

УДК 621.833

ВОЗМОЖНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ ДВУХПРОФИЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

д-р техн. наук В.Е. АНТОНЮК

(Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск);

В.Н. РУСЕЦКИЙ

(РУП «Минский автомобильный завод»)

Рассматриваются тенденции совершенствования средств двухпрофильного контроля зубчатых колес. Приведены результаты отечественных разработок и исследования точности зубчатых колес с использованием записи результатов двухпрофильного контроля. Запись результатов двухпрофильного контроля ИМП имеет ряд неоспоримых преимуществ по сравнению с традиционными методами контроля зубчатых колес. Показаны принципиальные положения, которые были положены в основу программного обеспечения контроля измерительного межосевого расстояния при двухпрофильном контроле.

Измерительное межосевое расстояние (ИМП) является наиболее распространенным параметром контроля зубчатых колес в массовых и серийных производствах [1 – 3]. Особенностью контроля ИМП является то, что он позволяет одновременно контролировать нормы кинематической точности, нормы плавности, нормы бокового зазора и оперативно давать максимум информации о точности зубчатого колеса.

Контроль ИМП применяется для контроля цилиндрических, конических и червячных передач, что позволяет считать его универсальным методом контроля зубчатых передач.

Сущность контроля ИМП заключается во вводе в зацепление измеряемого зубчатого колеса с измерительным в беззазорное зацепление с одновременным контактом обеих сторон зуба – двухпрофильное зацепление. При вводе в двухпрофильное зацепление измеряемой и измерительной шестерен они устанавливаются на расчетное измерительное межцентровое расстояние, а затем при их вращении происходит измерение отклонения фактического измерительного межцентрового расстояния от расчетного, которое в обычных приборах контролируется по показаниям индикаторной головки. Однако такой контроль в значительной степени зависит от квалификации и опыта контролера, допускает значительные погрешности, не дает информации о возможных причинах погрешности и не позволяет накапливать информацию о точности изготовленных зубчатых колес.

В последние годы за рубежом появились приборы для контроля с полной записью характера изменения ИМП и программным обеспечением для анализа причин возможных погрешностей.

Фирма FRENCO GmbH предлагает гамму приборов двухпрофильного контроля зубчатых колес вертикального, горизонтального и специального исполнения с записывающими устройствами и программным обеспечением для анализа причин погрешностей.

Программное обеспечение для анализа результатов измерения двухпрофильного контроля позволяет выделять из графика записи результата двухпрофильного контроля в соответствии с DIN 3960 / 3963 следующие погрешности (рис. 1): F_i'' – колебание ИМП за оборот зубчатого колеса; f_r'' – колебание ИМП на одном зубе; F_r'' – радиальное биение зубчатого венца, которое определяется как усредненная линия графика двухпрофильного контроля; E_{as} , E_{ai} – предельные отклонения ИМП.

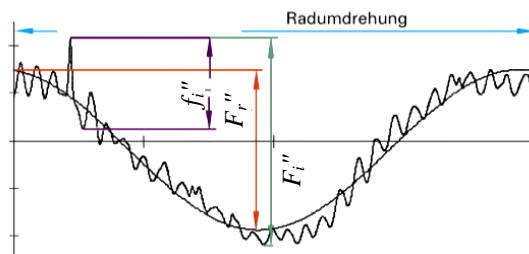


Рис. 1. График обработки результатов измерения зубчатых колес при двухпрофильном контроле на приборе фирмы FRENCO GmbH

