

---

## ПРОБЛЕМЫ МАШИНОСТРОЕНИЯ

---

УДК 621.833:621.914

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ПРИ ОБРАБОТКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОПЕРАЦИЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДА СВОБОДНОГО ОБКАТА

П.А. Гудков (1), С.В. Хрипунов (2), А.М. Михалев (3)  
e-mail: KhSV45RU@mail.ru (1, 2), DrDrew@kgsu.ru (3)

Курганский государственный университет, г. Курган, Россия

Статья поступила 1 июня 2005 г.

В практике зубообработки в настоящее время достаточно широкое применение нашли технологические процессы изготовления зубчатых колес с использованием операций на основе метода свободного обката: шевингование, обкатка, зубохонингование. Данная технология обеспечивает высокую производительность обработки, однако не гарантирует стабильного достижения норм кинематической точности, определяющих работоспособность планетарных и делительных передач, точных кинематических цепей. Причиной низкой точности изготовления колес является наблюдающееся в ходе обработки методом свободного обката перераспределение радиальных и тангенциальных погрешностей зубчатого венца [1], в результате чего наблюдается снижение кинематической точности зубчатых колес до 3,7 раз. Для таких процессов в первую очередь целесообразно рассмотреть технологические операции зубофрезерования и шевингования, в процессе которых образуется основная доля кинематической погрешности (до 80 %) с преобладанием трудноустраняемой тангенциальной составляющей. Однако в известных исследованиях точности операции шевингования не приводятся общие закономерности изменения погрешностей зубчатых колес [2], что затрудняет разработку мероприятий по повышению точностной надежности технологических процессов зубообработки.

Анализ причин снижения кинематической точности зубчатых колес наиболее целесообразно проводить с учетом комплексного характера погрешностей венца. Согласно ГОСТ 1643–81, кинематическая погрешность зубчатого колеса может определяться совокупностью показателей: радиальным биением  $F_{rr}$  и колебанием длины общей нормали  $F_{vwr}$ . Данные эмпирические периодические функции, определяющиеся результатами измерений радиального биения и колебания длины общей нормали, при любом фиксированном значении аргумента можно представить в виде тригонометрических полиномов (рядов Фурье) [3]. В этом случае эмпирические кривые заменяются совокупностью гармонических составляющих с дискретными круговыми частотами. Амплитуды и начальные фазовые углы первой и последующих гармоник определяют соответственно величины и угловые положения векторов геометрических или кинематических эксцентриситетов и погрешностей формы венца.

На основе дифференцированного рассмотрения погрешностей зубчатых колес разработана структурная схема операций зубофрезерования и шевингования, описывающая формирование выходных параметров технологических операций при последовательно–параллельном действии основных связей между погрешностями и их технологическими источниками (рис. 1).

Применение методики гармонического анализа позволило установить основные закономерности формирования составляющих кинематической погрешности при зубофрезеровании и шевинговании зубчатых колес средних модулей ( $m=5$  мм,  $z=29$ ). Проведенная математическая

обработка экспериментальных данных не позволила установить достаточно тесных связей между амплитудно–фазовыми характеристиками геометрических и кинематических эксцентриситетов венца на исследуемых операциях при всех возможных их сочетаниях. Коэффициент наследования по амплитуде первой гармонической составляющей радиальных погрешностей близок к нулю ( $\approx 0,1$ ). Наследование погрешностей формы венца характеризуется явной зависимостью (до 0,65).

