

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке Пермского  
национального исследовательского  
политехнического университета,  
доктор физико-математических наук, доцент



\_\_\_\_\_ А.И. Швейкин

\_\_\_\_\_ 2022 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного автономного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»  
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации

Диссертация «Технологическое обеспечение и повышение качества зубчатых колес на основе совмещенной обработки зубьев шлифовально-полировальным червячным кругом» выполнена на кафедре «Инновационные технологии машиностроения» соискателем Ворожцовой Натальей Андреевной.

В период подготовки диссертации соискатель Ворожцова Наталья Андреевна работала в службе главного технолога АО «Редуктор-ПМ» в должности ведущего специалиста-технолога по режущему инструменту.

В 2015 году Ворожцова Наталья Андреевна окончила федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» по направлению подготовки 151900.68 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств.

В 2021 году окончила аспирантуру заочной формы обучения федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пермского национального исследовательского политехнического университета» по направлению 15.06.01 Машиностроение (период обучения 01.10.2016 -01.07.2021).

Научный руководитель – Макаров Владимир Федорович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Инновационные технологии машиностроения» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермского национального исследовательского политехнического университета».

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

1. Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации:

Автором лично проведен теоретический анализ современного состояния вопроса в исследуемой области и сформулированы цель и задачи диссертации, проведено теоретическое обоснование и разработка процесса совмещенной обработки зубьев шлифовально-полировальным червячным кругом, моделирование и расчет пятна контакта, разработана методика проведения экспериментальных исследований. Установлена эмпирическая математическая зависимость шероховатости боковой поверхности зубьев от радиальной и продольной подач. Проведен комплекс экспериментальных исследований и выполнена обработка полученных данных с применением статистической обработки результатов и их обобщение. Разработаны технологические рекомендации для внедрения совмещенной обработки шлифовально-полировальным червячным кругом, подготовлены доклады и их защита на конференциях.

2. Научная новизна диссертационного исследования заключается:

– Впервые на основе моделирования и экспериментальных исследований разработан более производительный в сравнении с существующим технологический процесс совмещенной обработки цилиндрических зубчатых колес редукторов вертолетов с применением червячного шлифовально-полировального круга.

– Установлены рациональные режимы совмещенной обработки шлифовально-полировальным червячным кругом, определяющие площадь

пятна контакта, что позволило обосновать распределение припуска для плавного снижения шероховатости за четыре шлифовальных и один полировальный проходы червячного круга.

– Установлена экспериментальная математическая зависимость величины шероховатости эвольвентных поверхностей зубьев от радиальной и продольной подач червячного круга, позволяющая обеспечить требуемую величину шероховатости эвольвентных поверхностей зубьев  $Ra \leq 0,16$  мкм при повышении точности профиля зубчатого венца на 1 – 2 степени.

– Экспериментально установлено, что технологический процесс совмещенной обработки шлифовально-полировальным червячным кругом на рациональных режимах резания не вызывает образования термических трещин и прижогов, позволяет сформировать благоприятные параметры качества поверхностного слоя зубьев цилиндрических колес: остаточные напряжения сжатия, требуемую величину микротвердости и микроструктуру.

3. Степень достоверности результатов проведенных исследований обусловлена корректной постановкой задач, применением современного экспериментального оборудования и математического аппарата с использованием методов статической оценки погрешностей измерений и результатами экспериментальных исследований.

4. Теоретическая и практическая значимость диссертационной работы заключается в том, что установлены закономерности и взаимосвязи величины шероховатости боковых поверхностей зубьев от радиальных и продольных подач червячного круга. Установлено, что наибольшее влияние на шероховатость боковой поверхности зубьев имеет радиальная подача червячного круга. Доказано, что распределение припуска с уменьшением радиальной подачи уменьшает площадь пятна контакта профиля зуба и червячного круга, что обеспечивает постепенное бесприжоговое снижение шероховатости обработанной поверхности зуба. Доказано, что новый технологический процесс совмещенной обработки шлифовально-

полировальным червячным кругом на рациональных режимах резания, не вызывает образование термических трещин и прижогов, позволяет сформировать благоприятные параметры качества поверхностного слоя зубьев цилиндрических колес: остаточные напряжения сжатия, требуемую величину микротвердости и микроструктуру

Практическая значимость диссертационной работы заключается в возможности использования результатов исследований во всех областях машиностроения при изготовлении высокоточных цилиндрических зубчатых колес. На АО «Редуктор-ПМ» переданы результаты исследований и внедрен технологический процесс совмещенной обработки зубьев шлифовально-полировальным червячным кругом, обеспечивающий повышение качества авиационных зубчатых колес и увеличение производительности. Разработана конструкция и установлены параметры шлифовально-полировального червячного круга, обеспечивающего точность зубчатого венца, шероховатость эвольвентных поверхностей зубьев и высокую производительность обработки. Разработана конструкция и параметры правящего полнопрофильного алмазного ролика, обеспечивающие модифицированную геометрию профиля зубчатого венца без дополнительной слесарной операции полирования радиусов зубьев. Внедрение результатов диссертации в производственный процесс документально подтверждено. За время работы над диссертацией Ворожцова Наталья Андреевна стала лауреатом стипендии Правительства Российской Федерации за значительный вклад и создание прорывных технологий и разработку современных образцов вооружения, военной и специальной техники в интересах обеспечения обороны страны и безопасности государства.

