



ПРИМЕНЕНИЕ КООРДИНАТНОЙ ТЕХНИКИ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ПАРАМЕТРОВ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

THE USE OF COORDINATE EQUIPMENT IN MEASURING THE PARAMETERS OF GEARS

Ю.Н. Сквородкина, инженер 1-й категории ННЦ "Институт метрологии", г. Харьков



Рассмотрены вопросы минимизации неопределенности при измерении параметров зубчатых колес на координатной машине. Рассмотрен вопрос обеспечения необходимой точности измерения параметров зубчатых колес, которые не охвачены эталоном. Ставится задача необходимости совершенствования метода передачи единицы от координатно-измерительной техники к специализированному зубоизмерительному приборам.

Ключевые слова: координатно-измерительная машина, неопределенность, точность, параметры зубчатого колеса.

The article deals with the problems of uncertainty minimization when measuring the parameters of gears on a coordinate machine. The problem of providing the necessary measurement accuracy of the parameters of gears, which are not covered by the measurement standard, is considered. The article poses the problem of the need to improve the method of transferring the unit from the coordinate-measuring equipment to the specialized gear-measuring one.

Keywords: Coordinate-measuring machine, uncertainty, accuracy, gear parameters.

При решении задачи достижения необходимой точности средств измерений в Украине необходимо определить, для каких подчиненных средств измерений и изделий, в конечном счете, это требуется. Для этого следует проанализировать требования к точности изготовления зубчатых колес и, в частности, требования к тем параметрам зубчатых колес, которые определяют плавность работы и точность механизмов, где используются зубчатые колеса. Такими параметрами являются:

- колебания шага;
- накопленная погрешность шага на колесе;
- отклонение профиля;
- отклонение угла наклона линии зуба.

В настоящее время нормативными документами, регламентирующими допуски на зубчатые колеса по упомянутым параметрам, являются ISO 1328–1:2006 [1], который гармонизирует требования к производству зубчатых колес с требованиями европейских стандартов, и ГОСТ 1643–81 [2], в соответствии с которым определялись требования к допускам на изготовление зубчатых колес в Украине.

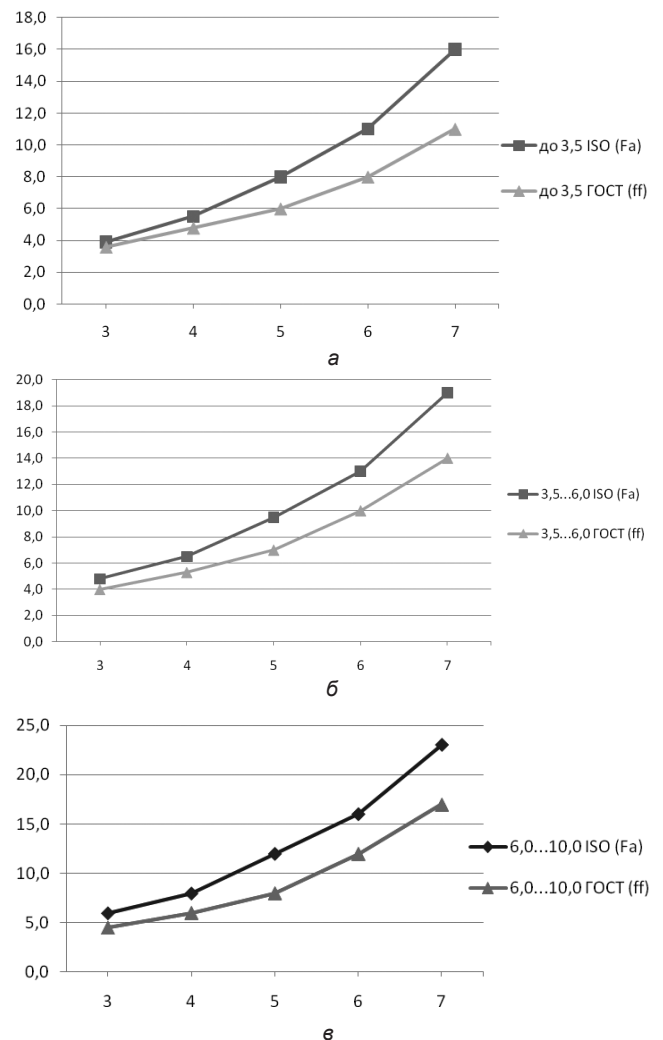


Рис. 1. Требования к допускам на отклонение профиля зуба (f_p, f_a) для делительного диаметра до 125 мм и модулей до 3,5; 3,5...6,0; 6,0...10,0 мм по ГОСТ 1643 и ISO 1328

Сравнительные данные требований к допускам, для параметров профиля, для наиболее точных зубчатых колес (3,4 степени точности), а также для наиболее используемых в станкостроении, машиностроении (5–7 степеней точности) приведены на рис. 1.

