

ШЕВИНГОВАНИЕ-ПРИКАТЫВАНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЕС С КРУГОВЫМИ ЗУБЬЯМИ

А.С. Ямников, А.А. Маликов, А.В. Сидоркин

В статье описывается экспериментальное исследование эффективности шевингования-прикатывания цилиндрических колес с круговыми зубьями. Показано, что интегрально точность обрабатываемого зубчатого колеса улучшается на 1–2 степени при высокой производительности процесса.

Ключевые слова: зубчатое колесо, шевингование-прикатывание, точность, корреляция, регрессия.

Введение

В машиностроении всегда была актуальной проблема обеспечения высоких эксплуатационных свойств зубчатых передач, из которых наиболее распространенными являются цилиндрические передачи. Для снижения чувствительности передач к монтажным и динамическим перекосам, приводящим к кромочному контакту зубьев передачи, зубьям придают бочкообразность в продольном направлении. По аналогии с коническими передачами с круговыми зубьями эффект получения «отводов» по торцам колеса в цилиндрических передачах с круговыми зубьями достигается путем подбора радиусов кривизны зубьев по развертке делительного цилиндра. Такие передачи получают нарезанием зубьев резцовыми головками с заданными радиусами расположения зубьев [1]. При этом для колес скоростных передач требуется дополнительная чистовая обработка. Применение шлифования по схеме нарезания головками малопроизводительно. Возможным вариантом решения этой задачи является применение способа шевингования-прикатывания зубьев цилиндрических колес, разработанного в Тульском государственном университете [2].

Этот способ показал хорошую исправляющую способность и высокую стойкость инструмента к изнашиванию в сочетании с высокой производительностью применительно к обработке прямозубых колес.

Цель данной работы и статьи – исследование возможности улучшения точности цилиндрических колес с круговыми зубьями путем применения шевингования-прикатывания [3].

Постановка задачи

Основной задачей статистического исследования точности явилось выявление достижимой точности процесса шевингования-прикатывания цилиндрических колес с круговыми зубьями (рис. 1), а также его исправляющей способности.

Шевер-прикатник 2 устанавливался на инструментальной оправке 1 и фиксировался втулкой 3 и кольцом 4, зажимался гайкой и контргайкой 5. Инструментальная оправка поджималась задним центром станка 6. Шпиндель приводился во вращение с частотой 250 мин^{-1} . Заготовка-колесо 7 свободно вращалась на оси 9, установленной во втулке 10, которые в свою очередь вварены в корпус 8 приспособления. Ось 9 фиксировалась в корпусе

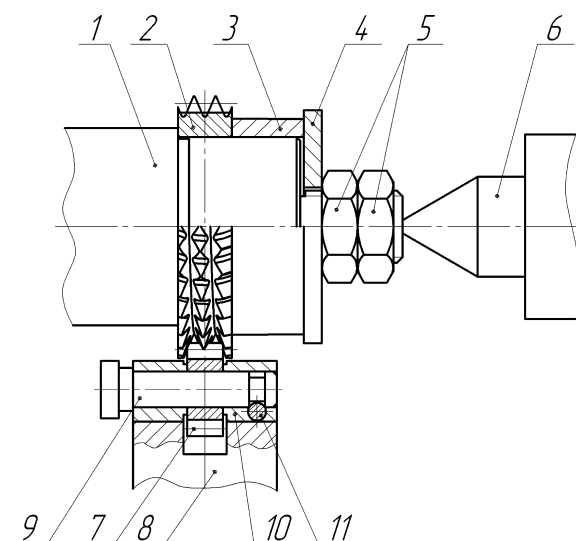


Рис. 1. Схема шевингования-прикатывания цилиндрических колес с круговыми зубьями

штифтом 11. Во время шевингования-прикатывания колес партии приспособление устанавливалось в резцедержатель станка.

Процесс обработки заключался в совместном свободном обкате шевера-прикатника и заготовки. Заготовка находилась в двухпрофильном (безззорном) зацеплении с шеве́ром-прикатником. Заготовке сообщали вращение, и после совершения шеве́ром-прикатником числа оборотов, равного числу зубьев обрабатываемой заготовки, осуществлялось реверсирование.

Обработка производилась за три рабочих цикла с периодической подачей сближения заготовки и за два цикла выхаживания без подачи. В результате обработки удалялся припуск 0,08–0,12 мм по толщине зуба. Время, затрачиваемое на один рабочий цикл, составило 5,28 с. Машинное время обработки для одного колеса – 26,4 с.

