

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

**Заключение диссертационного совета Д ПНИПУ.05.18  
по диссертации Ворожцовой Натальи Андреевны  
на соискание ученой степени кандидата технических наук**

Диссертация «Технологическое обеспечение и повышение качества зубчатых колес на основе совмещенной обработки зубьев шлифовально-полировальным червячным кругом» по специальности 2.5.6. Технология машиностроения принята к защите «23» ноября 2022 г. (протокол заседания №8) диссертационным советом Д ПНИПУ.05.18, созданным по приказу ректора Пермского национального исследовательского политехнического университета от «05» октября 2022 г. № 93-О в рамках реализации предоставленных ПНИПУ прав, предусмотренных абзацами вторым – четвертым пункта 3.1 статьи 4 Федерального закона от 23 августа 1996 г. № 127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике» на основании распоряжения Правительства Российской Федерации от 23 августа 2017 г. № 1792-р.

Диссертация выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, на кафедре «Инновационные технологии машиностроения».

**Научный руководитель** Макаров Владимир Фёдорович, доктор технических наук (05.03.01 – Технология и оборудование механической и физико-механической обработки), профессор, профессор кафедры «Инновационные технологии машиностроения» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

**Официальные оппоненты:**

1. Носенко Владимир Андреевич, доктор технических наук (05.03.01 – Технология и оборудование механической и физико-механической обработки) профессор, заведующий кафедрой «Технология и оборудование машиностроительных производств» Волжского политехнического института

(филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский технический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

2. Киселев Евгений Степанович, доктор технических наук (05.02.08 – Технология машиностроения и 05.03.01 – Технология и оборудование механической и физико-механической обработки), профессор, профессор кафедры «Инновационные технологии в машиностроении» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ульяновский государственный технический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, г. Пенза. Отзыв ведущей организации утвержден 27.12.2022г. проректором по научной работе и инновационной деятельности, Васиным Сергеем Михайловичем, доктором экономических наук, профессором, заслушан и одобрен на заседании кафедры «Технологии и оборудование машиностроения» 29.11.2022г. (протокол № 4) и подписан Зверовщиковым Александром Евгеньевичем, доктором технических наук (05.02.08 – Технология машиностроения, 05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки), доцентом, заведующим кафедрой «Технологии и оборудование машиностроения». Подпись д.т.н., доцента Зверовщикова А.Е. удостоверена Ученым секретарем Ученого совета ПГУ Дорофеевой Ольгой Станиславовной.

Отмечено, что диссертационная работа соответствует паспорту специальности 2.5.6. Технология машиностроения, отвечает требованиям, предъявляемым диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук в пунктах 9 – 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. за №842 с учетом дополнений от 28.08.2017 г. Содержит выводы и результаты, позволяющие квалифицировать их, как решение научной задачи, имеющей значение для развития соответствующей отрасли знаний, а ее автор Ворожцова Наталья Андреевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6. Технология машиностроения.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается областью их компетентности, научной деятельностью по специальности 2.5.6. Технология машиностроения, их известностью своими достижениями в данной отрасли науки, наличием публикаций в соответствующей сфере исследования,

глубокими профессиональными знаниями и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

На автореферат и диссертацию поступило 11 отзывов:

1. Кугультинов Сергей Данилович д.т.н., (05.02.08 - Технология машиностроения) профессор, профессор кафедры «Технология производства систем вооружения» Ижевского государственного технического университета им. М.Т. Калашникова г.Ижевск.
2. Ингеманссон Александр Рональдович к.т.н. (05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки), главный технолог АО «ФНПЦ «Титан-Баррикады» г. Волгоград.
3. Коряжкин Андрей Александрович д.т.н. (2.5.5. Технология и оборудование механической и физико-технической обработки), генеральный директор АО «Новые инструментальные решения» г. Рыбинск.
4. Тамаркин Михаил Аркадьевич д.т.н. (05.02.08 – Технология машиностроения), профессор, заведующий кафедрой «Технология машиностроения. ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» г.Ростов-на-Дону.
5. Базров Борис Мухтарбекович д.т.н. (05.02.08 - Технология машиностроения), профессор, заведующий лабораторией теории модульной технологии ФГБУН ИНМАШ РАН им. А.А. Благонравова г. Москва.
6. Леонов Сергей Леонидович д.т.н. (05.02.08 – Технология машиностроения), профессор, профессор кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» г. Барнаул.
7. Угринов Вадим Юрьевич к.т.н. (05.02.08 – Технология машиностроения), заместитель Генерального директора по авиационной технике АО «Концерн Кизлярский электромеханический завод» г. Кизляр.
8. ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет им. Академика С.П. Королева» в лице Хаймович Александра Исааковича д.т.н., доцента, заведующего кафедрой «Технологии производства двигателей» и Скуратова Дмитрия Леонидовича д.т.н., (05.02.08 - Технология машиностроения) профессора, профессора кафедры «Технологии производства двигателей». г.Самара.
9. ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» в лице Чигиринского Юлия Львовича д.т.н. (05.02.08 – Технология машиностроения; 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами), профессора, заведующего кафедрой «Технология машиностроения» и Агапова Сергей Ивановича д.т.н. (05.02.07 –

Технология и оборудование механической и физико-технической обработки), профессора, профессора кафедры «Технология машиностроения» г. Волгоград.