Как показывает анализ графиков для параметров профиля (с учетом того, что данные по допускам отклонений по профилю в соответствии с ГОСТ 1643 нормируются только одной величиной, являющейся суммарным проявлением f_r и f_{α}), требования ГОСТ 1643 и ISO 1328 практически совпадают для высокоточных степеней, а для менее точных степеней ГОСТ 1643 выдвигает более жесткие требования к точности изготовления зубчатых колес, чем ISO 1328. Таким образом, существующая в настоящее время в Украине система обеспечения прослеживаемости в области измерений параметров зубчатых колес может быть использована и в дальнейшем для обеспечения необходимой точности изготовления зубчатых колес. Указанная система базируется на национальном первичном эталоне единицы длины для параметров эвольвентных поверхностей и угла наклона линии зуба.

Дальнейшее совершенствование эталона с использованием координатно-измерительной машины (КИМ) позволяет расширить возможности измерения других типоразмеров зубчатых колес и их других параметров.

Первые международные сличения параметров зубчатых колес с использованием КИМ были проведены в 2008–2010 гг., где страной-координатором была Германия (РТВ) [3]; Украина (ННЦ “Институт метрологии”) также принимала участие в этих сличениях среди 6 других стран: Германии, США, Японии, Китая, Таиланда, Великобритании.

В настоящее время Украина, наряду с Беларусью и Россией, участвует в дополнительных международных сличениях с использованием КИМ в рамках СООМЕТ, страна-координатор — Германия. Сличения находятся на стадии завершения.

В качестве мер сличения использовались меры, предоставленные ННЦ “Институт метрологии”: зубчатое колесо, мера угла наклона линии зуба, эвольвентная мера.

В перспективе предлагается принимать участие по теме исследования повышения научно-технических возможностей в координатной метрологии.

Главная цель состоит в обеспечении промышленных требований и улучшении возможностей научных институтов при использовании координатной техники, для чего предлагается:

- разработать и внедрить современные методы учета ошибок и их устранения для получения субмикронного уровня неопределенности при использовании КИМ;
- разработать методы для выбора стратегии измерения и маршрутов отслеживаемости.

При проведении этих работ предполагается провести сличения как двусторонние, так и многосторонние.

При участии в этих сличениях предполагается использовать результаты ННЦ “Институт метрологии” при измерении параметров зубчатых колес на КИМ.

Согласно паспортным данным изготовителя, предел допускаемой погрешности координатно-измерительной машины, принадлежащей ННЦ “Институт метрологии”, равен

$$\Delta = (1,40 + \frac{L}{300}), \text{ мкм,}$$

где L — в метрах.

В соответствии с РМГ 43–2001 “Руководство по выражению неопределенности измерений” [4], из приведенного выражения может быть определена стандартная неопределенность по типу В:

$$U_B = \frac{\Delta}{k\sqrt{3}},$$

где k — коэффициент, равный 1,1 при $P=0,95$.

Для максимального радиуса основной окружности эвольвентных мер неопределенность по типу В составляет 0,60 мкм.

В состав неопределенности по типу В входят все неточности, допущенные программой аттестации КИМ, в частности:

- несферичность наконечника;
- степень компенсации неточности перемещения направляющих координатной машины;
- степень компенсации неточности перемещения наконечника и т. д.

Эти величины не могут быть изменены в процессе применения КИМ, и поэтому основным влияющим фактором, с точки зрения пользователей КИМ, является уменьшение неопределенности по типу А.

На основании этих положений можем считать, что для получения расширенной неопределенности не более 1,2 мкм необходимо свести неопределенность по типу А к минимуму для обеспечения надежной передачи точности между эталонами.

Результаты экспериментальных наблюдений, проведенных в ННЦ “Институт метрологии”, определили основные направления исследований, которые необходимо провести для повышения точности измерения параметров зубчатых колес на координатно-измерительной машине.

Важным фактором, который влияет на результаты измерений, является выбор скорости перемещения измерительного щупа в процессе измерения. В табл. 1 приведены неопределенности по типу А результатов измерений накопленной погрешности шага зубчатого колеса при одних и тех же внешних условиях и с одной и той же установ-

Таблица 1

Результаты измерений накопленной погрешности шага зубчатого колеса

Параметр колеса	U _a при V=const	U _a при V=var
Накопленная погрешность шага по колесу, правый профиль, мкм	0,090	0,220
Накопленная погрешность шага по колесу, левый профиль, мкм	0,093	0,170

кой его на измерительную позицию, при постоянной скорости движения щупа и при нескольких различных скоростях.

Как показывают результаты экспериментальных исследований, среднеквадратическое отклонение результатов измерений при постоянной скорости практически в 2 раза меньше, чем при изменяющейся скорости.

Кроме фактора скорости перемещения щупа при измерении мер угла наклона линии зуба, для получения однозначных результатов следует проводить измерения в прямом и перевернутом положении меры по вертикали. Отклонение оси в прямом и перевернутом положении меры не должно превышать 1 мкм. При этом движение наконечника должно быть в одном направлении. За результат измерения следует принимать среднее арифметическое значение из полученных результатов.

