

О Т З Ы В

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

1. Общие сведения о диссертации

Диссертационная работа Грубки Р.М. на тему «Теоретические основы повышения точности обработки цилиндрических колес путём ориентированной многокоординатной пространственной модификации зубьев» по поставленным целям, задачам исследований и содержанию полностью соответствует паспорту научной специальности 05.02.08 – «Технология машиностроения».

Диссертация состоит из введения, шести разделов, заключения, списка литературы, включающего 422 наименования и 11 приложений с промежуточными выводами по обобщённому описанию зубчатого пространственного соединения и определению суммарных величин погрешностей, примерами аппроксимации геометрии режущей кромки дисковой модульной фрезы, а также данными по профилированию зубьев с комплексной пространственной модификацией, в том числе с данными, полученными в результате теоретических расчётов параметров для настройки станка под нарезание зубчатых венцов с комплексной пространственной модификацией зубьев при перемещении режущего инструмента по пространственной и линейной траекториям, и данными измерительного эксперимента с результатами их обработки и документами, подтверждающими эффективность внедрения результатов выполненной работы. Общий объём диссертационной работы составляет 406 страниц, основной текст изложен на 291 странице и содержит 78 рисунков и 26 таблиц.

Основные положения диссертационного исследования опубликованы в 34 научно-технических работах, в том числе 13 статей опубликовано в ведущих рецензируемых изданиях ВАК ДНР, имеющих РИНЦ, 3 статьи в ведущих рецензируемых журналах ВАК России, 18 публикаций в материалах международных конференций и научно-технических сборниках. Диссертация прошла достаточно широкую апробацию на различного уровня научно-технических конференциях, симпозиумах и семинарах, тематика которых совпадает с основными направлениями исследований, представленных соискателем в работе.

Личный вклад соискателя в решение поставленных задач исследований бесспорный и состоит в том, что основная часть представленных результатов исследований выполнены им лично, о чём свидетельствуют ссылки на работы автора, а также содержание опубликованных научных статей. Принципиальные положения диссертационной работы соискателем опубликованы лично в ведущих рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК ДНР и России.

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Вх № 16/118
« 21 » 04 20 20 г.

2. Актуальность темы диссертационной работы

Диссертационная работа посвящена актуальной проблеме современного машиностроительного производства – повышению точности многокоординатного фрезерования зубьев цилиндрических колёс с пространственной модификацией зубьев, на основе которых передачи способны компенсировать комплекс возможных перемещений, вызванных наличием погрешностей изготовления, монтажа и деформаций элементов зубчатых передач в процессе их эксплуатации.

В настоящее время обеспечение заданных показателей надёжности, долговечности, нагрузочной способности зубчатой передачи осуществляется за счёт увеличения точности зубчатых колёс и элементов зубчатых передач, изготовлением элементов зубчатых передач из материалов с соответствующими физико-механическими характеристиками или изменением конструкции зубчатых колёс, в том числе модификацией боковой поверхности зубьев. При этом работоспособность зубчатых передач зависит от вида и величины возможных перемещений, которые вызваны наличием погрешностей их изготовления, монтажа и деформаций под действием нагрузки в процессе эксплуатации. Наличие таких погрешностей и деформаций приводит к пространственному характеру контактного взаимодействия зубьев в зацеплении. Компенсация негативного действия погрешностей и деформаций может быть осуществлена путём использования зубчатых колёс с пространственной модификацией зубьев, что, в свою очередь, приводит к необходимости совершенствования существующих или разработки новых технологий изготовления зубчатых колёс.

Зубчатые колёса достаточно сложны и трудоёмки в изготовлении, поэтому вопросам повышения производительности и точности их изготовления всегда уделялось большое внимание. Как показывают исследования и практика эксплуатации зубчатых передач, дальнейшее конструкторско-технологическое совершенствование цилиндрических зубчатых передач возможно при переходе к пространственному рассмотрению процессов, происходящих в реальном зацеплении с учётом эксплуатационных и конструкторско-технологических факторов, возникающих при формообразовании зубчатых венцов. Следует отметить, что развитие методов анализа процессов обработки зубчатых колёс затруднено сложностью геометрии самих изделий, геометрии используемого режущего инструмента, а также кинематики относительных движений инструмента и заготовки. Поэтому для широкого применения пространственных зацеплений цилиндрических колёс необходима разработка универсальных комплексных пространственных модификаций зубьев, использование универсального математического описания как самих геометрий модифицированных боковых поверхностей зубьев, так и процессов, происходящих во время формообразования зубчатых колёс. Решению этих вопросов посвящены исследования, выполненные соискателем Грубка Р.М., в связи с чем тема представленной диссертационной работы актуальна и соответствует перспективным направлениям исследований в области технологии машиностроения.

3. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций в диссертации обеспечивается чёткостью и последовательностью постановки задач исследований, путей их решения, направленных на достижение заданной точности изготовления пространственно-модифицированных зубьев цилиндрических колёс, компенсирующих комплекс погрешностей и деформаций элементов передач. Поставленный автором диссертации ряд задач обусловил широкое применение теоретических и экспериментальных исследований с использованием современных методик, оборудования и компьютерной техники. Поэтому научные положения, выводы и рекомендации, представленные в диссертационной работе, имеют высокую степень обоснованности.

Соискателем изучены и критически проанализированы известные достижения и теоретические положения других авторов, посвящённые вопросам создания прогрессивных технологий и элементов технологического обеспечения для повышения надёжности и долговечности цилиндрических зубчатых колёс и передач, о чём свидетельствует достаточно большой список использованных соискателем источников информации.

В диссертации соблюдено единство задач исследования, защищаемых научных положений, выводов и рекомендаций. При этом выводы логически вытекают из материалов исследований и в полном объёме отражают поставленные в диссертации задачи. Основные выводы представлены в 12 пунктах на страницах 287...291 рукописи диссертации. Обоснованность и достоверность сделанных выводов не вызывает сомнения, так как они базируются на теоретических и экспериментальных данных, полученных соискателем с применением современных методов исследования и оборудования.

Для решения поставленных в диссертации задач исследования и получения соответствующих результатов в представленной диссертационной работе был использован следующий комплекс методов, принципов и научных положений: основные положения и принципы технологии машиностроения, теории резания материалов, теории механизмов и машин, аналитической геометрии в пространстве и на плоскости; для решения тригонометрических уравнений и систем нелинейных уравнений были использованы методы численного поиска решений. Результаты теоретических исследований получены с приемлемой для практики точностью и подтверждены результатами экспериментальных исследований. Представленные в диссертации расчёты выполнены на персональном компьютере с применением пакетов прикладных программ и полностью подтвердили полученные автором результаты теоретических исследований, что также свидетельствует о высокой степени обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

4. Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций диссертационной работы

В целом научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертационной работе, достоверны, о чём свидетельствуют результаты экспериментальных исследований, а также приведённые в приложениях справки о внедрении в производство разработанных методик.

Достоверность полученных результатов исследований и обоснованность сделанных в диссертации выводов подтверждаются корректным использованием апробированных методов исследований и научных теорий, адекватностью разработанных моделей, применением современного математического аппарата, приборов и технологического оборудования, достаточной сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований, а также эффективностью внедрения результатов работы в производство на предприятиях ДНР и России.

Результаты выполненных исследований неоднократно обсуждались на различных научно-технических конференциях, симпозиумах и семинарах и получили одобрение ведущих специалистов в области технологии машиностроения.

5. Научная новизна и практическая ценность полученных результатов для науки и техники

Целью диссертационной работы является повышение точности многокоординатного фрезерования пространственно-модифицированных зубьев цилиндрических колёс, зацепления на основе которых способны компенсировать комплекс перемещений, вызванных наличием погрешностей изготовления, монтажа и деформаций элементов зубчатых передач в процессе эксплуатации за счёт пространственного подхода к решению технологических задач и аналитического описания взаимосвязи элементов процесса формообразования. Реализация этой цели определила научную новизну выполненной диссертационной работы, которая может быть сформулирована следующим образом:

1. Предложена методология синтеза внешнего и внутреннего зацеплений цилиндрических зубчатых колёс, отличающихся способностью компенсировать комплексное действие погрешностей изготовления и деформаций элементов зубчатых передач.

