

УДК 656.212:656.225

Канд. техн. наук Н.В. Кондусова

ВОПРОСЫ ВЫБОРА КОНСТРУКТИВНЫХ СХЕМ СТАНКОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДВУХПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Представил д-р техн. наук, профессор В.Е. Карпуть

Постановка проблематики в общем виде, ее связь с важными научными и практическими заданиями. Современное машиностроительное производство характеризуется как гибкое, автоматизированное, рыночно-ориентированное. Требуемый высокий технический уровень и качество выпускаемых машин в сочетании с высокой производительностью достигается благодаря использованию полной компьютеризации, новейших коммуникаций и информационных технологий, нового поколения техники и материалов и т.д. Таким образом, ведущие отрасли машиностроения в настоящий момент требуют, с одной стороны, создания машин и механизмов с расширенными функциональными

возможностями, а с другой - предъявляет к ним все более жесткие требования по весогабаритным характеристикам.

Развитие зубчатых зацеплений в настоящее время характеризуется двумя направлениями: совершенствование традиционных и создание новых типов и видов передач.

Объемы производства и уровень качества современных зубчатых колес во всем мире возрастают. Тем не менее, существующие традиционные зубчатые передачи не всегда позволяют синтезировать простые и надежные регулируемые приводы, так как по своей геометрической природе являются однопараметрическими и не имеют

возможности осуществлять регулирование по нескольким параметрам.

Поэтому возникла проблема создания регулируемых зубчатых зацеплений, которые могли бы не только осуществлять непрерывную передачу крутящего момента, но и одновременно изменять другие параметры, например, межцентровое расстояние, углы скрещивания, передаточные отношения, и иметь сравнимые с традиционными приводами габариты и массу, оставаясь технологичными и надёжными в эксплуатации.

Анализ последних исследований и публикаций. Наиболее ранние рекомендации по обработке колес с постоянным нормальным шагом содержатся в диссертации их автора В.Р. Ковалюха [1]. В одном из подразделов диссертации он приводит классификацию параллельной, параллельно-последовательной или последовательной обработки зубьев, а также указывает на возможность точечного, линейного или поверхностного касания формообразуемой и инструментальной поверхностей.

В работах Р.В. Ковалюха, Е.Б. Кондусовой и других исследованы различные способы формообразования резанием сферических колес с эквидистантными зубьями [2-4]. Выполнен геометрический анализ линий зубьев сферического колеса, аналитически описана кинематика формообразования, разработаны классификация кинематических схем, математические модели процессов формообразования при одно- и двухпараметрическом огибании. В качестве окончательных для сферических колес рекомендованы способы формообразования с точечным касанием инструментальной и формообразуемой поверхностей.

Вместе с тем поверхности зубьев двухпараметрических передач имеют усложненную структуру и их формообразование в настоящий момент изучено недостаточно полно. Это сдерживает создание и внедрение новых

зубчатых механизмов. Поэтому теоретическое исследование, моделирование и алгоритмизация известных и возможных процессов формообразования колес с эквидистантными зубьями в увязке с их геометрическим конструированием с одновременным решением практических задач, связанных с выбором возможных конструктивных схем станков для изготовления таких колес является актуальной научной задачей, имеющей важное практическое значение.

Цель исследования: усовершенствовать процессы формообразования зубчатых колес с постоянным нормальным шагом для специальных двухпараметрических зацеплений.

Основная часть. В работах, приведенных выше, были выведены уравнения сложного движения инструмента относительно обрабатываемого колеса и колеса относительно инструмента. Совместное рассмотрение этих уравнений и структуры классификации, приведенной также в этих работах, позволило вывести и систематизировать конкретные матричные уравнения движения инструмента и заготовки в неподвижной системе координат $хуз$, связанной со станком. Матрицу этой системы обозначим буквой M (см. таблицу). Приведенная в этих работах классификация кинематических схем формообразования и описание соответствующих им движений может быть использована при кинематическом расчете и проектировании станков для обработки зубчатых колес с постоянным нормальным шагом. В качестве примера рассмотрим кинематические схемы станков для нарезания сферических зубчатых колес.