Методика исследования

Для статистического исследования точности использовались заготовки с предварительно оформленным зубчатым венцом, полученным фрезерованием одной двухсторонней зуборезной резцовой головкой. Обработывалась партия из 50 цилиндрических колес с круговыми зубьями шеве́ром-прикатником с числом зубьев $z_0=31$ шевингованием-прикатыванием, осуществляемым одним инструментом с радиальной подачей заготовки.

Исследовалась точность обработки ци-

линдрического зубчатого колеса с круговыми зубьями, изготовленного из стали 20Х (ГОСТ 4543–71), зубофрезерованием торцовыми зуборезными резцовыми головками и шевингованием-прикатыванием. Колесо имело следующие параметры: модуль $m=2$ мм; число зубьев $z=11$; коэффициент смещения исходного контура $\xi=0$; ширину венца $b=10$ мм; номинальный радиус кривизны арки зуба $R_{01}=20$ мм.

Шероховатость после зубофрезерования составила $R_z=5,28$ мкм, после шевингования-прикатывания – $R_z=2,16$ мкм. После шевингования-прикатывания прирост микротвердости, измеренной при нагрузке 0,5 Н, зафиксирован на уровне 15 %, а при нагрузке 1 Н – на уровне 7 %.

Измерения точности проводили для средних сечений колес. Зубчатые колеса измеряли по следующим параметрам: F_{rr} – радиальное биение зубчатого колеса; F_{vwr} – колебание длины общей нормали; f_{pr} – отклонение шага; F_p – накопленная погрешность шага до шевингования-прикатывания и после него [3].

На основе результатов измерений производилось построение кривых распределения. Выравнивание эмпирических кривых распределения осуществлялось по нормальному закону Гаусса [4]. Кривые распределения F_{rr} и F_{vwr} на полном обороте после зубофрезерования и шевингования-прикатывания представлены на рис. 2 (m_i – частота попадания, соответствующая

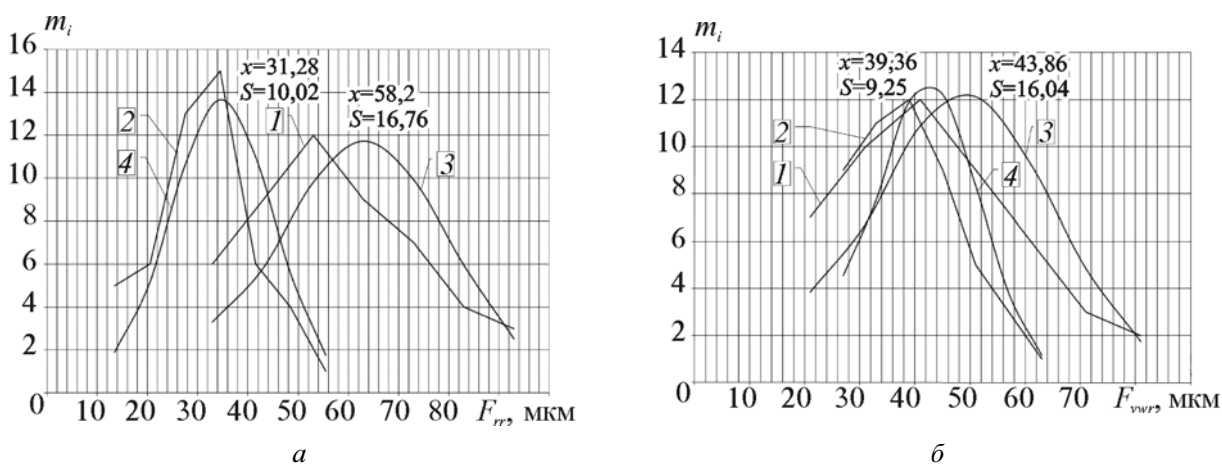


Рис. 2. Кривые распределения F_{rr} (а) и F_{vwr} (б):

- 1 – полигон распределения для колес, фрезерованных зуборезной резцовой головкой;
- 2 – полигон распределения для колес, обработанных шеве́ром-прикатником;
- 3 – аппроксимирующая кривая для колес, фрезерованных зуборезной резцовой головкой;
- 4 – аппроксимирующая кривая для колес, обработанных шеве́ром-прикатником;

x – математическое ожидание соответствующих величин; S – среднее квадратичное отклонение

шая количеству обработанных деталей, имеющих значение рассматриваемого параметра в указанных интервалах).

