Беспалов В.В.

Повышение точности изготовления цилиндрических зубчатых колес

*Нижегородский государственный технический
университет им. Р.Е. Алексеева
(Россия, Нижний Новгород)*

doi: 10.18411/lj-05-2019-28

idsp: ljjournal-05-2019-28

Аннотация

Рассмотрены проблемы повышения точности изготовления цилиндрических зубчатых колес при шевинговании, связанные с точностью изготовления и заточки дискового шевера и установки его на станке. Проведен комплексный анализ существующих исследований точности цилиндрических зубчатых колес в процессе шевингования и нормативно-технических требований на эту операцию. Установлено, что целесообразно изучение точности обработки зубчатых колес начинать с обнаружения изменения приведенной технологической ошибки за рабочий цикл. Причем из всего комплекса ошибок деталей механизмов и процессов их изготовления необходимо выделять только те, которые являются функциями перемещения звена, детали, механизма.

Особое внимание уделено исследованию влияния технологических факторов шевингования на циклическую погрешность зубцовой частоты и ее гармонические составляющие. Выявлены основные причины возникновения ошибок зубчатого колеса в процессе шевингования, а именно: точность дискового шевера при его изготовлении и заточке (погрешности профиля, направления зуба, шага зацепления, циклическая погрешность) и установка его на шпиндель станка (радиальное и осевое биение шевера и его перекося). Определена связь этих причин с неточностями средств производства, неточностями зубчатого колеса и характером его работы в машине.

Ключевые слова: зубчатые передачи, шевингование, шевер, точность, функциональная погрешность.

Abstract

The research deals with such issues of increasing spur gears manufacturing accuracy at shaving operation as accuracy of shaver manufacturing and sharpening and its positioning on the machine. Complex analysis of existing studies of spur gears accuracy and technical requirements for this operation has been carried out. It is advisable to begin the study of the machining accuracy of the gears with the detection of a change in a given technological error per operating cycle. Moreover, it is necessary to allocate only those errors from the entire complex of errors of the mechanisms parts and processes of its manufacturing that are functions of movement of the link, part or mechanism. Special attention is paid to the research of the influence of technological factors of shaving on cyclic error of gear-meshing frequency and its harmonic components. The research identifies the main causes of errors at gear shaving and its connection with inaccuracies of means of production, gear and nature of its work in the mechanism.

Keywords: gears, shaving, shaver, accuracy, functional error.

В автомобилестроении предъявляются повышенные требования к уровню шума в салоне автомобиля. Как известно, главные возбудители вибрации и шума в автомобиле – это зубчатые передачи редуктора коробки скоростей, заднего моста, раздаточной коробки и механизма распределения. Возникновение шума связано с неточностями изготовления зубчатых колес по нормам плавности работы, комплексным показателем которых является циклическая погрешность зубцовой частоты и ее гармонические составляющие.

Значительное влияние на точность зубчатых колес оказывает операция шевингования. За длительный период развития шевингования проведено большое количество научных исследований в области изучения точности. Комплексные исследования точности зубчатых колес в процессе шевингования представлены в виде результатов этих работ в таблице 1 [1].

Таблица 1.

*Исправляемость параметров зацепления колес при двухстороннем
(безазорном) шевинговании по данным различных авторов*

Автор	Показатели точности по ГОСТ 1643–81							
	ffr	Fir	fpbr	Fpr	Fβr	Frr	FvWr	Fir
Адам Я. И.	+	+	+	0	" "	×	" "	+
Кане М. М.	+	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "
Клепиков В. Д.	+	" "	" "	" "	+	+	" "	+
Соколов В. Н.	+	" "	+	" "	" "	" "	" "	" "
Сайкс	+	+	" "	0	×	0	" "	" "
Уферт и Юнклевиц	+	+	+	" "	" "	" "	" "	" "
Коллинз	+	" "	" "	+	" "	" "	" "	" "
Чапаев П. П.	+	" "	+	+	+	+	" "	" "
Коган Г. И.	+	" "	+	" "	0	0	0	+
Тамарин А. А.	+	+	" "	+	" "	0	" "	" "
Лихциер М. Б.	+	" "	" "	" "	" "	0	" "	" "
Семенченко И. И.	+	" "	" "	" "	+	+	" "	" "
Кокичев Е. Н.	+	+	+	0	" "	0	" "	" "
Мильтштейн М. З.	+	" "	" "	" "	+	" "	" "	" "
Полоцкий М. С.	+	+	+	0	" "	" "	" "	" "
Кузоватов В. С.	+	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "
Романов В. Ф.	+	" "	+	+	+	+	" "	" "
Условные обозначения: + – исправляет; 0 – не исправляет; × – исправляет частично; * – при незначительных отклонениях; " " – автором не исследовалось.								