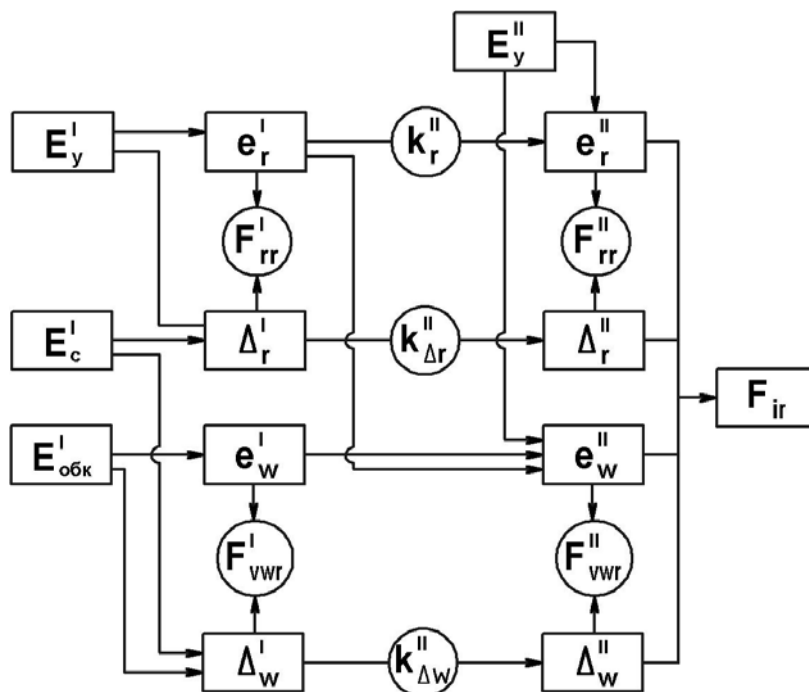


Рис. 1. Структурная схема технологических связей операций зубофрезерования и шевингования по параметрам кинематической точности зубчатых колес:

$E_y$  — погрешность установки детали в приспособлении;  $E_c$  — жесткость технологической системы;  $E_{обк}$  — погрешность цепи обката зубофрезерного станка;  $F_{ir}$  — кинематическая погрешность зубчатого колеса;  $e_r$ ,  $e_w$  — соответственно геометрический и кинематический эксцентриситеты;  $\Delta_r$ ,  $\Delta_w$  — соответственно радиальная и тангенциальная составляющие погрешности формы зубчатого венца;  $k$  — коэффициент технологической наследственности; I — индекс принадлежности к зубофрезерной технологической операции; II — индекс принадлежности к шевинговальной технологической операции.

Кинематическая погрешность зубчатых колес после зубофрезерования характеризуется преобладанием в ней радиальной составляющей, вызванной возникновением геометрического эксцентриситета венца вследствие погрешности установки детали в приспособлении. Структурные составляющие колебания длины общей нормали находятся в пределах 6—7 степени точности по ГОСТ 1643–81.

В настоящее время распространено мнение [2] о том, что радиальное биение зубчатого венца после проведения шевингования наследуется, в основном, от исходной погрешности. Однако, как показывают экспериментальные данные, даже при значительной величине исходного радиального биения венца колес (до 300 мкм) величина радиального биения после шевингования, измеренная в центрах станка, находится в пределах 5—20 мкм. Данная погрешность в отличие от исходного биения содержит незначительную по величине первую гармоническую составляющую, закономерность ее изменения — произвольная (рис. 2). Это свидетельствует о том, что источником ее образования является жесткость технологической системы.

Из результатов эксперимента следует, что между радиальным биением зубчатого венца колес до и после шевингования наследственная связь отсутствует. Такой вывод вполне соответствует сущности процесса шевингования, которое, являясь многопроходной операцией, достаточно эффективно устраняет большую часть исходных погрешностей, за исключением накопленных

шаговых. Контролируемое после шевингования радиальное биение венца имеет случайную по фазе и амплитуде первую гармонику, причиной которой является погрешность установки колес в приспособлении. Наблюдаемое на практике уменьшение радиального биения радиального биения венца шевингованных колес объясняется снижением в 1,3—1,5 раза радиальной погрешности формы зубчатого венца.

