

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И ИСПЫТАНИЙ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

В.В. Ахлюстина

В статье рассмотрены вопросы контроля заданной точности зубчатых колес специализированными метрологическими средствами и зубоизмерительными машинами.

Ключевые слова: степень точности, прибор, измерение, зубоизмерительная машина.

Для зубчатых колес предусмотрено 12 степеней точности, более точные колеса имеют меньшие степени точности. Каждая степень точности регламентирует три нормы – кинематической точности, плавности работы и контакта зубьев в передаче, а также шесть видов сопряжений и восемь видов допусков на боковой зазор. Возможно комбинирование степеней точности, например, 8–7–6–Ba (8 – степень кинематической точности, 7 – плавности работы, 6 – по нормам контакта, с видом сопряжения В и видом допуска на боковой зазор) [1].

Нормы точности могут назначаться в зависимости от области применения зубчатого колеса. При этом меняется характер допустимых погрешностей и величина погрешности, например, для делительных и планетарных передач важна кинематическая точность, для высокоскоростных передач главным является плавность работы передачи, для тяжело нагруженных тихоходных передач необходимо обеспечить полноту контакта зубьев, а для реверсивных отсчетных передач важна величина бокового зазора.

Для измерения параметров зубчатых колес требуются специализированные метрологические средства [1, 2, 3]:

- 1) прибор для комплексного однопрофильного контроля;

- 2) прибор для абсолютного измерения накопленной погрешности шага;
- 3) приборы для относительного измерения накопленной погрешности шага;
- 4) зубомерный микрометр для контроля длины общей нормали;
- 5) нормалемер для определения отклонений от номинального значения длины общей нормали;
- 6) биениемер;
- 7) прибор для двухпрофильного (межцентромер) или однопрофильного контроля;
- 8) волномер (для контроля циклической погрешности);
- 9) эвольвентомер;
- 10) шагомер накладной;
- 11) контактомер (для контроля контактной линии зуба);
- 12) тангенциальный зубомер.

Измерение ручными средствами характеризуется простотой обращения со средствами измерения и дешевизной самих средств измерения. Эти приборы могут быть применены непосредственно около станка. В то же время, измерение ручными средствами не дает заключения о качестве зубчатого венца, так как обладает ограниченной информативностью результата: проверка осуществляется по одному параметру. Кроме того, существуют определенные сложности при измерении косозубых колес.

Проверка на приборах одно- и двухпрофильного контроля в отличие от измерений ручными средствами, дает прямую информацию о качестве колеса. Данный метод проверки обеспечивает короткое время измерения детали. Но эти методы также обладают существенными недостатками. Несмотря на то, что результаты проверки позволяют сделать заключение о качестве детали, они не дают ни качественной, ни количественной информации, которую можно было бы напрямую использовать для внесения коррекции в технологический процесс изготовления детали. Кроме того, проверка осуществляется с применением измерительных колес, которые достаточно дороги в приобретении (изготовлении) и эксплуатации (восстановление). Хотя время непосредственно проверки достаточно мало (достаточно одного оборота детали, сопряженной с измерительным колесом), время наладки прибора велико.

Совершенствование систем управления и повышение точности, а также необходимость повторяемости измерений привело к широкому внедрению зубоизмерительных машин – универсальных приборов для контроля зубчатых венцов.

Зубоизмерительная машина является средством аналитического контроля отклонений зубчатого венца [4]. Применение этого средства контроля обеспечивает оптимальное качество контроля и представления результатов проверки параметров зубчатого венца. Получаемые результаты дают полную информацию о причинах возникновения погрешностей и позволя-

ют использовать эту информацию для соответствующей корректировки технологии изготовления детали. К недостаткам данного метода проверки следует отнести длительный цикл измерения и сложность в применении зубоизмерительной машины непосредственно около станка — являясь метрологическим средством очень высокой точности, машина требует установки в специально подготовленное помещение.

Принцип работы зубоизмерительной машины и традиционных приборов для контроля эвольвенты, направления зуба и шага зубьев во многом схож. В процессе измерения щуп измерительной машины сканирует боковую поверхность зуба по профилю по линии зуба и последовательно касается всех боковых сторон зубьев (рис.). В результате этих основных проверок определяется погрешность профиля, погрешность линии зуба, отклонения шагов и погрешность радиального биения.

