанием: Дисс. д-ра техн. наук: 05.03.01, 05.02.08 / Полоцкий гос. ун-т. - Новополоцк, 2002. – 318 с.
7. Голембиевский А. И. Основы системологии способов формообразующей обработки в машиностроении/ Под ред. В. А. Петрова. – Мн.: Наука и техника, 1986. – 168 с.

УДК 621.91.04

Данилов В.А., Яловский О.В.

СИНТЕЗ И АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ МЕТОДОВ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ТОРЦОВЫХ ЗУБЧАТЫХ КОНТУРОВ

*Полоцкий государственный университет
Новополоцк, Беларусь*

Применяемые в промышленности технологии механической обработки торцовых зубчатых контуров (ТЗК) деталей типа кулачковых и храповых муфт, специальных плоских зубчатых колес и т.п. по производительности и точности уступают технологиям обработки других зубчатых деталей, например, цилиндрических колес. В этой связи синтез прогрессивных методов формообразования ТЗК имеет важное значение для создания эффективных способов обработки, режущих инструментов и станочного оборудования.

Даная задача рассматривается ниже исходя из известного представления метода формообразования любой поверхности как возможного сочетания методов образования ее производящих линий – образующей и направляющей [1]. На основе анализа возможных сочетаний методов формообразования произво-