2. Предложен пространственный подход к решению задач формообразования цилиндрических колёс зубофрезерованием по методу копирования, отличающийся возможностью нарезать зубья с геометрией боковой поверхности, наиболее приближённой к теоретически рассчитанной, и позволяющий повысить геометрическую точность пространственно-модифицированных зубьев.

3. Разработана методика аналитического определения координат точек пространственной траектории относительного перемещения режущего инструмента, работающего по методу копирования, отличающаяся возможностью определять координаты узловых точек траектории относительного перемещения стандартного и специально спроектированного режущего инструмента в

зависимости от геометрии боковой поверхности зубьев и геометрии режущей кромки инструмента в процессе многокоординатной обработки зубчатых венцов цилиндрических колёс с пространственной модификацией зубьев на станках с ЧПУ.

4. Разработана методика определения параметров срезаемого слоя при многокоординатном зубофрезеровании методом копирования, отличающаяся пространственным подходом к решению задачи формообразования зубьев цилиндрических колёс.

5. Предложен пространственный подход к решению задач формообразования зубьев цилиндрических колёс зубофрезерованием по методу обкатки, отличающийся перемещением червячной фрезы в процессе формообразования зубьев по пространственной траектории, что позволяет нарезать зубья с геометрией боковой поверхности наиболее приближённой к теоретически рассчитанной.

6. Разработана методика аналитического определения координат точек пространственной траектории относительного перемещения режущего инструмента, работающего по методу откатки, отличающаяся привязкой точек элементов зубчатого колеса с пространственно-модифицированными зубьями к началу координат абсолютной системы координат и определением их истинных значений и позволяющая повысить геометрическую точность пространственно-модифицированных зубьев.

Практическую ценность выполненной диссертационной работы составляют разработанные соискателем методы и способы повышения точности обработки цилиндрических колёс путём ориентированной многокоординатной пространственной модификации зубьев, на основе которых предлагается выполнять конструкторскую и технологическую подготовку производства. Соискателем разработан поэтапный функционально-ориентированный конструкторско-технологический подход к повышению надёжности, долговечности и нагрузочной способности цилиндрических зубчатых передач с пространственно-модифицированными зубьями, что, по существу, представляет собой жизненный цикл изделия. Необходимые для практического осуществления такого подхода сведения представлены соискателем в виде детально проработанных методик. Используя их, становится возможным по заданным исходным данным и техническим требованиям к изделию выполнять необходимые расчёты для изготовления зубчатых венцов с пространственно-модифицированными зубьями в условиях любых типов производства. При этом реализация разработанного в диссертации функционально-ориентированного конструкторско-технологического подхода позволяет на практике осуществлять как сквозное, так и итерационное проектирование цилиндрических зубчатых колёс с пространственно-модифицированными зубьями, способных компенсировать комплекс погрешностей и деформаций элементов передач. Изложенные в работе рекомендации по разработке элементов технологического обеспечения процесса нарезания цилиндрических зубчатых колёс позволяют проектировать технологические процессы их изготовления как с предложенной соискателем пространственной геометрией зуба, так и с геометрией, приближённой к ней, что существ-

венно расширяет практическую ценность выполненной диссертационной работы.

Важным моментом для подтверждения практической ценности результатов выполненных в диссертации исследований является наличие значительного количества актов их внедрения на машиностроительных предприятиях Донбасса и России, представленных в приложениях.

6. Полнота изложения в опубликованных трудах основных результатов диссертации и апробация. Язык и стиль диссертации

Анализ опубликованных соискателем научных трудов свидетельствует о достаточной полноте освещения основных положений диссертационной работы в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК ДНР и ВАК России. Представленный в автореферате список работ, опубликованных автором по теме диссертации, даёт основание сделать вывод о том, что полученные соискателем научные результаты исследования достаточно полно освещены в публикациях в профессиональных журналах и научных трудах по технологии машиностроения.

На стр. 52 в подразделе 1.3.4 «Пространственная модификация боковой поверхности зубьев» соискателем выдвинута рабочая гипотеза о том, что оптимальным для работы цилиндрических зубчатых колёс и втулок зубчатых муфт является реализация пространственного зацепления за счёт такой геометрии зубьев, которая соответствует естественному их износу в процессе работы. Изучение содержания диссертации показало, что выдвинутая соискателем гипотеза стала единым стержнем всей диссертационной работы.