Соответствие теоретических кривых эмпирическим проверялось по критерию согласия χ^2 [4].

Целью корреляционного анализа являлось установление наличия, формы и силы взаимосвязи между отдельными параметрами точности на смежных операциях механической обработки. Для определения влияния погрешностей, полученных на предшествующей операции (зубофрезерования), на точность последующей операции (шевингования-прикатывания) были найдены уравнения корреляционных зависимостей параметров точности зубчатого венца. Коэффициент корреляции вычисляли по формуле [4]

$$r_{xy} = \frac{N \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \cdot \sqrt{N \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}},$$

где x_i и y_i – одноименные параметры зубчатого колеса до шевингования-прикатывания и после

него; N – количество измеряемых колес.

Коэффициент корреляции r_{xy} характеризует тесноту связи линейной корреляции одноименных параметров зубчатого колеса до шевингования-прикатывания и после него и лежит в пределах от -1 до $+1$. При значениях r_{xy} , близких к нулю, линейная корреляционная связь отсутствует [4]. Для основных параметров контроля зубчатых колес были рассчитаны значения коэффициента корреляции, коэффициента детерминации r_{xy}^2 , а также показателя p -уровня статистической значимости результата, представляющего собой оценочную меру взаимосвязи между переменными (табл. 1).

Согласно рекомендациям [4] p -уровень статистической значимости результата, равный $0,05$, рассматривается как приемлемая граница уровня ошибки. В области, где наблюдается значение статистической значимости результата $p > 0,05$, взаимосвязь между исследуемыми параметрами отсутствует [4].

Таблица 1

Результаты корреляционного анализа основных точностных параметров

Параметр	Уравнение линии регрессии	r_{xy}	r_{xy}^2	Отличие p -уровня от $0,05$	Связь
$F_{rr \text{ зф}} - F_{rr \text{ ш-пр}}$	$\bar{y}_x = 0,1196x + 24,179$	0,1956	0,0255	0,1736 > 0,05	Отсутствует
$F_{VWr \text{ зф}} - F_{rr \text{ ш-пр}}$	$\bar{y}_x = 0,0631x + 21,698$	0,0959	0,0092	0,5076 > 0,05	Отсутствует
$F_{VWr \text{ зф}} - F_{VWr \text{ ш-пр}}$	$\bar{y}_x = 0,2596x + 30,001$	0,386	0,149	0,0045 < 0,05	Слабо выражена
$F_{rr \text{ зф}} - F_{VWr \text{ ш-пр}}$	$\bar{y}_x = 0,1336x + 32,604$	0,227	0,0515	0,1122 > 0,05	Отсутствует
$F_{P \text{ зф}} - F_{P \text{ ш-пр}}$	$\bar{y}_x = 0,2113x + 16,624$	0,2036	0,0415	0,1562 > 0,05	Отсутствует

Примечание. Обозначения: зф – зубофрезерование; ш-пр – шевингование-прикатывание.

Таблица 2

Результаты анализа основных точностных параметров

Параметр	Степень точности по ГОСТ 1643–81	
	После фрезерования зуборезной резцовой головкой	После шевингования-прикатывания
F_{rr}	10	8
F_{VWr}	10*	10–9*
f_{Pir}	9	7
F_P	11–10*	8–7

*Значения параметров в ГОСТе не приведены, в данном случае рассчитаны методом интерполяции.

Анализ полученных результатов

Результаты анализа полученных данных, сопоставленные с данными ГОСТ 1643–81 [5], представлены в табл. 2.

Воспользуемся рекомендациями [6] для интегральной оценки точности зубчатого венца

$$F_{rr} + F_{vwr} < F_r + F_{vw},$$

где F_r – допуск на радиальное биение зубчатого венца; F_{vw} – допуск на колебание длины общей нормали.

Используя значение математического ожидания соответствующих параметров рассматриваемых колес, а также допуски из стандарта [5] для колес 8-й степени точности, получили неравенство:

$$31,28 + 39,36 < 45 + 28, \text{ или } 70,64 < 73.$$

Проведя интегральную оценку, можем считать, что рассматриваемые зубчатые колеса за счет имеющегося запаса по радиальному биению являются годными по комплексному показателю кинематической точности и соответствуют 8-й степени точности.

