

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Ворожцовой Натальи Андреевны «Технологическое обеспечение и повышение качества зубчатых колес на основе совмещенной обработки шлифовально-полировальным червячным кругом», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6 Технология машиностроения

Актуальность темы исследования

Обеспечение надежности и долговечности прецизионных авиационных деталей путем совершенствования инновационной технологии окончательных операций является важной и актуальной задачей. В данной диссертационной работе рассматривается тема технологического обеспечения и повышения качества эвольвентных поверхностей зубчатых колес на основе совмещенной обработки шлифовально-полировальным червячным кругом.

Структура и содержание

Диссертационная работа изложена на 134 страницах машинописного текста и состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников и приложений, содержит 64 рисунка, 19 таблицы и 63 формулы. Список литературы состоит из 113 наименований, в том числе, 23 на английском языке.

Во введении раскрыта актуальность темы диссертационного исследования, определены цель и задачи исследования, представлены научная новизна, теоретическая и практическая значимость, положения, выносимые на защиту.

В первой главе дан анализ конструкторских, технологических, эксплуатационных требований, предъявляемых к производству авиационных цилиндрических колес. Выявлены проблемы обеспечения заданной точности зубчатого венца и шероховатости эвольвентных поверхностей. Проведен анализ научно-технической литературы, передового производственного опыта зубообрабатывающих предприятий по методам финишной обработки зубьев цилиндрических зубчатых колес с выделением следующих критериев: шероховатости, геометрической точности, обеспечения бесприжогового шлифования обработанной поверхности и производительности процесса. Рассмотрено влияние режимов шлифования на шероховатость обработанной поверхности сложного эвольвентного профиля. Приведены теоретические и экспериментальные формулы определения шероховатости. Рассмотрен метод совмещенной обработки шлифовально-полировальным червячным кругом. Несмотря на преимущества такой технологии обработки, в научной литературе практически отсутствует информация о режимах резания, обеспечивающих требуемое качество поверхностного слоя.

Во второй главе представлен теоретический анализ процесса непрерывного шлифования, произведено моделирование зацепления,

построение и расчет площади пятна контакта между эвольвентной поверхностью зуба и витком червячного круга с учетом изменяющихся режимов резания. Показано, что изменение величин радиальной и продольной подач влияет на площадь пятна контакта, установлена степень влияния этих подач. Полученные результаты позволили высказать гипотезу об аналогичном влиянии радиальной и продольной подачи на величину шероховатости эвольвентной поверхности. Обосновано применение совмещенной технологии обработки шлифовально-полировальным червячным кругом.

В третьей главе показаны методические особенности исследования точности зубчатого венца, шероховатости, остаточных напряжений, микротвердости и микроструктуры поверхностей зубьев. Разработана методика и проведены сравнительные исследования параметров качества поверхностного слоя эвольвентных поверхностей зубьев, обработанных по серийному технологическому процессу и совмещенной обработки шлифовально-полировальным червячным кругом. Приведены характеристики технологического оборудования, лабораторного оборудования и приборов, правящего и режущего инструмента. С использованием полного факторного эксперимента разработана математическая модель влияния радиальной и продольной подач на шероховатость эвольвентных поверхностей зубьев в цикле зубополирования.

Четвертая глава посвящена экспериментальным исследованием и анализу результатов. Установлено, что наибольшее влияние на величину шероховатости профиля зуба при совмещенной обработке шлифовальной и полировальной частями червячного круга оказывает радиальная подача. Сравнительный анализ показал, что совмещенная обработка шлифовально-полировальным кругом на рациональных режимах обеспечивает 1 – 1 – 1 степень точности: радиальное биение 3,8 мкм, погрешность профиля 1,6 мкм, погрешность направления 3,2 мкм, шероховатость эвольвентных поверхностей зубьев 0,09 мкм, шлифовочные прижоги, термические трещины не обнаружены. Микроструктура, микротвердость, остаточные напряжения эвольвентных поверхностей, полученные методом совмещенной обработки шлифовально-полировальным червячным кругом, соответствуют результатам, достигнутым на образцах эвольвентных поверхностей, производительность возросла в 2,5 раза.

Передача технологических рекомендаций и внедрение результатов исследований подтверждены актами внедрения на АО «Редуктор-ПМ».

В результате решена актуальная производственная и научная задача технологического обеспечения и повышения качества эвольвентных поверхностей зубьев зубчатых колес при повышении производительности их обработки, что имеет большое значение для повышения безопасности эксплуатации вертолетов.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность результатов обеспечена корректной постановкой задач, применением современного экспериментального оборудования и математического аппарата с применением методов статистической обработки результатов.

Научная новизна

1. Разработан более производительный, в сравнении с существующим, технологический процесс совмещенной обработки цилиндрических зубчатых колес редукторов вертолетов с применением червячного шлифовально-полировального круга.

2. Определены рациональные режимы совмещенной обработки шлифовально-полировальным червячным кругом. На основе разработанных математических моделей влияния режимов на площадь пятна контакта даны рекомендации о разделении общего припуска на четыре шлифовальных и один полировальный проходы.