Материал диссертации структурирован, изложен логически чётко, последовательно, на высоком профессиональном уровне, написан на понятном языке с использованием терминологии, принятой в исследуемой области знаний, и хорошо иллюстрирован. Последовательность изложения материала создаёт целостное представление о содержании диссертации и подчёркивает аргументированность сделанных автором выводов, положений и формулировок. По главам и по работе в целом сделаны соответствующие выводы, адекватно отражающие полученные научные и практические результаты и законченность решений по каждой поставленной задаче исследований.

Основные результаты выполненной диссертационной работы являются содержательными и вносят определённый вклад в область науки о технологии машиностроения. Содержание диссертации соответствует её названию и поставленной цели исследования. Рукопись диссертации и автореферат оформлены в целом грамотно согласно установленным нормам. Автореферат диссертации, представленный на 44 страницах, достаточно полно отображает сущность выполненной диссертационной работы, её научные положения, результаты и выводы.

С поставленными научными задачами диссертант полностью справился, а представленная им диссертационная работа соответствует критерию завершенности, так как в ней решена актуальная проблема повышения точности обработки цилиндрических колёс путём ориентированной многокоординатной про-

пространственной модификации зубьев, что имеет важное народнохозяйственное значение.

7. Замечания по диссертационной работе

В целом, представленная диссертационная работа не имеет принципиальных недостатков, которые могли бы повлиять на положительную оценку выполненных исследований. Однако, на мой взгляд, по работе имеются некоторые замечания и рекомендации.

1. Автор диссертации теоретические и экспериментальные исследования провёл на прямозубых цилиндрических колёсах, используемых в зубчатых муфтах, но не показал, как изменятся результаты исследований или насколько приемлемы результаты выполненных исследований, например, для косозубых колёс, о которых он упомянул на стр. 186 диссертации.

2. К сожалению, в диссертации не дано пояснение, в чём заключается «функциональная ориентированность» при реализации функционально-ориентированного конструкторско-технологического подхода, исходя из известных на сегодняшний день принципов проектирования функционально-ориентированных технологий.

3. На стр. 169 соискатель указывает на то, что для описания прямолинейного участка режущей кромки стандартного инструмента используется сплайн Безье 1-го порядка, для описания двух криволинейных участков – сплайны Безье 3-го порядка, а для описания всей режущей кромки использует сплайны 5-го порядка, однако при этом не даёт обоснования принятому подходу.

4. Автор диссертации предлагает выполнять оценку точности получения координат боковой поверхности зубьев с пространственной модификацией при многокоординатной обработке методом обкатки червячной фрезой сравнением теоретически определённого профиля с полученным в результате нарезания, но без учёта деформаций элементов системы СПИД (стр. 209, 230). Возникает вопрос: на сколько достоверной будет такая оценка, так как на реально обработанный профиль зуба с большой вероятностью будут влиять погрешности от этих деформаций?

5. В разделе 4.3.3 «Определение параметров пространственной траектории относительного перемещения режущего инструмента при нарезании зубчатого венца с комплексной пространственной модификацией зубьев» следовало бы дать более подробное пояснение, из-за чего наблюдается рост величины относительной погрешности при отклонении угла наклона траектории относительного перемещения режущего инструмента от расчётного значения при обработке по методу обкатки, о чём свидетельствует график на рис. 4.10.

6. Сведения о количественной оценке полученных результатов сравнения экспериментальных данных и теоретически полученных значений толщины зубьев (стр. 284 – 285) целесообразно было бы привести не только в «Приложении Л», но и в тексте диссертации в виде иллюстративного материала, например, в виде графиков.

7. Методика определения параметров траектории относительного перемещения режущего инструмента предполагает их уточнение, последовательное приближение исходной траектории к такой, при которой геометрические параметры зубьев будут наиболее приближёнными к теоретически рассчитанным. К сожалению, в диссертации не рассмотрен критерий определения количества таких последовательных приближений.