Компоновка проектируемого станка является реализацией и развитием кинематической схемы формообразования, первым этапом конструирования станка [5]. В компоновке определяются основные узлы и принципы их размещения, кинематика формообразования дополняется установочными движениями.

Рассмотрим примеры возможных компоновок.

Компоновка, показанная на рис. 1, реализует кинематическую схему

формообразования 1 [3]. Она содержит плиту с двумя станинами.

Таблица

Уравнения движений инструмента и обрабатываемого колеса для разных кинематических схем

Методы	Инструменты	Номера схем	Движения		Матричное описание кинематики	
			инструмента (или сопряженного колеса)	сферического колеса	Частные значения параметров и матриц	Уравнения абсолютных движений инструмента M_2 и сферического колеса M_1
1	2	3	4	5	6	7
Копирования	Пальцевые	1	-	ψ_1, ψ_2	$\beta_{\text{дон}} = 0;$ $M_{\beta_{\text{дон}}} = 1$	$M = M_{\psi_1}^T M_{\psi_2}^T M_1 - M_A$
		2	-	ψ_2, ψ_1		$M = M_{\psi_2}^T M_{\psi_1}^T M_1 - M_A$
		3	ψ_1, ψ_2	-		$M = M_{\psi_2} M_{\psi_1} (M_2 + M_A)$
		4	ψ_2, ψ_1	-		$M = M_{\psi_1} M_{\psi_2} (M_2 + M_A)$
		5	ψ_1	ψ_2		$M = M_{\psi_1} (M_2 + M_A)$
		6	ψ_2	ψ_1		$M = M_{\psi_2}^T M_1$
Копирования	Пальцевые	7	$\beta_{\text{дон}}$	ψ_1, ψ_2	-	$M = M_{\beta_{\text{дон}}} (M_{\beta} M_2 + M_A)$
		8	$\beta_{\text{дон}}$	ψ_2, ψ_1		$M = M_{\psi_1}^T M_{\psi_2}^T M_1$
		9	$\beta_{\text{дон}}, \psi_1, \psi_2$	-		$M = M_{\beta_{\text{дон}}} (M_{\beta} M_2 + M_A)$
		10	$\beta_{\text{дон}}, \psi_2, \psi_1$	-		$M = M_{\psi_1}^T M_{\psi_2}^T M_1$
		11	$\beta_{\text{дон}}, \psi_1$	ψ_2		$M = M_{\psi_2} M_{\psi_1} M_{\beta_{\text{дон}}} (M_{\beta} M_2 + M_A)$
		12	$\beta_{\text{дон}}, \psi_2$	ψ_1		$M = M_{\psi_1} M_{\psi_2} M_{\beta_{\text{дон}}} (M_{\beta} M_2 + M_A)$
						$M = M_{\psi_1} M_{\beta_{\text{дон}}} (M_{\beta} M_2 + M_A)$
						$M = M_{\psi_2}^T M_1$
						$M = M_{\psi_2} M_{\beta_{\text{дон}}} (M_{\beta} M_2 + M_A)$
						$M = M_{\psi_1}^T M_1$