Анализируя приведенную таблицу, можно заключить, что все авторы отмечают хорошую исправляемость профиля, шага зацепления и циклической погрешности. Величина же накопленной погрешности шага после шевингования практически не изменяется. Об исправляемости направления зуба, от которого зависит контакт зубьев по длине, имеются различные мнения. Таким образом, проблема поиска резервов производства и путей их реализации, направленных на повышение точности изготовления цилиндрических зубчатых колес, выдвигается в ряд наиболее актуальных.

Проведенный анализ нормативно-технических документов на операцию «шевингование» показал, что сведения о точности зубошевинговальных станков и шеверов представлены в неудобном для технолога виде. Эти сведения и нормы определяют обычно точность изготовления деталей станка, качество его сборки и регулировки, поэлементный контроль отдельных параметров. Они не несут необходимой технологу информации для определения точностных возможностей станка и шевера как средства для обработки зубчатых колес. Кроме того, эти материалы охватывают лишь часть технологических факторов из общей системы «станок – приспособление – инструмент – заготовка», не затрагивая точности таких важных звеньев, как приспособление под заготовку, собственно заготовку, установку шевера на станок и другие, которые оказывают существенное влияние на точность обработки зубчатых колес. В результате этого снижается точность и повышается себестоимость изготовления деталей.

При механической обработке всякой детали процесс так называемого профилирующего прохода, при котором осуществляется формообразование рабочих контуров обрабатываемых деталей и их рабочих поверхностей, также осуществляется за некоторый цикл. Изучение точности обработки детали приводит к обнаружению изменения приведенной технологической ошибки за указанный цикл. Эту ошибку можно выразить как функцию перемещения, совершаемого в обработке изготавливаемым зубчатым колесом относительно обрабатывающего его инструмента. Но проследить ошибку – значит определить закон ее изменения, т. е. функциональность, и притом функциональность по вышеуказанному перемещению за рабочий цикл. Каждой технологической операции зубообработки свойственен собственный набор ошибок с учетом наследственности предыдущей. Таким образом, из всего комплекса ошибок деталей механизмов и технологических процессов их изготовления выделяют лишь те, которые являются функциями перемещения звена, детали, механизма.

Знакопеременные циклические погрешности колес и передач, изменяющиеся по синусоидальному закону, можно принять за показатели плавности работы зацеплений, что будет способствовать более полному раскрытию кинематических и динамических

свойств зубчатых механизмов [2]. В отдельных случаях, например, при оценке и нормировании акустической или вибрационной активности зубчатого механизма, в качестве функциональных показателей точности могут быть приняты, соответственно, общий уровень шума и удвоенные величины амплитуд составляющих спектра вибраций зубчатого механизма.

Функциональным показателем качества взаимного контакта зубьев сопряженных зубчатых колес в передаче можно принять разность между действительным и нормальным законами распределения плотности этого контакта по длине контактных линий при различных фазах зацепления.

Рабочий процесс, осуществляемый зубчатым механизмом, как и его функциональная погрешность, является непрерывным и периодическим. Его всегда можно описать математически с помощью рядов Фурье. Представление о погрешности как о процессе по существу закладывает основу разработки принципов функциональной взаимозаменяемости.

Спектральное представление функциональных, в частности кинематических погрешностей зубчатых передач, способствует проведению сквозного анализа причинно-следственных связей функциональной кинематической погрешности передачи, например, на основе принципа инверсии [3].

Действительно, сложный комплекс периодических отклонений от идеальных кинематических процессов, сопутствующих реализации последних на зубообрабатывающих станках, отображается на изделиях, т. е. на зубчатых колесах, в виде погрешностей их обработки, которые суммируются в порядке, определяемом методом формирования зубьев. При эксплуатации и контроле функциональная кинематическая погрешность передачи сама порождает некоторый кинематический процесс, воздействуя на измерительный прибор, или становится возбудителем колебаний, нарушающих правильное течение рабочего процесса в машине, приводимой в движение зубчатым приводом.