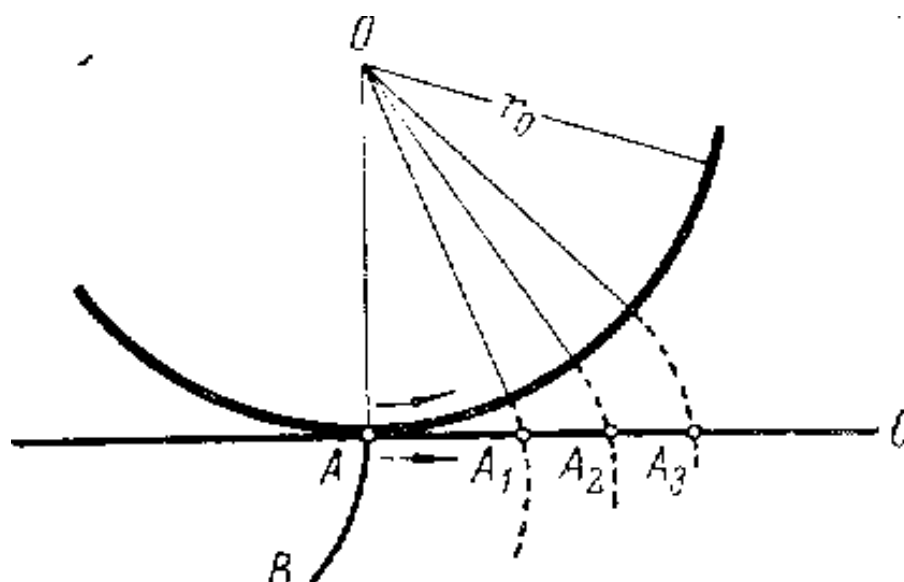


Рис. 1. Образование эвольвенты в эвольвентомере

В процессе сканирования поверхности зуба отклонения щупа регистрируются и обрабатываются системой управления машины. Получаемый результат аналогичен результату проверки на эвольвентомере. Если профиль зуба представляет собой правильную эвольвенту с заданными параметрами, то результатом измерения в графическом представлении будет прямая. При наличии погрешности профиля по углу или форме получится кривая линия.

Анализ этой кривой позволяет определить основные составляющие погрешности — погрешность угла профиля, погрешность формы профиля и полную погрешность профиля.

Проверка профиля и линии зуба проводится, как правило, на 3–4 зубьях. Это делается с целью сокращения времени измерения. При этом ин-

формативность такого неполного измерения вполне достаточна, так как выявляет все погрешности зубчатого венца, изготовленного методом обката.

На любом выбранном зубе может быть проведена проверка профиля и линии зуба в нескольких сечениях. В этом случае результатом измерения является топография поверхности зуба. Используется модификация поверхности зуба по профилю и направлению, имеющая целью оптимизацию технологии изготовления колес (например, модификация зуба при черновой обработке с целью компенсации деформаций при термической обработке) или улучшение параметров готового изделия (оптимизация пятна контакта в паре зубчатых колес). Возможность оценки топографии зуба дает возможность наглядно оценить модификацию поверхности зуба. Кроме того, при применении дополнительного программного обеспечения для зубоизмерительных машин существует возможность моделирования и оценки контакта измеренного зуба либо в зацеплении с идеальным колесом, либо в зацеплении с другим измеренным колесом.

Результат измерения зуба на зубоизмерительной машине представляется в графическом виде. Поскольку методы анализа и представления результатов стандартизованы для всех изготовителей зубоизмерительных машин, то обеспечивается сопоставимость результатов, сделанных на разных машинах [4]. В результате обеспечивается прослеживаемость результатов измерения, и данные протоколы могут быть использованы в качестве сертификатов, подтверждающих качество изготовленной детали. Если задана требуемая точность измеряемого венца, то программное обеспечение сравнивает заданные для данной степени точности допуски на измеряемые параметры и отображает те отклонения, которые выходят за поле допуска. Одновременно анализируется и показывается истинная степень точности измеренного колеса. Аналогичные протоколы выводятся по результатам анализа направления зуба, шага и радиального биения. Стандартное математическое обеспечение также оценивает среднее значение и колебание длины общей нормали, и толщину зуба.

