

283001, г. Донецк, ул. Артёма 58
ГОУ ВПО «Донецкий национальный
технический университет»,
диссертационный совет Д 01.014.02,
ученому секретарю Еронько С.П.

О Т З Ы В

официального оппонента на диссертацию Грубки Романа Михайловича на тему «Теоретические основы повышения точности обработки цилиндрических колес путем ориентированной многокоординатной пространственной модификации зубьев», представленную на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 05.02.08 – Технология машиностроения

Актуальность избранной темы.

Наиболее важным аспектом развития машиностроительной отрасли в современных условиях является создание конкурентоспособной продукции, обладающей высокими технико-экономическими показателями. Решение этой задачи непосредственно зависит от эффективной подготовки и организации производства и сборки качественной продукции, максимально отвечающей всем предъявляемым к ней техническим требованиям. От принятых решений при проектировании и постановке продукции на производство зависит выпуск новых (модернизированных, усовершенствованных) изделий, соответствующих требованиям потребителя по качеству и обеспечивающих предприятию положительный экономический эффект. Особенно актуальными эти вопросы являются при производстве основных деталей машин и механизмов, получивших широкое распространение во многих отраслях машиностроения. К таковым относятся зубчатые передачи различного назначения. Среди множества видов зубчатых передач наибольшее применение получили прямозубые и косозубые цилиндрические передачи.

С развитием техники и технологии производства требования к цилиндрическим зубчатым передачам по точности изготовления, нагрузочной способности, надёжности, и долговечности их эксплуатации постоянно повышаются. В связи с этим еще с 60-х годов прошлого века начались исследования возможности пространственной модификации зубьев цилиндрических колес с целью повышения эффективности их функционирования, в т. ч. способных компенсировать комплекс перемещений и поворотов, вызванных наличием погрешностей и деформаций элементов передач. Однако, данные исследования, как правило, были довольно разрозненными и направленными на решение каких-то узких локальных задач. При этом, до настоящего времени не была сформирована единая классификация видов модификаций элементов зубчатых венцов, не существовало единых методов определения параметров срезаемого слоя и описания геометрии поверхностей модифицированных зубьев, описания пространственной траектории движения режущего инструмента, способов формообразования модифицированных зубьев цилиндрических колес, закономерностей процесса формообразования и единых теоретических основ конструкторско-технологической подготовки производства и измерений изделий с пространственно-модифицированными зубчатыми венцами. При этом, указанные вопросы должны решаться исключительно с учетом необходимости обеспечения геометрической точности пространственно-модифицированных зубьев и повышения надежности, долговечности и нагрузочной способности указанных цилиндрических зубчатых передач.

Поэтому актуальность и своевременность диссертационного исследования Грубки Р.М., связанного с повышением точности многокоординатного фрезерования пространственно-модифицированных зубьев цилиндрических колес, зацепления на основе которых способны компенсировать комплекс перемещений, вызванных наличием погрешностей изготовления, монтажа и деформаций элементов зубчатых передач в процессе эксплуатации, заслуживает

ГОУ ВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Вх. № 10/121
« 27 » 04 20 10 г.

пространственного подхода к решению технологических задач и аналитического описания взаимосвязи элементов процесса формообразования, обоснованы научной и практической целесообразностью.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций.

Выносимые на защиту научные положения, выводы и рекомендации основаны на результатах современных и апробированных теоретических методов исследования и достаточного объема экспериментальных данных. Соблюдено единство задач исследования, защищаемых научных положений, выводов и рекомендаций.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается следующим:

- Значение для науки имеет научно обоснованный подход к синтезу внешнего и внутреннего пространственных зацеплений цилиндрических колес, компенсирующих комплекс погрешностей и деформаций элементов зубчатых передач на базе функционально-ориентированного конструкторско-технологического метода. Применение на практике таких зубчатых зацеплений позволяет повысить эксплуатационные характеристики цилиндрических передач за счет обеспечения линейного контакта зубьев и исключения кромочного контакта.

- Применение методики аппроксимации боковой поверхности зубьев сплайнами Безье позволяет сократить сроки выполнения этапов конструкторской и технологической подготовки производства пространственно-модифицированных зубчатых венцов за счет автоматизации работ с использованием современной компьютерной техники и пакетов прикладных программ.

Обоснованность такого подхода подтверждается тем, что относительная погрешность в определении координат не превышает 1%.

- Изложенные в работе рекомендации по разработке элементов технологического обеспечения позволяют проектировать технологические процессы изготовления зубчатых венцов цилиндрических колес, как с предложенной пространственной геометрией, так и с геометрией, приближенной к ней, в условиях всех типов производств.