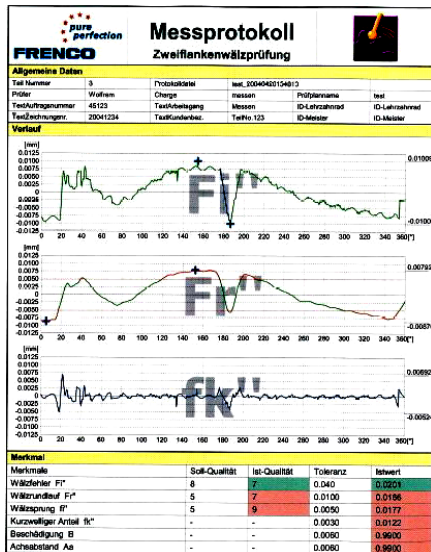
По ГОСТ 1643-81 при контроле ИМП не выделяется параметр F_r'' – радиальное биение зубчатого венца. Кроме того, возможность записи графика двухпрофильного контроля позволяет выделять также такой параметр, как f_k – разность между усредненной линией радиального биения F_r'' и линией двухпрофильного контроля F_i'' , которая дает важную информацию о погрешности профиля и угла исходного контура.

Таким образом, запись результатов двухпрофильного контроля ИМР имеет ряд неоспоримых преимуществ по сравнению с традиционными методами контроля зубчатых колес на межцентромерах по ГОСТ 1643-81.

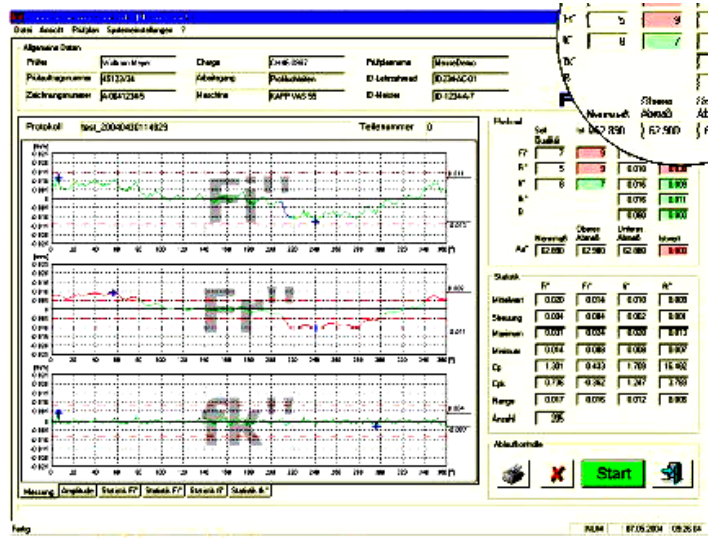
На рисунке 2, а представлен вид протокола измерения зубчатого колеса на приборе фирмы FRENCO GmbH с записью линии двухпрофильного контроля F_i'' , с выделением усредненной линией радиального биения F_r и параметра f_k .

На рисунке 2, б представлен вид статистической обработки результатов измерения линии двухпрофильного контроля F_i'' , усредненной линии радиального биения F_r и параметра f_k .

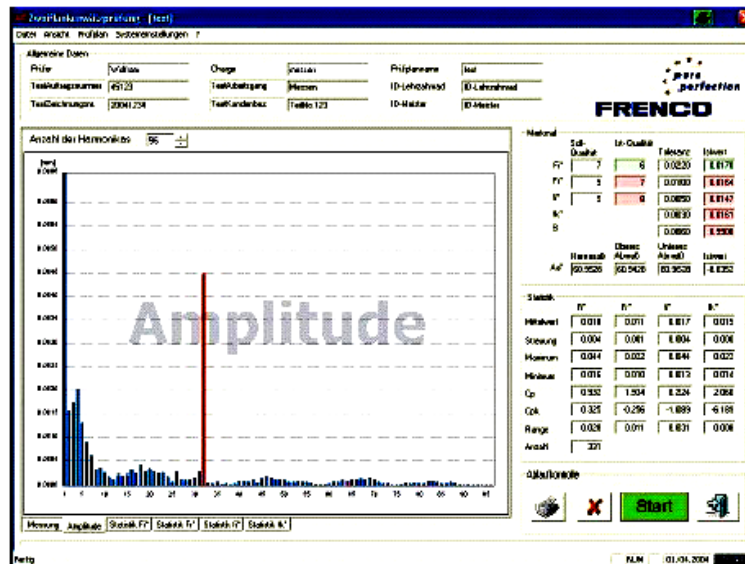
Программное обеспечение обработки линии двухпрофильного контроля F_i'' позволяет выделять частотные составляющие (рис. 2, в), что значительно облегчает выявление возможных причин погрешности измеряемого зубчатого колеса [4].