3. 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 существенном повышении точности профиля зубчатого венца.

4. Показано, 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.

Практическая значимость:

1. Разработаны и переданы на предприятии АО «Редуктор-ПМ» технологические рекомендации по совмещенной обработке шлифовально-полировальным червячным кругом цилиндрических зубчатых колес с целью повышения качества обработанной поверхности и производительности процесса.

2. Разработана параметры шлифовально-полировального червячного круга, обеспечивающие точность зубчатого венца, шероховатость эвольвентных поверхностей зубьев и высокую производительность обработки.

3. Разработана конструкция и параметры правящего полнопрофильного алмазного ролика, обеспечивающие модифицированную геометрию профиля зубчатого венца без дополнительной слесарной операции полирования радиусов зубьев.

4. На АО «Редуктор-ПМ» внедрен технологический процесс совмещенной обработки червячным шлифовально-полировальным кругом на рациональном режиме обработки взамен серийного технологического

процесса с последовательными операциями зубошлифования и зубохонингования, обеспечивающий:

– снижении шероховатости эвольвентных поверхностей зубьев с до $Ra=0,09$ мкм;

– повышение степени точности зубчатого венца в 2 раза: достигнута степень точности 1 – 1 – 1, согласно DIN 3962 при требуемой 5 – 4 – 4 согласно ГОСТ 1643-81.

– увеличении производительности финишных операций в 2,5 раза.

5. Результаты исследований применяются в учебном процессе по дисциплинам «Технологические процессы в машиностроении», «Процессы и операции формообразования», «Резание материалов» в ФГАОУ ВО «ПНИПУ».

Замечания по диссертации и автореферату

1. В научной новизне: (с. 8, п. 1) уточнение "впервые" при изложении основных положений научной новизны применять не рекомендуется; (с. 8, п. 3) целесообразно уточнить, что экспериментальная математическая зависимость ... установлена при обработке червячным **шлифовально-полировальным** кругом.

2. В практической значимости (с.9, п. 1) соискатель недостаточно обосновано утверждает, что «Установлена возможность использования результатов исследования во всех областях машиностроения ...».

3. Во всех пунктах заголовка «Положения, выносимые на защиту» (с. 11) лишним является первое слово. Например: «**Определены** рациональные режимы для каждого цикла совмещенной обработки шлифовально-полировальным червячным кругом».

4. Формула $Ra=0,18Rz$ (1.7) дана без ссылки на автора (с. 43).

5. Площадь пятна контакта получена для абсолютно гладких поверхностей без учета распределения, например, вершин зерен на рабочей поверхности абразивных инструментов.

6. Автор не анализирует влияние на точность зубчатого венца одного из основных показателей процесса – износа абразивного инструмента.

7. Весьма скромно описана методика измерения остаточных напряжений.

8. Ошибки в терминологии: шлифовальная часть (характеристика шлифовального круга); для полирования (характеристика полировального круга); чистота поверхности (шероховатость поверхности); меняются местами «зернистость» и «размер абразивных зерен». Ошибки в размерности физических величин, например, подача: $S_{рад}=0,0854$ мм. **Подача (по ГОСТ 25762-83)** – отношение расстояния, пройденного рассматриваемой точкой режущей кромки или заготовки вдоль траектории этой точки в движении подачи, к соответствующему числу циклов или определенных долей цикла другого движения во время резания или к числу определенных долей цикла этого другого движения.

Отмеченные замечания не являются принципиальными и не снижают ценности выполненного исследования. Часть из них следует рассматривать в качестве возможных направлений продолжения исследований.

Соответствие содержания диссертации указанной специальности

Работа соответствует паспорту специальности 2.5.6 Технология машиностроения в пунктах:

п.3. Установлена экспериментальная математическая зависимость величины шероховатости эвольвентных поверхностей зубьев от радиальной и продольной подач червячного круга, позволяющая обеспечивать требуемую величину шероховатости эвольвентных поверхностей зубьев при повышении точности профиля зубчатого венца;

п.4. Разработан, более производительный в сравнении с существующим, технологический процесс совмещенной обработки цилиндрических зубчатых колес с применением червячного шлифовально-полировального круга;

п.7. 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;

п.9. 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.

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации.

Заключение

Диссертация «Технологическое обеспечение и повышение качества зубчатых колес на основе совмещенной обработки шлифовально-полировальным червячным кругом», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по 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., 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 №3443-В, а ее автор Ворожцова Наталья Андреевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6 Технология машиностроения.

Заведующий кафедрой
«Технология и оборудование машиностроительных производств»
доктор технических наук по специальности
05.03.01 Процессы механической и
физико-технической обработки, станки и инструмент,
профессор
Носенко Владимир Андреевич

Волжский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Волгоградский
технический университет» Адрес: 404130, г. Волжский, Волгоградская обл.,
ул. Энгельса 42-а Адрес электронной почты: nosenko@volpi.ru,
vladim.nosenko2014@yandex.ru.
Телефон: 8-904-403-31-74

10.01.23

Подпись Носенко
УДОСТОВЕРЯЮ
Канцелярия Салункова Л.В.