Таким образом, интегральная исправляющая способность процесса шевингования-прикатывания цилиндрических колес с круговыми зубьями находится в пределах двух степеней точности, что позволяет из заготовок 10-й степени точности получить зубчатые колеса 8-й степени точности. Эти данные в целом соответствуют данным, приведенным в работах [1, 2] для прямозубых цилиндрических колес, полученных шевингованием-прикатыванием.

Отсутствие перемещения инструмента в осевом направлении, характерное для шевингования-прикатывания, также положительно сказывается на точностных параметрах шевингования-прикатывания, в первую очередь, на радиальном биении. Улучшение точности зубчатых колес по данному параметру для шевингования находится на уровне одной степени точности [5, 6], а для рассматриваемого процесса шевингования-прикатывания цилиндрических колес с круговыми зубьями – на уровне двух степеней точности.

Заключение

Значения коэффициентов корреляции одноименных параметров зубчатого колеса до и после шевингования-прикатывания, близкие к нулю,

показывают, что шевингование-прикатывание цилиндрических колес с круговыми зубьями действительно обладает высокой исправляющей способностью.

Величины p -уровня статистической значимости результата бо́льшие, чем 0,05, показывают отсутствие корреляционной связи между основными параметрами, характеризующими точность обработки цилиндрических колес с круговыми зубьями на смежных операциях до шевингования-прикатывания и после него.

Таким образом, экспериментально доказана хорошая исправляющая способность шевингования-прикатывания для чистовой обработки круговых эвольвентных зубьев цилиндрических колес, что в сочетании с высокой производительностью процесса и стойкостью шевера-прикатника позволяет считать описанную технологию перспективной для машиностроения.

Список литературы

1. Ямников А.С., Шейнин Г.М., Бобков М.Н. Новый способ обработки круговых зубьев цилиндрических колес // СТИН. 2000. № 10. С. 18–20.
2. Шевингование-прикатывание цилиндрических зубчатых колес для повышения точности качества обработанных поверхностей / Е.Н. Валиков, О.И. Борискин, А.С. Ямников и др. // Справочник. Инженерный журнал. 2008. № 4. С. 18–23.
3. Ресурсосберегающие технологии изготовления цилиндрических зубчатых колес / А.С. Ямников, А.А. Маликов, Е.Н. Валиков, и др. // Технология машиностроения. 2008. № 7. С. 7–10.
4. РТМ 44–62. Методика статистической обработки эмпирических данных. – М.: Государственное издательство стандартов, 1963. – 112 с.
5. ГОСТ 1643–81. Передачи зубчатые цилиндрические. Допуски. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 69 с.
6. Тайц Б.А. Точность и контроль зубчатых колес. – М.: Машиностроение, 1972. – 368 с.

Материал поступил в редакцию 15.06.2011

ЯМНИКОВ
Александр Сергеевич

E-mail: yamnikovas@mail.ru;
tms@tsu.tula.ru
Тел./факс: +7 (4872) 33-23-10

Доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ, почетный работник высшего профессионального образования РФ. Профессор кафедры технологии машиностроения ФГБОУ ВПО «Тульский государственный университет». Сфера научных интересов – технология механосборочного производства; технология формообразования зубчатых и резьбовых деталей; технология сборки изделий в условиях избыточных связей в соединениях деталей. Автор 262 научных работ, 35 авторских свидетельств и 17 патентов, 30 методических пособий и четырех учебников.

МАЛИКОВ
Андрей Андреевич

E-mail: andrej-malikov@yandex.ru
Тел.: +7 (4872) 33-23-10

Доктор технических наук, доцент. Заведующий кафедрой технологии машиностроения ФГБОУ ВПО «Тульский государственный университет». Сфера научных интересов – технологии зубообработки цилиндрических зубчатых колес, в том числе с круговыми зубьями. Автор 77 научных работ, 6 патентов, 7 методических пособий и учебника.

СИДОРКИН
Андрей Викторович

E-mail: alan-a@mail.ru
Тел.: +7 (4872) 33-23-10

Кандидат технических наук. Доцент кафедры технологии машиностроения ФГБОУ ВПО «Тульский государственный университет». Сфера научных интересов – технологии зубообработки цилиндрических зубчатых колес с круговыми зубьями. Автор 21 научной работы и 7 патентов.