а)



б)



в)

Рис. 2. Запись результатов двухпрофильного контроля:
 а – вид протокола измерения зубчатого колеса на приборе фирмы FRENCO GmbH с записью линии двухпрофильного контроля F_i'' , с выделением усредненной линии радиального биения F_r и параметра f_k ;
 б – статистическая обработка результатов измерения линии двухпрофильного контроля F_i'' , усредненной линии радиального биения F_r и параметра f_k ;
 в – частотный спектр результатов измерения двухпрофильного контроля F_i''

Фирма Gleason-M&M Precision Systems разработала систему для измерения зубчатых колес в процессе изготовления под названием IPG с использованием двухпрофильного контроля [4].



Рис. 3. Прибор для двухпрофильного контроля зубчатых колес модели IPG-150AT фирмы Gleason-M&M

Система для измерения зубчатых колес IPG обеспечивает 100 %-ный контроль зубчатых колес в процессе изготовления и адаптирована к программе WINROLL, созданной для обработки результатов двухпрофильного контроля.

Предлагается гамма приборов для контроля зубчатых колес модулем до 3,175 мм, диаметром до 203 мм и массой до 13,5 кг с ручной загрузкой деталей. На рисунке 3 представлен прибор модели IPG-150AT.

Возможность записи ИМР позволяет разработать основы идентификации отдельных параметров точности зубчатых колес и характера записи ИМР. Запись ИМР значительно расширяет информационную базу для оценки качества зубчатых колес и позволяет производить целенаправленный отбор зубчатых колес с требуемыми свойствами. В таблице приведены характерный вид линии двухпрофильного контроля и соответствующая элементная погрешность зубчатого колеса [5].

Идентификация погрешностей зубчатых колес и характера записи ИМР

Погрешность измеряемого зубчатого колеса	Вид погрешности	Характер записи ИМР
Погрешность направления зуба		
Погрешность угла исходного контура		
Погрешность толщины зуба		
Погрешность окружного расположения зуба		
Погрешность профиля зуба		

В настоящее время специалистами ОАО «Завод ВИЗАС» совместно с ОИМ НАН Беларуси разработан отечественный контрольно-измерительный станок ВЗ 581 для контроля, измерения и записи параметров ИМР зубчатых колес.

В основу программного обеспечения контроля ИМР при двухпрофильном контроле были положены следующие принципиальные положения:

1) контроль и запись ИМР производится в координатах «линейное перемещение измеряемой шестерни относительно измерительной» – «угловое перемещение измеряемой шестерни относительно измерительной»;

2) контроль и запись ИМР осуществляется для цилиндрических зубчатых колес с выделением точностных параметров по ГОСТ 1643-81:

- колебание измерительного межосевого расстояния за оборот зубчатого колеса F_{ir}'' ,
- колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе f_{ir}'' ,
- верхнее предельное отклонение измерительного расстояния $+E_{d's}''$,
- нижнее предельное отклонение измерительного расстояния $-E_{d'i}''$;

3) контроль и запись ИМР производится с привязкой линейного перемещения измеряемой шестерни относительно измерительной к «нулевому» положению, устанавливаемому по расчетному ИМР с помощью настроечных дисков или путем непосредственного ввода значения расчетного ИМР в исходные данные программного обеспечения;

4) контроль и запись ИМР производится с разбивкой углового перемещения измеряемой шестерни относительно измерительной на количество шагов, равных числу зубьев измеряемой шестерни;

5) контроль и запись ИМР производится при нанесении на график записи ИМР верхнего предельного отклонения измерительного расстояния $+E_{d's}''$ и нижнего предельного отклонения измерительного расстояния $-E_{d'i}''$;

6) контроль и запись ИМР производится при выполнении измеряемой шестерней не менее 1,5 оборота;