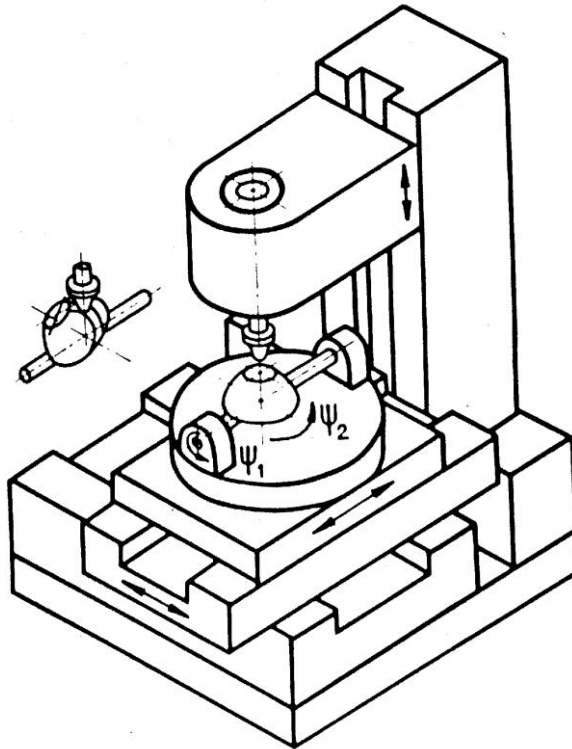


Рис. 1. Компоновка станка для первой кинематической схемы формообразования

На одной из них установлена неподвижная стойка, по направляющим которой движется инструментальная бабка с вертикально расположенным шпинделем и инструментом (например пальцевой фрезой). Вторая станина имеет горизонтальные направляющие, по которым перемещаются салазки, а по ним – стол с планшайбой. На планшайбе расположены кронштейны с горизонтально расположенным шпинделем, на котором устанавливается заготовка обрабатываемого сферического зубчатого колеса. Станок обеспечивает 6 движений – 3 прямолинейных и 3 вращательных. Вращаются инструментальный шпиндель со скоростью резания, планшайба стола (угол поворота ψ_2) и установленный на нем горизонтальный шпиндель с заготовкой (угол поворота ψ_1). Приводы вращений должны обеспечивать необходимую связь между ψ_1 и ψ_2 .

Как уже указывалось, кинематические схемы формообразования, предложенные в классификации [3], разделены на две группы. При переходе к последующей сохраняется состав движений предыдущей группы и добавляются новые. В соответствии с этим принципом каждой кинематической схеме предыдущей группы соответствует определенная схема последующей группы с той же кинематикой, но с добавленными движениями. Так, схеме 1 обработки пальцевой фрезой соответствует схема 7 обработки дисковой фрезой (добавляется дополнительный доворот с параметром $\beta_{дон}$).

Проиллюстрируем это на развитии компоновок. Компоновку станка, реализующего кинематическую схему 7, получим из предыдущей путем замены инструментального узла (рис. 2). На той же вертикальной стойке вместо инструментальной бабки с вертикальным

шпинделем нужно установить салазки с планшайбой, на которой имеется инструментальный шпиндель, причем оси вращений шпинделя и планшайбы взаимно перпендикулярны. Появляется возможность дополнительного вращения инструмента вокруг горизонтальной оси с

параметром $\beta_{доп}$ и, следовательно, можно обрабатывать сферическое зубчатое колесо дисковой и модульной фрезой.

Как видим, при таком подходе возможно использование унифицированных узлов, компонуемых в требуемых сочетаниях.

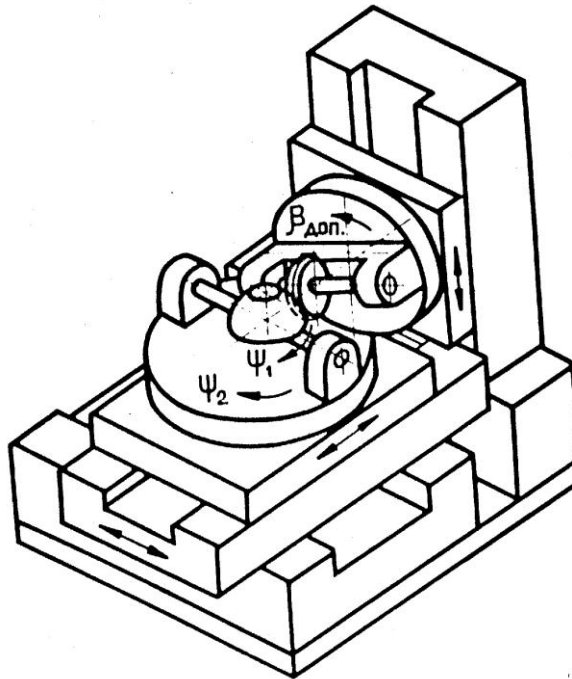


Рис. 2. Станок для седьмой кинематической схемы

Сложность геометрии обрабатываемых сферических колес и кинематики их формообразования может вызвать определенные трудности при переналадке на другой типоразмер. В связи с этим для зубонарезания сферических колес в серийном производстве и гибко-промышленных системах (ГПС) целесообразно использовать многокоординатные станки с числовым программным управлением (ЧПУ). С помощью классификации схем могут быть подобраны приемлемые модели существующих пятикоординатных станков или модернизированы трех- или четырехкоординатные станки.