10. Киречек Андрей Викторович д.т.н. (05.02.08 – Технология машиностроения), профессор по кафедре «Инструментальное производство», проректор по перспективному развитию ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет» г. Брянск.

11. Зубарев Юрий Михайлович д.т.н. (05.02.08 – Технология машиностроения), профессор, заслуженный работник высшей школы РФ, профессор-консультант АО «Центр Технологии судостроения и судоремонта» г. Санкт-Петербург.

12. Козлов Александр Михайлович д.т.н. (05.03.01 – Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки и 05.02.08 – Технология машиностроения), профессор, заведующий кафедрой «Технология машиностроения» ФГБОУ «Липецкий государственный технический университет» г. Липецк.

Все полученные отзывы положительные, а указанные недостатки не являются принципиальными или определяющими, и в целом не снижают высокой оценки работы. Во всех отзывах отмечено, что диссертационная работа является полным, законченным исследованием, соответствует п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, соответствует требованиям раздела 2 «Порядка присуждения ученых степеней в ПНИПУ» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», принятого на заседании Ученого совета ПНИПУ, протокол №3 от 25 ноября 2021 г. и утвержденного ректором ПНИПУ 09.12.2021 г. приказ №4334-В. А ее автор Ворожцова Н.А. заслуживает присуждение ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6. Технология машиностроения.

По теме диссертации соискателем опубликовано 12 научных трудов, из них 3 в ведущих рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем научных трудах.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Ворожцова, Н.А. Обеспечение качества зубчатого венца цилиндрических колес при обработке комбинированным шлифовально-полировальным червячным кругом / Н.А. Ворожцова, А.С. Горбунов, В.Ф. Макаров // Наукоемкие технологии в машиностроении. – 2019. – №2. – С. 22–28. DOI:

10.30987/article\_5c486cc16b81f0.62003791.

*Соискателем изложены: теоретическое обоснование применения нового технологического процесса совмещенной обработки зубьев шлифовально-полировальным червячным кругом для авиационных колес высокой степени точности с шероховатостью эвольвентных поверхностей  $Ra \leq 0,16$  мкм; методическое обеспечение и результаты исследования качества зубчатого венца: геометрическая точность, шероховатость, остаточные напряжения, микротвердость и микроструктура.*

2. Макаров, В.Ф. Обработка зубчатых колес сборными шлифовально-полировальными кругами / В.Ф. Макаров, Н.А. Ворожцова, М.В. Песин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2020. – №1. – С. 79–87. DOI:10.15593/2224-9877-2020.1.09.

*В публикации соискателем представлены результаты проведения экспериментальных исследований по установлению взаимосвязи величины шероховатости эвольвентных поверхностей зубьев от режимов резания: радиальной и продольной подачи шлифовально-полировального червячного круга.*

3. Повышение технологических возможностей метода непрерывного обкатного зубошлифования / Н.А. Ворожцова, А.С. Горбунов, В.Ф. Макаров, Е.Н. Колганова // Вестник брянского государственного технического университета – 2021. – №5 (102). – С. 15–22. DOI:10.30987/1999-8775-2021-5-15-22.

*В статье соискателем приведены данные о повышении технологических возможностей метода непрерывного обкатного зубошлифования с помощью шлифовально-полировального круга при значительном повышении производительности процесса.*

**Диссертационный совет отмечает,** что на основании выполненных соискателем исследований:

**разработан** современный более производительный технологический процесс совмещенной обработки цилиндрических зубчатых колес редукторов вертолетов с применением шлифовально-полировального червячного круга при повышении качества эвольвентных поверхностей зубьев и геометрической точности зубчатого венца;

**выявлена** экспериментальная математическая зависимость величины шероховатости эвольвентных поверхностей зубьев от радиальной и продольной подачи при обработке шлифовально-полировальным червячным кругом;

**предложены** рациональные режимы резания при обработке шлифовально-полировальным червячным кругом, обеспечивающие требуемую шероховатость и отсутствие термических трещин и прижогов эвольвентных поверхностей зубьев при повышении точности зубчатого венца;

**установлено**, что предложенные рациональные режимы резания и правки шлифовально-полировального круга не вызывают термических трещин и прижогов, позволяют сформировать требуемые параметры качества поверхностного слоя эвольвентных поверхностей зубьев: остаточные напряжения сжатия, требуемые величину микротвердости и микроструктуру;

**доказана** перспективность использования разработанного технологического процесса совмещенной обработки зубьев шлифовально-полировальным кругом для цилиндрических зубчатых колес, в том числе авиационного назначения.