8. В работе целесообразно было бы выполнить оценку изменения производительности процесса формообразования зубчатых венцов с пространственно-модифицированными зубьями при перемещении режущего инструмента по криволинейной траектории при постоянной и переменной подаче на зуб, показав при этом как устраняемые погрешности по толщине зуба влияют на другие показатели зацепления и в какой зависимости они находятся от модуля колёс и передаточного отношения.

9. В работе следовало бы дать подробный анализ того, как устраняемые погрешности по толщине зуба влияют на другие показатели зацепления, в частности, на такие традиционные показатели, как кинематическая погрешность передачи, суммарное пятно контакта, плавность работы передачи. При этом следовало бы показать значимость снижения погрешностей для повышения надёжности и точности зацепления (стр. 15, заключение).

10. На рисунках 1.15, 1.16 и 1.23 непонятно назначение указанных позиций, так как они не описаны в подрисуночных надписях и на них отсутствуют ссылки в тексте диссертации.

11. В тексте диссертации нет ссылок на таблицы, представленные в приложениях, вследствие чего они оказываются как бы оторванными от содержания диссертации.

12. В автореферате на стр. 9, 12, 13, 15 и 23 схемы выполнены очень мелким шрифтом, вследствие чего их трудно читать.

8. Заключение по диссертационной работе

Изучение рукописи диссертации, автореферата и публикаций свидетельствует о том, что диссертационная работа Грубки Романа Михайловича на тему «Теоретические основы повышения точности обработки цилиндрических колёс путём ориентированной многокоординатной пространственной модификации зубьев» является завершённой и целостной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена научная проблема повышения точности многокоординатного фрезерования пространственно-модифицированных зубьев цилиндрических колёс, способных в зацеплении компенсировать комплекс перемещений, вызванных наличием погрешностей изготовления, монтажа и деформаций элементов зубчатых передач в процессе эксплуатации за счёт пространственного подхода к решению технологических задач и аналитического описания взаимосвязи элементов процесса формообразования. Решение этой проблемы имеет важное народнохозяйственное значение.

Тема диссертации актуальна, а полученные диссертантом научные результаты обладают научной новизной и практической значимостью, вносят су-

щественный вклад в развитие науки и практики в области технологии машиностроения. Основные результаты диссертационного исследования внедрены в современное машиностроительное производство и используются в учебном процессе в Донецком национальном техническом университете.

Выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, обоснованы теоретически и экспериментально, прошли необходимую апробацию в научной печати и на профильных научных конференциях, симпозиумах и семинарах.

Анализ содержания автореферата свидетельствует о том, что он полностью отражает содержание выполненной диссертационной работы, её основные положения и выводы и соответствует требованиям ВАК ДНР, предъявляемым к докторским диссертациям.

Содержание диссертации полностью соответствует паспорту специальности 05.02.07 – Технология машиностроения. Отмеченные недостатки и замечания по диссертационной работе не являются принципиальными и в большинстве своём носят рекомендательный характер. Многие из них обусловлены широтой поставленных автором диссертации цели и задач исследований, связанных с решением проблемы повышения точности обработки цилиндрических колёс путём ориентированной многокоординатной пространственной модификации зубьев.

Считаю, что представленная диссертационная работа на тему «Теоретические основы повышения точности обработки цилиндрических колёс путём ориентированной многокоординатной пространственной модификации зубьев» по своему содержанию, актуальности, научной новизне, объёму выполненных исследований, а также научной и практической значимости полностью соответствует требованиям п. 2.1 «Положения о присуждении учёных степеней» ВАК ДНР, а её автор – Грубка Роман Михайлович заслуживает присуждения ему учёной степени доктора технических наук по специальности 05.02.08 - Технология машиностроения.

Официальный оппонент, доктор технических наук (специальность 05.02.08 – Технология машиностроения), профессор, профессор кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУВО «Донской государственной технической университет» (Россия, 344003, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1, тел.: +7-928-600-57-61, E-mail: butenkowiktor@yandex.ru)

Бутенко В.И.

Согласен на автоматизированную обработку персональных данных

Бутенко Виктор Иванович

Подписи д-ра техн. наук, проф. Бутенко Виктора Ивановича удостоверяю

Учёный секретарь Учёного совета ДНТУ

В.Н. Анисимов