При измерении шага зубчатого колеса и накопленной погрешности шага возможны варианты перемещения измерительного щупа без перестройки всей измерительной головки. На рис. 2 представлены две схемы измерения шага зубчатого колеса, неподвижно закрепленного на измерительной позиции.

Вариант *a* предполагает проведение измерений без перестройки измерительной головки; при варианте *б* предполагается минимум три перестройки измерительной головки.

Результаты измерений параметров зубчатых колес представлены в табл. 2.

Исходя из полученных результатов измерения зубчатого колеса, можно сделать вывод, что положение наконечника существенно влияет на результаты измерений.

Так как измерение зубчатых колес относится к виду геометрических измерений, существенное влияние на их результат оказывает поддержание необходимой температуры. В дальнейшем следует определить оптимальное место расположения датчиков температуры и их количество в зависимости от типа мер, измеряемых на КИМ.

Как показали проведенные нами эксперименты, для поддержания требуемой точности измерений отклонение температуры не должно превышать $(20 \pm 0,3) \text{ }^\circ\text{C}$.

Следует также исследовать метод передачи единицы от государственного эталона, в который будет входить КИМ, существующим специальным зубоизмерительным приборам, которые калибруются с помощью мер параметров зубчатых колес.

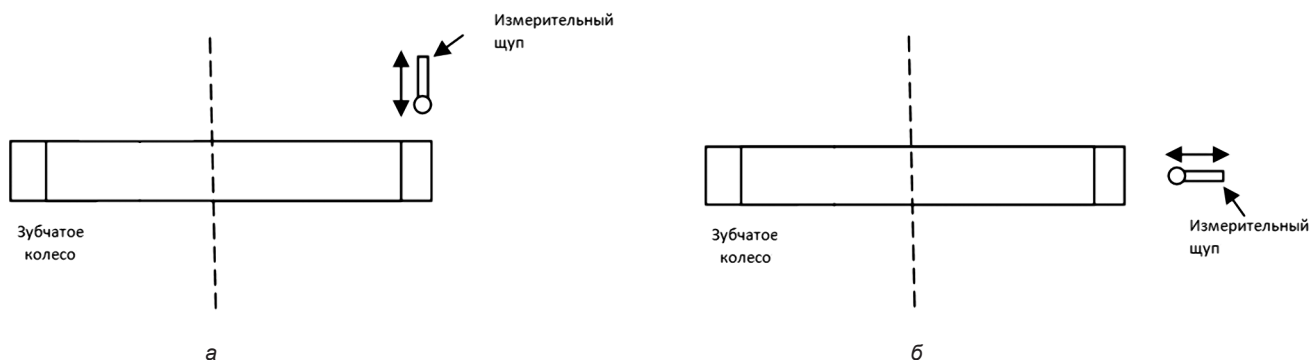


Рис. 2. Измерение шага зубчатого колеса, неподвижно закрепленного на измерительной позиции

Таблица 2

Результаты измерения зубчатого колеса на координатно-измерительной машине и координатно-измерительном центре

Измерительное средство	Положение наконечника	Накопленная погрешность шага, F _p , мкм	Отклонение шага f _p , мкм	Радиальное биение шага F _r , мкм
КИМ U = 1,4 мкм	вертикальное	10,6	3,3	10,3
	горизонтальное	10,9	9,6	14,3
КИЦ (GMX275C) U = 1,0 мкм	—	9,5	2,9	9,8

С учетом вышеприведенного, можно определить основные направления проведения дальнейших исследований для достижения необходимой точности измерений параметров зубчатых колес на координатно-измерительной машине:

- проводить измерения в одном положении измерительной головки КИМ;
- жестко прописывать положение меры в процессе измерений;
- детерминировать алгоритм и режим измерений.

Применение координатной техники при измерении параметров зубчатых колес обеспечивает с необходимой точностью измерения типоразмеров по делительному диаметру от 5 до 560 мм, модулем от 0,5 до 70 мм, шаговых отклонений, отклонений профиля и угла наклона, радиального биения зубчатого венца и т. п.

Требуют совершенствования методы передачи единицы от координатно-измерительной техники к специализированным приборам.

Результаты этой работы будут положены в основу нормативной документации на методы измерения параметров зубчатых колес.

Список литературы

1. ISO 1328–1:2006. Колеса зубчатые цилиндрические. Система точности ISO. Часть 1. Термины и определения понятий и установление допусков отклонений боковых поверхностей зубьев зубчатых колес.
2. ГОСТ 1643–81. Колеса зубчатые цилиндрические. Допуски.
3. EURAMET Supplementary Comparison. EURAMET.L-S24. Involute Gear Standards. Final Report. October 2013.
4. РМГ 43–2001. ГСИ. Руководство по выражению неопределенности измерений. Минск: Изд-во стандартов, 2002. 15 с.

Статья рекомендована к публикации доктором технических наук, профессором В.П. Квасниковым