**Теоретическая значимость исследования** обоснована тем, что:

**выявлена** новая эмпирическая зависимость величины шероховатости эвольвентных поверхностей зубьев от радиальной и продольной подач в процессе совмещенной обработки шлифовально-полировальным червячным кругом, при этом определяющее влияние имеет радиальная подача;

**установлено**, что распределение припуска с уменьшением радиальной подачи уменьшает площадь пятна контакта между профилем зуба и витком червячного круга, что обеспечивает плавное снижение шероховатости;

**изучены** проблемы обеспечения качества эвольвентных поверхностей цилиндрических колес и повышения производительности, а также способы решения данных проблем;

**раскрыты** технологические возможности интенсификации процесса непрерывного обкатного зубошлифования на основе совмещенной обработки сборным шлифовально-полировальным червячным кругом;

**изложена** методика по установлению рациональных режимов совмещенной обработки зубьев шлифовально-полировальным червячным кругом и исследованию качества поверхностного слоя эвольвентных поверхностей зубьев.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики** подтверждается тем, что:

**разработан и внедрен** технологический процесс совмещенной обработки зубьев шлифовально-полировальным червячным кругом на рациональном режиме обработки взамен существующего технологического процесса с последовательными операциями зубошлифования и зубохонингования, обеспечивающий: отсутствие шлифовочных трещин и прижогов на обработанных поверхностях, снижение величины шероховатости эвольвентных поверхностей зубьев, улучшение степени точности по нормам кинематической точности, плавности и контакта, а также повышение производительности в 2,5 раза. Внедрение результатов исследования документально подтверждено актом внедрения на АО «Редуктор-ПМ». Кроме того, результаты исследований

используются в учебном процессе в дисциплинах «Технологические процессы в машиностроении», «Процессы и операции формообразования» и «Резание материалов» в ФГАОУ ВО «ПНИПУ».

Результаты диссертационного исследования Ворожцовой Н.А. рекомендуется использовать на машиностроительных предприятиях при производстве высокоточных цилиндрических зубчатых колес.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:**

- для экспериментальных работ использовалось современное высокоточное технологическое и измерительное оборудование и установки, метрологически аттестованные и поверенные измерительные приборы;
- стандартные и доработанные методики исследования точности и параметров качества поверхностного слоя эвольвентных поверхностей зубьев;
- установлена воспроизводимость результатов при достаточном числе измерений при реализации предложенного технологического процесса;
- теория базируется на известных научных подходах, основных положениях теории машиностроения, теории шлифования, инженерии поверхности, материаловедения;
- установлено соответствие авторских результатов с известными данными из независимых источников по тематике исследования;
- использованы методы статистической обработки экспериментальных данных;
- для моделирования при теоретических исследованиях использованы лицензионное программное обеспечение Kisoft, Siemens NX, КОМПАС.

**Личный вклад соискателя состоит в:**

- проведении теоретического анализа современного состояния вопроса в исследуемой области;
- формулировании цели и задач диссертации;
- проведении теоретического обоснования и разработке процесса совмещенной обработки зубьев шлифовально-полировальным червячным кругом;
- моделировании пятна контакта;
- разработке методики проведения экспериментальных исследований;
- установлении эмпирической математической зависимости шероховатости боковой поверхности зубьев от радиальной и продольной подач;
- проведении комплекса экспериментальных исследований;
- выполнении обработки полученных данных с применением методов математической статистики и их обобщение;
- разработке технологических рекомендаций для внедрения процесса совмещенной обработки зубьев шлифовально-полировальным червячным кругом;
- подготовке докладов и их защите на конференциях.

Диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация

представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. за №842 с учетом дополнений от 26.09.2022 г., соответствует требованиям раздела 2 «Порядка присуждения ученых степеней в ПНИПУ» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», принятого на заседании Ученого совета ПНИПУ, протокол №3 от 25 ноября 2021 г. и утвержденного ректором ПНИПУ 09.12.2021 г. приказ №4334-В.

В работе содержится решение актуальной научной и производственной задачи технологического обеспечения и повышения качества эвольвентных поверхностей зубьев цилиндрических зубчатых колес, имеющей значение для повышения безопасности полетов вертолетов.


На заседании «27» января 2023г. диссертационный совет Д ПНИПУ.05.18 принял решение присудить Ворожцовой Наталье Андреевне ученую степень кандидата технических наук (протокол заседания № 2).

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 12 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 16 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за присуждение ученой степени – 12, против присуждения ученой степени – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель диссертационного совета Д ПНИПУ.05.18,

доктор технических наук  
доцент



 Модорский Владимир Яковлевич

Ученый секретарь диссертационного совета Д ПНИПУ.05.18,

доктор технических наук,  
профессор



Свирщев Валентин Иванович

« 27 » 01 20 23 г. м.п.