- В работе приведены рекомендации по определению параметров для настройки зубофрезерных станков, что позволяет выполнять нарезание пространственно-модифицированных зубьев на существующем серийном оборудовании стандартным режущим инструментом.

- Предложенный автором способ формообразования с перемещением режущего инструмента по пространственной криволинейной траектории при зубофрезеровании пространственно-модифицированных зубьев цилиндрических колес методами копирования и обкатки приводит к повышению геометрической точности нарезания зубьев. При этом в основу решения данной задачи поставлена минимизация отклонения координат по толщине зуба, от их теоретических значений. Отклонение координат по толщине зуба составили:

- при обработке дисковой модульной фрезой - для специально спрофилированного РИ до 3%, для стандартного РИ – до 5%;

- при обработке червячной фрезой с перемещением РИ по пространственной траектории максимальное $\pm 9,3\%$; в пределах активной боковой поверхности зубьев - $\pm 6,3\%$.

- Разработанные автором алгоритмы назначения режимов обработки пространственно-модифицированных зубьев методом копирования позволяют снизить трудоемкость расчетных операций и имеют важное практическое значение.

- Результаты теоретических исследований согласуются с данными эксперимента, заключавшегося в обработке на универсальном оборудовании стандартным режущим инструментом зубчатого венца с пространственной модификацией зубьев заданной точности, что подтверждено результатами измерений с использованием способа 3-D сканирования и обработки результатов измерений в соответствии с предложенной соискателем методикой. Максимальное значение относительной погрешности экспериментально определенных координат по толщине зубьев не превышает 8%.

Обработка зубчатых колес нескольких типоразмеров и модулей выполнялась на машиностроительном предприятии ООО «ОЗЕРЯНОВСКИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ЗАВОД «ТЕХНОЛОГИЯ» (г. Горловка) в соответствии с представленной соискателем методикой настройки оборудования и определения режимов обработки.

Полученные результаты диссертационного исследования стали основой методик и рекомендаций, переданных для использования отделу главного технолога указанного предприятия и ряда других предприятий машиностроительной отрасли ДНР и Российской Федерации.

Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций.

Детальный анализ новых решений позволяет считать достоверными сформулированные соискателем научные положения:

- дальнейшее повышение надежности, долговечности и несущей способности цилиндрических зубчатых передач обеспечивается созданием пространственных зацеплений, компенсирующих комплекс погрешностей и деформаций, путем обеспечения линейного контакта между сопряженными зубьями;

- многокоординатное зубофрезерование пространственно-модифицированных зубьев цилиндрических колес позволяет минимизировать отклонения нарезаемого профиля зуба от теоретического профиля, тем самым повысить точность обработки за счет аналитического определения параметров взаимосвязи геометрии боковой поверхности зубьев, геометрии режущей кромки инструмента и параметров траектории относительного перемещения РИ в пространстве;

- решение пространственной задачи формообразования зубчатых венцов с пространственной геометрией зубьев методом копирования позволяет обеспечить постоянство параметров срезаемых слоев путем аналитического определения изменения значения подачи на зуб РИ в зависимости от кривизны траектории относительного перемещения РИ и геометрии его режущей кромки;

- аналитические зависимости, являющиеся решением пространственных задач формообразования зубчатых венцов с комплексной пространственной геометрией зубьев, которые позволяют автоматизировать расчеты, выполняемые в процессе технологической подготовки производства при определении параметров для настройки зубофрезерных станков;

- аналитические зависимости, позволяющие автоматизировать выполнение контроля точности изготовления пространственно-модифицированных зубчатых венцов с использованием современного цифрового оборудования.

Достоверность полученных результатов, сформулированных научных положений и выводов подтверждаются корректным использованием апробированных методов исследований, научных теорий, научных положений технологии машиностроения, теории резания, теории механизмов и машин, широким применением математического аппарата для решения теоретических задач исследования и обработки экспериментальных данных, применением компьютерного оборудования на базе прикладных пакетов прикладных программ, а также современных приборов и технологического оборудования.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается внедрением результатов исследования на действующих предприятиях машиностроительной отрасли, о чем свидетельствует наличие приведенных в приложениях диссертационной работы справок о внедрении разработанных методик в производство. Результаты работы внедрены в ООО «Донвентиллятор» (г. Ростов-на-Дону, Россия), ООО «Горловский энергомеханический завод» (г. Горловка, ДНР), ООО «НПО «Группа компаний машиностроения и приборостроения» (г. Брянск, Россия), АО «ФЕОДОСИЙСКИЙ ОПТИЧЕСКИЙ ЗАВОД» (г. Феодосия, Россия), ООО «ОЗЕРЯНОВСКИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ЗАВОД «ТЕХНОЛОГИЯ» (г. Горловка, ДНР).