Получаемые при измерении детали протоколы дают широкие возможности для оценки причин возникновения погрешностей. Для этого существуют определенные методики. Например, при получении диаграммы профиля можно определить пять основных причин возникновения данной погрешности:

- биение фрезы на оправке (может быть вызвано плохой фрезой, поврежденной оправкой или загрязнением оправки при монтаже) [5, 6];
- неправильная заточка фрезы (фреза была переточена с радиальным биением из-за установки с перекосом на оправку или оправки на заточной станок);
- слабо закрепленная или изношенная оправка в противоопоре станка;
- слишком большой люфт шпинделя фрезы фрезерного станка;
- слишком большой люфт стола фрезерного станка.

Эти зубоизмерительные машины обладают уникальной встроенной системой термокомпенсации, что обеспечивает точность измерения даже при колебаниях температуры в помещении. Конструктивно зубоизмерительные машины Mahr сделаны на базе кругломеров высокой точности, при этом все функции кругломера сохранены в базовом программном обеспечении. На практике это означает, что, приобретая одну машину Mahr, заказчик фактически приобретает два метрологических средства – зубоизмерительную машину и кругломер. Важнейшим элементом машины является сканирующая головка. Головка машины Mahr представляет собой миниатюрную копию трехкоординатной измерительной машины и обеспечивает измерение с постоянным измерительным усилием всегда по нормали к измеряемой поверхности.

При наличии дополнительного программного обеспечения можно реализовать дополнительные функции измерения цилиндрических колес: сравнение параметров колес до и после термической обработки (результат представляется в графическом виде, что позволяет легко и быстро определить деформации детали при термической обработке); измерение «колес» с определением их основных параметров (для тех случаев, когда имеется колесо, у которого можно только измерить наружный диаметр и сосчитать число зубьев неизвестных, с определением остальных конструктивных размеров); измерять колеса после операции зубофрезерования с исключением влияния следа от подачи; измерять форму и размеры тел вращения (т.е. деталей с зубчатыми венцами), т.е. использовать зубоизмерительную машину как кругломер и координатно-измерительную машину.

При наличии дополнительного программного обеспечения зубоизмерительные машины Mahr [4] позволяют контролировать конические зубчатые колеса, червяки и червячные колеса, колеса с торцовым зубом и венцы синхронизаторов. Для этого не требуется никаких изменений в конструкции машины, только программное обеспечение, возможно измерение зуборезных инструментов – червячных фрез, долбяков и шеверов.

Современные средства измерения зубчатых колес – зубоизмерительные машины – позволяют выполнить основные требования, которые определяются современной конструкцией и технологией изготовления. На обеих боковых поверхностях трех или четырех зубьев измеряются погрешности профиля и линии зуба. На всех зубьях измеряются погрешности шага по обеим боковым поверхностям и погрешности радиального биения. Кроме этого, производится измерение толщины зуба (размера по шарикам). Время измерения зубчатого колеса составляет около 3 мин.

Зубоизмерительная машина не имеет ограничений в части измерения колес с нестандартными параметрами профиля и линии зуба (модификации по профилю и линии зуба).

Практически зубоизмерительная машина как современное средство измерения заменяет все ранее применявшиеся приборы для контроля зубча-

тых колес и позволяет измерять, кроме цилиндрических колес, также конические колеса, червяки, червячные колеса и зуборезные инструменты (червячные фрезы, долбяки и шеверы).

Библиографический список

1. ГОСТ 1643-81 Передатки зубчатые цилиндрические Допуски и посадки. – М., 1981.
2. Калашников, А.С. Технология изготовления зубчатых колес / А.С. Калашников. – М.: Машиностроение, 2004. – 480 с.
3. Марков, А.Л. Измерение зубчатых колёс. Допуски, методы и средства контроля / А.Л. Марков. – Л.: «Машиностроение», 1977. – 124 с.
4. URL: [toolindustry.ru>instrument_measuring/zub/zub5.php](http://toolindustry.ru/instrument_measuring/zub/zub5.php).
5. Михайлов, А.В. Основы проектирования технологических процессов / А.В. Михайлов, Д.А. Расторгуев, А.Г. Схиртладзе. – Ст. Оскол: ТНТ, 2004. – 336 с.
6. Радкевич, Я.М. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник для ВУЗов / Я.М. Радкевич, А.Г. Схиртладзе, Б.И. Лактионов. – М.: Высш. шк., 2004. – 767 с.