

ФГБОУ ВО «Рыбинский
государственный авиационный
технический университет
им. П.А. Соловьева»
(РГАТУ им. П.А. Соловьева)
152934, Российская Федерация,
Ярославская область, г. Рыбинск,
ул. Пушкина, д. 53

Тел.: 8 (4855) 280-470.
E-mail: rector@rsatu.ru

УТВЕРЖДАЮ
проректор по науке и
цифровой трансформации
ФГБОУ ВО «Рыбинский
государственный авиационный
технический университет
им. П.А. Соловьева»,
(кандидат технических наук, доцент



А.Н. Сутягин
« 5 » сентября 2023 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Подашева Дмитрия Борисовича
«Повышение эффективности обработки сложнопрофильных и длинномерных
деталей из алюминиевых и титановых сплавов эластичными полимерно-
абразивными инструментами», представленную на соискание ученой степени
доктора технических наук по специальностям
2.5.6 – Технология машиностроения и 2.5.5 – Технология и оборудование
механической и физико-технической обработки

1. Актуальность темы диссертационной работы

Диссертация Подашева Д.Б. посвящена разработке и реализации науко-
емкой ресурсосберегающей технологии, что является неотъемлемой частью
научно-технического прогресса.

В диссертации и автореферате соискателем убедительно доказано, что в
отечественном авиастроении (а именно в конструкции фюзеляжа наиболее
перспективного российского авиалайнера МС-21) имеется большое количество
дорогостоящих, сложнопрофильных, крупногабаритных и длинномерных
деталей из алюминиевых и титановых сплавов, на которых необходимо
проводить отделочно-зачистные операции. При этом, существующие и широко
применяемые методы механической обработки (шлифование, лезвийная
обработка, виброабразивная обработка и т.п.) не всегда позволяют
гарантировать получение заданных размеров, точности формы и
шероховатости, что связано с износом инструментов, их засаливанием,
погрешностями базирования, низкой жесткостью заготовок и т.п. Особенно
остро данные проблемы проявляются именно для вышеописанных деталей, при
скруглении кромок, обработке криволинейных поверхностей, пазов и т.п.

В связи с этим, использование эластичных полимерно-абразивных
инструментов является наиболее перспективным, позволяет компенсировать
погрешности базирования, износ инструмента, колебательные явления и
обеспечивать стабильное качество обработанных поверхностей и кромок.

При этом существенной проблемой является недостаточная изученность
процесса обработки такими инструментами, отсутствуют соответствующие
теоретические и экспериментальные исследования по определению

показателей производительности процесса, качества и точности формы обработанных поверхностей и кромок во взаимосвязи с особыми физико-механическими свойствами эластичных полимерно-абразивных инструментов, силовыми и температурными характеристиками процесса обработки, а также геометрическими особенностями обрабатываемых деталей, отсутствуют практические рекомендации по применению данной разновидности инструмента.

Именно решению этих вопросов и посвящена диссертация соискателя.

Учитывая вышеизложенное, диссертация представляет практический и научный интерес, а ее тема является актуальной.

2. Структура и основное содержание работы

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, словаря основных условных обозначений, списка литературы и семи приложений. Диссертация изложена на 447 страницах (включая 7 приложений), содержит 225 рисунков и 133 таблицы; список литературы включает 383 наименования.

Введение содержит обоснование актуальности решаемой проблемы, описание цели и задач исследований, направленных на ее достижение, информацию о научной новизне работы, ее теоретической и практической значимости, степени достоверности и апробации результатов работы, личном вкладе соискателя, а также научных положениях, выносимых на защиту.

В первой главе диссертации представлен анализ производства деталей каркаса самолета МС-21 и выявлена широкая номенклатура деталей из алюминиевых и титановых сплавов, на которой необходимо выполнять отделочно-зачистные операции, а именно обработку поверхностей и кромок. Доказано, что наиболее целесообразным способом выполнения данных операций является обработка эластичными полимерно-абразивными инструментами. Кроме того, выполнен критический анализ текущего состояния вопроса в данной области и установлено отсутствие возможностей прогноза численных значений показателей производительности и качества обработанных поверхностей и кромок с учетом геометрических особенностей обрабатываемых деталей, свойств обрабатываемого материала и специфических свойств полимерно-абразивных инструментов, а также режимов обработки. Доказана актуальность работы, а также сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе автором установлено, что для выполнения поставленной цели работы по повышению производительности процесса и обеспечению требуемого качества поверхностей и кромок сложнопрофильных длинномерных деталей из алюминиевых и титановых сплавов, необходима разработка соответствующей технологической операции, базирующейся на результатах научных исследований процесса обработки эластичным полимерно-абразивным инструментом. Представлена общая методика проведения исследований, реализация которой позволяет определять оптимальные инструменты и режимы обработки, а также обоснована необходимость создания совокупности математических моделей: режущей поверхности инструмента и его взаимодействия с обрабатываемой

поверхностью и кромкой; процесса обработки поверхностей эластичными полимерно-абразивными кругами и торцевыми щетками, обработки кромок радиальными и торцевыми полимерно-абразивными щетками. Обоснован выбор оборудования и инструментов, необходимых для проведения экспериментальной части работы, спроектированы опытные образцы, учитывающие конструктивные особенности крупногабаритных, сложнопрофильных и длинномерных авиационных деталей.