Например, зубья с крупным модулем можно нарезать на станках, предназначенных для обработки гребных винтов [5]. Отечественные станки КУ-350, КУ-351 и КУ-352 и станки РВД-80 и РВД-90А фирмы Kobe Steel Corporation обладают шестью перемещениями: вдоль трех осей и вокруг трех осей. Пять из них программно управляемые. Фирма Bendix для станков с программным управлением по пяти осям применяет систему программного управления Дунараht [5].

Еще большими кинематическими возможностями обладают станки Пропелматик I и II фирмы «Мицубиси». Они обладают 9 перемещениями.

Для зубонарезания сферических колес средних модулей можно модернизировать существующие трехкоординатные станки с ЧПУ. Наиболее доступный и дешевый путь модернизации – это оснащение их двухосевыми поворотными столами. Например, кинематическая схема формообразования 1 может быть осуществлена на базе трехкоординатных станков сверлильно-фрезерно-расточной группы ЛФ 260МФ3, 21104П7Ф4, ГДВ-400, дополненных двухосевым столом конструкции Укроргстанкинпром (Харьков).

Применение описанных и рекомендуемых в работе [3] методов формообразования сферических зубчатых колес с постоянным нормальным шагом может расширить области их использования. Так, например, кинематическая схема 5 [3] может быть реализована в двух вариантах специальных

станков. В первом варианте формообразующие движения заготовки и инструмента с параметрами ψ_1 и ψ_2 могут иметь жесткую кинематическую связь, осуществляемую от одного привода с помощью, например, двухреечных пар и кулачкового механизма. Необходимое соотношение между скоростями двух вращений может быть обеспечено профилем кулачка.

Во втором варианте станка можно использовать ЧПУ (рис. 3). Формообразующие движения, имеющие отдельные приводы, имеют связь между угловыми скоростями двух вращений, осуществляемую управляющей программой. Отсутствие длинных кинематических цепей обеспечивает повышение жесткости и точности по сравнению с первым вариантом станка.

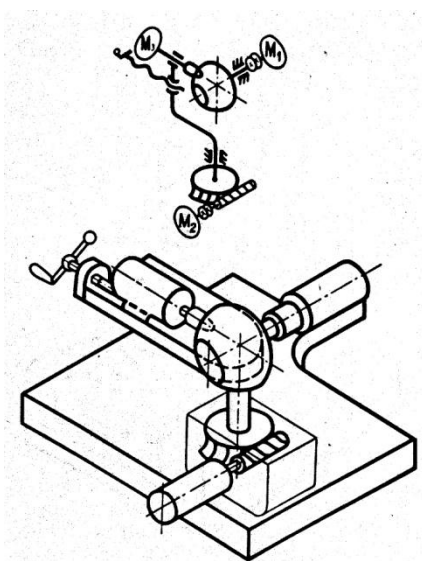


Рис. 3. Станок с ЧПУ и одноосевым поворотным столом для обработки сферических зубчатых колес с постоянным нормальным шагом

Дополнение второго варианта установочными (наладочными) прямолинейными перемещениями обеспечит полную реализацию пятой кинематической схемы формообразования (рис. 4).

Выводы и перспективы дальнейшего развития в данном направлении. Конструирование зубчатых колес с постоянным нормальным шагом и основанных на них новых зацеплений и зубчатых механизмов в своем развитии

опережает технологию их формообразования. Отставание технологии сдерживает дальнейшее развитие механизмов с улучшенными эксплуатационными свойствами.

Разные вопросы формообразования следует исследовать на единой

современной математической базе. В качестве такой базы целесообразно использовать разработанные в последние годы обобщенную структуру отображений для станочных и зубчатых зацеплений [6] и обобщенную 3D модель формообразования и съема припуска при резании [7].