7) в результате контроля и записи ИМР выделяются и приводятся фактические цифровые значения ИМР для измеряемой шестерни:

- колебание измерительного межосевого расстояния за оборот зубчатого колеса F_{ir}'' ,
- колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе f_{ir}'' ,
- верхнее предельное отклонение измерительного расстояния $+E_{d's}''$,
- нижнее предельное отклонение измерительного расстояния $-E_{d'i}''$;

8) для обеспечения требуемой точности измерения на станке для контроля ИМР в пределах 6... 9 степеней точности по ГОСТ 1643-81 устанавливается:

- разрешающая точность записи линейного перемещения измеряемой шестерни относительно измерительной в пределах 0,5... 1,0 мкм,
- разрешающая точность записи углового перемещения измеряемой шестерни относительно измерительной в пределах не менее 2500 делений за 1 оборот измеряемой шестерни;

9) контроль и запись ИМР производится с накоплением результатов измерения параметров ИМР не менее чем для 500 измеряемых шестерен;

10) контроль и запись ИМР производится с производительностью, обеспечивающей минимальный уровень помех от динамических процессов в зацеплении измеряемой шестерни относительно измерительной.

В конечном виде результаты двухпрофильного контроля зубчатого колеса на разработанном контрольно-измерительном станке представляются в виде протокола измерений (рис. 4), где представлена запись погрешности двухпрофильного зацепления с выделением основных параметров двухпрофильного контроля.

Для оценки возможностей двухпрофильного контроля были проведены измерения опытных зубчатых колес на измерительной машине «GearSpect do-3 PC» для поэлементного контроля зубчатых колес и на станке ВЗ 581.

В качестве опытных измеряемых шестерен использовались сателлиты бортовой планетарной передачи автомобиля МАЗ 5440 – модуль 4,5 мм, число зубьев 14, точность 7-6-6 Cd по ГОСТ 1643-81.

На рисунке 5 представлен график зависимости погрешности ИМР за оборот F_{ir}'' и погрешности направления F_{β} , на рисунке 6 – график зависимости погрешности ИМР за оборот F_{ir}'' , радиального биения F_r и погрешности профиля, из которых видна достаточно тесная зависимость этих параметров.

МЕЖЦЕНТРОМЕР					
ИЗМЕРЯЕМОЕ ЗУБЧАТОЕ КОЛЕСО		ИЗМЕРИТЕЛЬНОЕ ЗУБЧАТОЕ КОЛЕСО		РЕЖИМЫ ИЗМЕРЕНИЯ	
№ ЧЕРТЕЖА		№ ЧЕРТЕЖА		№ ИЗМЕРЕНИЯ	27.08.07 11:30:27
ИГОТОВИТЕЛЬ-МАРКИРОВКА		№ КОЛЕСА		ДАТА И ВРЕМЯ	
КОЛ-ВО ЗУБЬЕВ	28	КОЛ-ВО ЗУБЬЕВ	30	ЧАСТОТА ВРАЩЕНИЯ ИВК	
МОДУЛЬ		МОДУЛЬ		ИМР РАСЧЕТНОЕ	
УГОЛ ПРОФИЛЯ		УГОЛ ПРОФИЛЯ		ИМР ПРИВЯТОЕ	
СМЕЩЕНИЕ ИВК		СМЕЩЕНИЕ ИВК			
ШИРИНА ВЕНЦА		СТЕПЕНЬ ТОЧНОСТИ			
СТЕПЕНЬ ТОЧНОСТИ		ПОПРАВКА НА ИМР		КОНТРОЛЕР	

РЕЗУЛЬТАТ ЗАПИСИ ИМР	

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ				
Параметры	Обозначение	Измерение	Допуск	Решение о годности
колебание ИМР за оборот зубчатого колеса	F_{ir}''	74,4		
колебание ИМР на одном зубе	f''	37,6		
верхнее предельное отклонение ИМР	$+E_{d,i}$	17,7		
нижнее предельное отклонение ИМР	$-E_{d,i}$	-56,6		