Функциональные показатели позволяют непосредственно, однозначно и полно определить точность выполнения какой-либо одной из главных рабочих функций, избавляют конструктора от необходимости изучения связей между причинами допусков на изготовления передачи и качеством ее работы.

Кроме того, функциональные показатели точности зубчатых колес всех видов и размеров качественно тождественны между собой. Это дает возможность существенно сократить номенклатуру контрольно-измерительных средств, предназначенных для прямого браковочного контроля любых зубчатых передач, поскольку при использовании функциональных в частности кинематических показателей точности измерительные средства не зависят от геометрических характеристик контролируемых объектов.

Применение функциональных показателей позволяет унифицировать точностные требования к зубчатым механизмам и разработать единый стандарт допусков на все виды передач зацеплением. Необходимым и главным условием такой унификации должен стать отказ от использования в качестве основных традиционных геометрических показателей точности, по которым решается вопрос о годности изделий.

Задачей повышения точности изготовления цилиндрических зубчатых колес является разработка научно-обоснованных технических условий и технических требований на операцию «шевингование». С этой целью проведены исследования влияния технологических факторов шевингования на циклическую погрешность зубцовой частоты и ее гармонические составляющие, т. е. выявлены причины возникновения ошибок зубчатого колеса в процессе шевингования и установлена связь погрешностей шевингования с неточностями средств производства, неточностями зубчатого колеса и характером его работы в машине [4, 5].

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

- Наиболее полное представление о точности зубчатого колеса по параметрам плавности работы дает его проверка в однопрофильном зацеплении с разложением результатов контроля на гармонические составляющие.
- Наибольшее влияние на циклическую погрешность зубцовой частоты и ее гармонические составляющие оказывает точность дискового шевера при его изготовлении и заточке, а также установка его на шпиндель станка.

- Гармонический спектр циклической погрешности зубцовой частоты определяется видом, формой и размерами приведенной погрешности зацепления дискового шевера с обрабатываемым зубчатым колесом.
- Суммарная приведенная погрешность зацепления дискового шевера определяется монотонными кусочно-линейными составляющими, синусоидальными по углу φ и 2φ .
- Монотонные кусочно-линейные составляющие суммарной приведенной погрешности определяются погрешностями профиля зуба, направления зуба, шага и шага зацепления. Эти погрешности дают спектр гармонических составляющих циклической погрешности зубцовой частоты, которые монотонно убывают с возрастанием частоты.
- Синусоидальные составляющие по углу φ приведенной суммарной погрешности зацепления определяются радиальным и осевым биением шевера, а также радиальной составляющей от перекоса шевера. Эти погрешности приводят к спектру амплитуд гармонических составляющих с высокой первой гармонической составляющей, амплитуды последующих гармоник имеют малые величины.
- Синусоидальные составляющие по углу 2φ суммарной приведенной погрешности зацепления определяются осевой составляющей перекоса шевера. Эти составляющие приводят к спектру амплитуд гармонических составляющих с высокой первой и третьей гармоническими составляющими.
- Использование гармонического анализа ошибок шевингования позволяет находить технологические погрешности и намечать пути их устранения.

1. Беспалов В. В. Повышение точности цилиндрических зубчатых колес при шевинговании : дис. канд. техн. наук : 05.02.08 : защищена 20.03.1996. Н. Новгород, 1996. 122 с.
 2. Симонов А. А., Кринзберг Ц. З. Контроль цилиндрических зубчатых колес по циклической погрешности зубцовой частоты // Надежность и контроль качества. 1979. № 8. С. 44–51.
 3. Тайц Б. А. Тенденция развития нормирования точности зубчатых передач // Вестник машиностроения. 1981. № 2. С. 36–39.
 4. Беспалов В. В., Хазова Вик. И. Влияние погрешностей зацепления, изменяющихся по синусоидальному закону по углу φ , на спектр гармонических составляющих циклической погрешности зубцовой частоты цилиндрических зубчатых передач // Вестник ИжГТУ. 2013. № 3. С. 41–43.
 5. Беспалов В. В., Хазова Вер. И. Влияние погрешностей зацепления, изменяющихся по синусоидальному закону по углу 2φ , на спектр гармонических составляющих циклической погрешности зубцовой частоты цилиндрических зубчатых передач // Вестник ИжГТУ. 2014. № 4. С. 30–33.
-