Результаты исследований применяются в учебном процессе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» при подготовке студентов по дисциплинам «Технология машиностроения» и «Резание материалов». Результаты работы использованы

при выполнении Государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (N FSNM-2020-0026).

5. Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем

По теме диссертационной работы Ворожцовой Натальи Андреевны опубликовано 12 научных работ, в том числе 3 в ведущих рецензируемых изданиях. Основные положения и результаты работы отражены в публикациях, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук:

1. Обеспечение качества зубчатого венца цилиндрических колес при обработке комбинированным шлифовально-полировальным червячным кругом. / Н.А. Ворожцова, А.С. Горбунов, В.Ф. Макаров // Научно-технические технологии в машиностроении. - 2019. №2. - С. 22-28. (7 стр. / 5стр.)

*Личный вклад Ворожцовой Н.А. заключается в теоретическом и экспериментальном обосновании применения нового технологического процесса совмещенной обработки шлифовально-полировальным червячным кругом для авиационных зубчатых колес высокой степени точности с шероховатостью боковых поверхностей зубьев  $Ra \leq 0,16$  мкм. Разработке методического обеспечения, и проведения сравнительных экспериментальных исследований параметров качества боковых поверхностей цилиндрических зубчатых колес, а именно шероховатости, микроструктуры, микротвердости и остаточных напряжений. Результатами экспериментальных исследований доказано, что ступенчатое распределение припуска по циклам с уменьшением радиальной подачи и уменьшением пятна контакта между витком червячного круга и боковой поверхностью зуба при совмещенной обработке на рациональных режимах не вызывает образование термических трещин и прижогов.*

2. 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. (7стр. /4 стр.).

*Личный вклад Ворожцовой Н.А. заключается в разработке методического обеспечения, проведении экспериментальных исследований и установлении закономерности и взаимосвязи величины шероховатости от радиальных и продольных подач шлифовально-полировального червячного круга. На основании которых, Ворожцовой Н.А. получена математическая модель шероховатости боковой поверхности зуба от радиальной и продольной подачи.*

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. (8 стр./5 стр.)

*Личный вклад Ворожцовой Н.А. заключается в разработке методического обеспечения экспериментального исследования с определением абразивных характеристик шлифовальной и полировальной частей червячного круга по установлению рациональных режимов для каждого цикла обработки шлифовально-полировального червячного круга. Проведены экспериментальные исследования, позволяющие увеличить производительность финишных операций в 2,5 раза, при обеспечении точности и зубчатого венца и шероховатости боковых поверхностей зубьев  $Ra \leq 0.1$  мкм.*

6. Соответствие содержания диссертации специальности, по которой она рекомендуется к защите

Диссертационное исследование соответствует формуле специальности 2.5.6. Технология машиностроения паспорта специальностей ВАК РФ в областях исследования:

п. 2. Технологические процессы, операции, установки, позиции, технологические переходы и рабочие хода, обеспечивающие повышение качества изделий и снижение их себестоимости.

п. 3. Математическое моделирование технологических процессов и методов изготовления деталей и сборки изделий машиностроения.

п. 4. Совершенствование существующих и разработка новых методов обработки и сборки с целью повышения качества изделий машиностроения и снижения себестоимости их выпуска.

п. 5. Методы проектирования и оптимизации технологических процессов.

п. 7. Технологическое обеспечение и повышение качества поверхностного слоя, точности и долговечности деталей машин.

п. 9. Методы и средства повышения производительности изготовления изделий машиностроения.

7. Соответствие диссертационной работы требованиям, «Положения о присуждении ученых степеней», «Порядка присуждения ученых степеней в ПНИПУ».

Диссертация ФИО отвечает требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842, требованиям «Порядка присуждения ученых степеней в ПНИПУ», предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Диссертационная работа Ворожцовой Натальи Андреевны представляет собой оригинальное исследование с корректным указанием ссылок на источники заимствования используемых научных и экспериментальных материалов. Автор корректно ссылается на научные работы, выполненные лично и в соавторстве

Диссертация «Технологическое обеспечение и повышения повышение качества зубчатых колес на основе совмещенной обработки зубьев шлифовально-полировальным червячным кругом» Ворожцовой Натальи Андреевны рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6. Технология машиностроения.

Заключение принято на заседании кафедры «Инновационные технологии машиностроения» ФГАОУ ВО «Пермского национального исследовательского политехнического университета».

Присутствовало на заседании 28 чел. Результаты голосования: «за» – 28 чел., «против» – 0 чел., «воздержались» – 0 чел., протокол №3 от 13.10.2022г.

Заведующий кафедрой «Инновационные  
технологии машиностроения» ФГАОУ ВО «ПНИПУ»  
профессор, д-р техн. наук



/Карманов Вадим Владимирович/

Секретарь кафедры «Инновационные  
технологии машиностроения»



/Фатыкова Альфия Зуфаровна/