Полученные результаты используются в учебном процессе в ГОУВПО «ДОННТУ» для подготовки студентов по направлению «Конструкторско-технологическое обеспечение

машиностроительных производств» и Филиале Ухтинского государственного технического университета в г. Усинске (Республика Коми, Россия).

При использовании кинематического метода для внешнего пространственного зацепления цилиндрических колес, получены обобщенные зависимости, описывающие геометрию боковой поверхности модифицированных зубьев с учетом наличия погрешностей и деформаций элементов передач. Такой подход в описании геометрических параметров стал основой для проектирования соединений цилиндрических зубчатых колес с пространственной модификацией зубьев (получено решение о выдаче патента Российской Федерации заявка № 2019104782/11(009044), что также свидетельствует о значимости и достоверности результатов исследования.

Положения диссертации широко представлены в 34-х публикациях, в т.ч. в рецензируемых научных изданиях и сборниках, входящих в международные наукометрические базы данных. Материалы исследования неоднократно обсуждались на различных научно-технических конференциях и семинарах и получили одобрение ведущих специалистов в области технологии машиностроения.

Замечания.

1. В разделе 1.3 достаточно большое внимание уделено зубчатым муфтам с различными модификациями зубьев. Следует ли из этого, что применение зубчатых венцов с пространственной модификацией зубьев более целесообразно именно для внутренних зацеплений с передаточным числом равным единице, нежели для цилиндрических внешнего зацепления?

2. При реализации предложенного способа обработки зубчатого колеса с модифицированными зубьями (стр. 131-133) методом копирования обработка одной впадины зуба выполняется за два прохода, что связано с особенностями структуры боковой поверхности рассматриваемых зубьев. Что фактически приводит к 2-х кратному увеличению основного времени на обработку зубчатого венца. Насколько это экономически оправдано?

3. Примеры аппроксимации координат точек профиля дисковой модульной фрезы с числом зубьев до 79 приведено в Приложении Г, более 79 – в Приложении Д. Так как порядок и методика определения координат являются подобными, нецелесообразно расширять и без того довольно объемную диссертационную работу аналогичными расчетами. Достаточно было привести один пример расчета и указать, что второй выполняется аналогично.

4. Следовало бы уточнить, в каком узле эксплуатируется зубчатая передача, для которой выполнялся расчет по профилированию зубчатого венца с пространственно-модифицированными зубьями (стр. 211). Исходя из каких условий задаются суммарные значения погрешностей изготовления, монтажа и перемещений, возникающих вследствие деформаций в процессе эксплуатации элементов этой зубчатой передачи?

5. На рис. 4.12 не указаны единицы измерения по осям x и y .

6. Учитывалась ли величина зазора между оправкой и посадочным отверстием шестерни при определении координат точек измеряемых поверхностей и масштабного коэффициента 3-D модели?

7. От каких поверхностей для обработки результатов сканирования необходимо было очистить STL файл модели, а какие поверхности при этом оставили?

8. В работе было бы целесообразно рассмотреть вопрос об ограничениях траектории относительного перемещения режущего инструмента, работающего по методу обкатки, в радиальном направлении для исключения явлений подрезания зубьев.

Заключение.

Представленная диссертационная работа Грубки Романа Михайловича обладает единством и логичностью изложения материала от анализа состояния проблемы и постановки задач, комплексного решения проблемы повышения точности многокоординатного фрезерования пространственно-модифицированных зубьев цилиндрических колес при обеспечении

возможности компенсировать комплекс перемещений, вызванных наличием погрешностей изготовления, монтажа и деформаций элементов зубчатых передач в процессе эксплуатации, за счет пространственного подхода к решению технологических задач и аналитического описания взаимосвязи элементов процесса формообразования до внедрения технических решений и разработанных методов в производственный процесс на промышленных предприятиях. Работа обладает научной новизной и практической ценностью, выводы и рекомендации обоснованы и достоверны. Автореферат в полной мере отражает основные результаты исследований.

По содержанию, оформлению, объему, научной новизне, практической ценности, широте освещения результатов в публикациях, важности и глубине решения задач - диссертационная работа соответствует критериям, установленным п. 2.1 «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор – Грубка Роман Михайлович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.08 - Технология машиностроения.

Официальный оппонент, доктор технических наук (специальности 05.02.08 - Технология машиностроения; 05.13.06 - Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (машиностроение), доцент, директор УНТИ ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», профессор кафедры «Автоматизированные технологические системы» ФГБОУ ВО БГТУ (Россия, 241035, г. Брянск, бульвар 50лет Октября д. 7 тел.: +7 910 293-62-96; E-mail: dipetreshin@yandex.ru)

Петрешин Д.И.

Согласен на автоматизированную обработку персональных данных

Петрешин Дмитрий Иванович