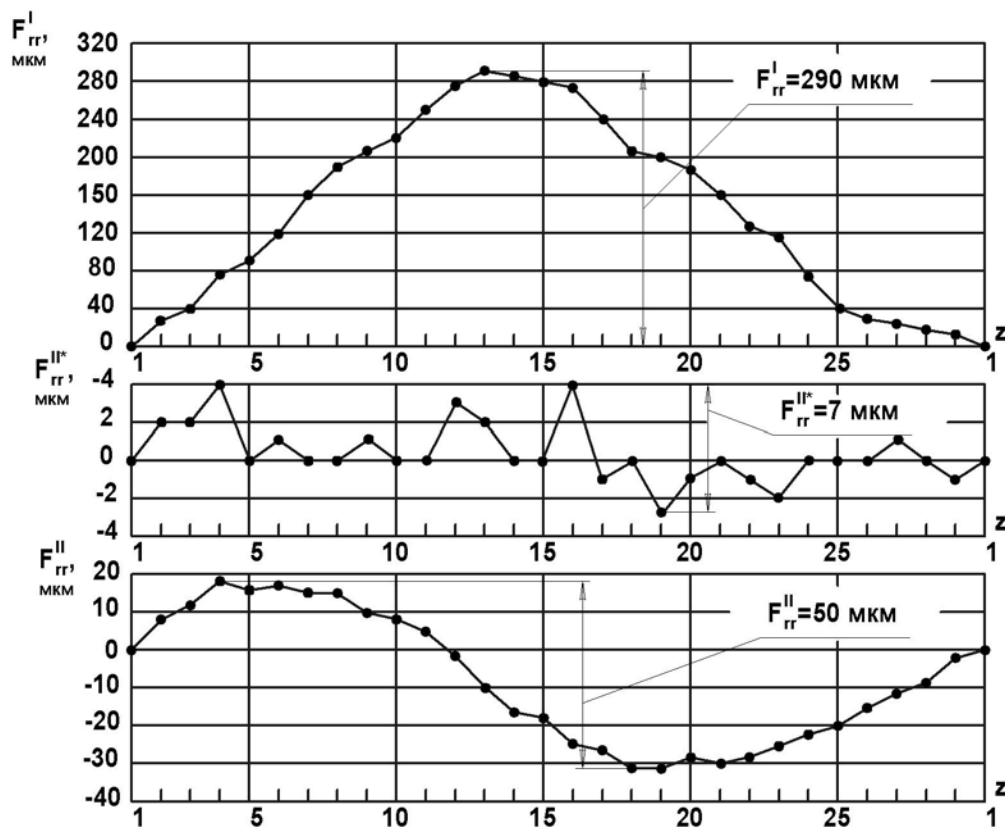


Рис. 2 — Изменение радиального биения зубчатого венца колеса при обработке:

$F_{rr}^I$  — радиальное биение зубчатого венца после зубофрезерования;  $F_{rr}^{II*}$  — радиальное биение зубчатого венца на технологической оси после шевингования;  $F_{rr}^{II}$  — истинное радиальное биение зубчатого венца после шевингования

Таким образом, на операции шевингования действуют два независимо существующих геометрических эксцентриситета: полученный при зубофрезеровании и вызванный погрешностью установки деталей в шевинговальном приспособлении. В процессе отделки зубчатых колес происходит их переход в кинематический эксцентриситет, чем вызывается высокая нестабильность значений колебания длины общей нормали.

## Заключение

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований установлены закономерности формирования составляющих кинематической погрешности зубчатых колес при их обработке с использованием операций на основе метода свободного обката. Полученные результаты позволяют установить пути повышения точности операций зубообработки и, следовательно, технологического процесса в целом.

## Список литературы

1. Тайц, Б.А. Точность и контроль зубчатых колес. М.: Машиностроение, 1972. — 369 с.
2. Кане, М.М. Статистический анализ изменения параметров точности цилиндрических зубчатых колес при шевинговании // Вестник машиностроения. — 1980. — № 5. — С. 24—27.
3. Прикладной анализ временных рядов. Основные методы / Р. Отнес, Л. Энксон: Пер. с англ. М.: Мир, 1982. — 428 с.