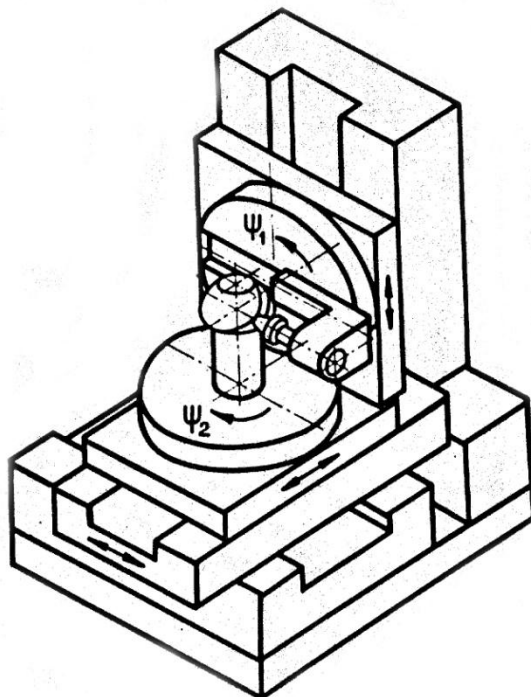


Рис. 4. Компоновка станка с ЧПУ, реализующего пятую кинематическую схему формообразования

Список литературы

1. Ковалюх, В.Р. Синтез зубчатых вариаторов на основе колес с равновысокоширокими зубьями и впадинами [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / В.Р. Ковалюх. – Харьков, 1982. – 156 с.
2. Ковалюх, Р.В. Классификация, обзор конструкций и методов нарезания зубьев двухпараметрических передач [Текст] / Р.В. Ковалюх, Е.Б. Кондусова, Н.Э. Тернюк, А.В. Устиненко // Междунар. науч.-техн. журнал "Borzodi muszaki qazda saqi elet". – Будапешт (ВНР). – 1994. – № 4. – С. 105-118.
3. Ковалюх, Р.В. Кинематические схемы формообразования сферических зубчатых колёс с эквидистантными линиями зубьев [Текст] / Р.В. Ковалюх, М.А. Подригало, Е.Б. Кондусова [и др.] // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: ХГТГУ, 1995-1996. – Вып. 50 – С. 104-109.
4. Кондусова, Е.Б. Предварительная обработка сферических колёс шарниров манипуляторов, используемых в ГПМ [Текст] / Е.Б. Кондусова // Автоматизация производственных процессов в машиностроении: сборник. – Харьков: ХПИ, 1990. – Вып. 1. – С. 52-59.

5. Гавриленко, В.А. Зубчатые передачи в машиностроении [Текст] / В.А. Гавриленко. – М.: Машгиз, 1962. – 252 с.

6. Кривошея, А.В. Структура многопараметрического отображения, обобщающая станочные и рабочие зубчатые зацепления [Текст] / А.В. Кривошея // Тр. междунар. конф. «Высокие технологии в машиностроении: моделирование, оптимизация, диагностика». – Харьков: ХГПУ, 1995. – С. 71.

7. Кондусова, Е.Б. О геометрическом трехмерном (3D) моделировании взаимосвязанных процессов съема припуска и формообразования при обработке резанием [Текст] / Е.Б. Кондусова // Высокие технологии в машиностроении. – Харьков: ХГПУ, 1998. – С. 157-161.

Ключевые слова: сферическое зубчатое колесо с постоянным нормальным шагом, зубчатое зацепление, двухпараметрическое зубчатое колесо, станок, кинематическая схема.

Аннотации

Запропоновано кінематичні схеми верстатів для нарізання сферичних зубчастих коліс з постійним нормальним кроком. Систематизовані матричні рівняння руху інструменту й оброблюваного колеса для різних кінематичних схем верстатів.

Предложены кинематические схемы станков для нарезания сферических зубчатых колес с постоянным нормальным шагом. Систематизированы матричные уравнения движений инструмента и обрабатываемого сферического колеса для разных кинематических схем станков.

The kinematic schemes of machine-tools for cutting of spherical gear-wheels with the permanent normal step have been proposed. Matrix motion equations for tools and machining spherical wheel have been systematized for different kinematic schemes.