Рис. 4. Протокол двухпрофильного контроля на станке ВЗ 581

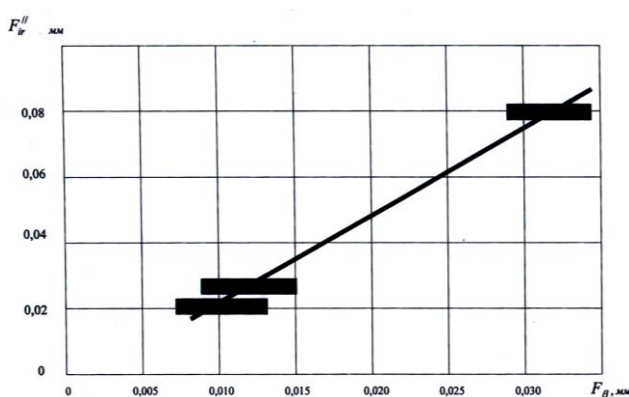


Рис. 5. График зависимости погрешности ИМР за оборот F_{ir}'' и погрешности направления F_{β}

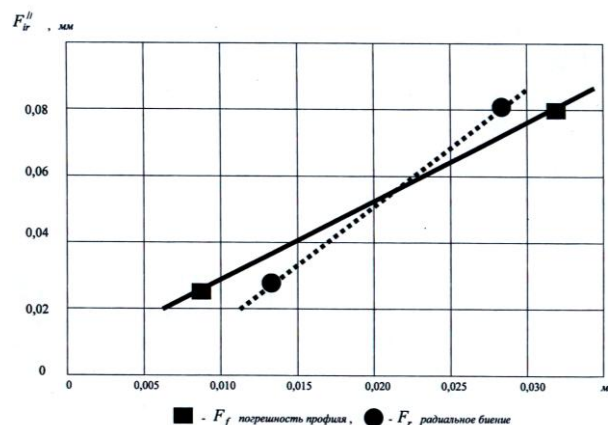


Рис. 6. График зависимости погрешности ИМР за оборот F_{ir}'' , радиального биения F_r и погрешности профиля f_f

Приведенные на рисунках 5 и 6 зависимости подтверждают возможности использования записи погрешности ИМР для идентификации элементных погрешностей зубчатых колес.

Выводы. Разработанный отечественный контрольно-измерительный станок и программное обеспечение для двухпрофильного контроля позволяют вести контроль зубчатых колес с записью, обработкой и распечаткой погрешности двухпрофильного контроля на уровне аналогичных зарубежных приборов таких фирм как FRENCO, HOMMELWERKE, Gleason-M&M. Контроль зубчатых колес с записью погрешности позволяют значительно повысить точность и объективность двухпрофильного контроля зубчатых колес, расширить информационную базу для оценки качества зубчатых колес и производить целенаправленный отбор зубчатых колес с требуемыми свойствами. Оснащение записывающего устройства ИМР дополнительными программами позволяют производить статистическую обработку результатов измерения зубчатых колес и находить корреляционные зависимости между параметрами ИМР и такими элементными погрешностями зубчатого колеса, как погрешность направления зуба, погрешность угла исходного контура, погрешность толщины зуба, погрешность профиля зуба.

ЛИТЕРАТУРА

1. Марков, А.Л. Измерение зубчатых колес / А.Л. Марков. – Л.: Машиностроение, 1968. – 308 с.
2. Технология производства и методы обеспечения качества зубчатых колес и передач / В.Е. Антонюк [и др.]; под общ. ред. В.Е. Антонюка. – Минск: УП «Технопринт», 2003. – 766 с.
3. Антонюк, В.Е. Тенденции современного производства зубчатых колес / В.Е. Антонюк // Инженерный журнал. Справочник. Приложение. – 2004. – № 12. – С. 2 – 15.
4. Проспект фирмы Frenco GmbH «Zweiflankenwälzprüfgeräte». – 2005.
5. Проспект фирмы Hommelwerke GmbH // «Zweiflanken-Wälzmeßgerät 8305». – 2002.

Поступила 29.07.2008