В третьей главе всесторонне решена задача контактного взаимодействия различных эластичных полимерно-абразивных инструментов с обрабатываемой поверхностью и кромкой, исследованы особые физико-механические свойства эластичных полимерно-абразивных инструментов, определены макропараметры взаимодействия, которые зависят от геометрических особенностей обрабатываемых поверхностей и кромок, а также определены силы резания, которые являются исходными данными для определения показателей производительности процесса и качества обработанной поверхности и кромки.

Четвертая глава посвящена комплексному исследованию технологической операции обработки поверхностей эластичными полимерно-абразивными инструментами и разработке математических моделей процесса обработки, которые учитывают геометрические особенности обрабатываемых поверхностей, а также микро- и макропараметры взаимодействия инструментов и детали и позволяют выявить закономерности результатов обработки от особых физико-механических свойств инструментов, сил резания, а также режимов обработки. Разработаны алгоритм и программа на ЭВМ, предназначенные для оптимизации зачистки поверхностей и позволяющие выбрать экономически выгодные режимы обработки, при которых обеспечиваются все требования к качеству поверхностного слоя.

В пятой главе приведены результаты исследований технологического процесса скругления кромок деталей радиальными и торцевыми полимерно-абразивными щетками. Разработаны математические модели процесса обработки кромок радиальными и торцевыми полимерно-абразивными щетками, учитывающие геометрические особенности обрабатываемых кромок, а также физико-механические свойства обрабатываемого материала, характеристики полимерно-абразивных щеток, силы резания и режимы обработки. Разработаны алгоритм и программа на ЭВМ, предназначенные для оптимизации процесса обработки кромок и позволяющие выбрать экономически выгодные режимы обработки, при которых обеспечиваются все требования к размеру и качеству обработанных кромок.

В шестой главе приведено описание разработанного алгоритма проектирования технологической операции финишной обработки поверхностей и кромок полимерно-абразивными инструментами. Рассмотрены примеры обработки проблемных поверхностей и кромок (труднодоступные участки, овальные отверстия, поверхности и кромки, закругленные по наружному и внутреннему радиусу), а также рассчитаны необходимые параметры обработки эластичным полимерно-абразивным инструментом, учитывающие геометрические особенности обрабатываемых участков,

особенности контактного взаимодействия инструмента и детали, нестационарность состояния рабочей поверхности инструмента, что позволяет вести обработку каждого участка оптимальным инструментом на оптимальных режимах, а также разрабатывать в производственных условиях эффективные технологии финишной обработки для подобных поверхностей и кромок. Все технологические рекомендации подробно описаны и проиллюстрированы конкретными примерами, схемами и фотографиями процесса обработки. Кроме того, произведен расчет экономического эффекта от внедрения предложенных технологий при серийном производстве самолета МС-21 на Иркутском авиационном заводе – филиале ПАО «Корпорация «Иркут».

По каждой главе и в целом по работе автором сделаны обоснованные выводы, обобщающие результаты теоретических и экспериментальных исследований.

Диссертация имеет внутренне единство, написана грамотным и легко читаемым литературно-техническим языком, основные положения работы аргументированы и понятны. Работа снабжена достаточным количеством корректно оформленного иллюстративного материала. Структура и содержание работы соответствует цели и задачам исследований.

3. Научная новизна результатов диссертационной работы

Новыми и значимыми для науки и машиностроительной отрасли, являются перечисленные ниже результаты, полученные в диссертации.

1. Решена задача контактного взаимодействия эластичных полимерно-абразивных инструментов с обрабатываемой поверхностью и кромкой, в основу которой положено определение микропараметров взаимодействия с помощью разработанных методик оценки микрорельефа эластичных полимерно-абразивных кругов, радиальных и торцевых полимерно-абразивных щеток в рабочем состоянии, а также определение макропараметров взаимодействия с учетом геометрических особенностей обрабатываемых поверхностей и кромок.

2. Установлено доминирующее влияние жесткостных и вязко-упругих свойств связки эластичных полимерно-абразивных кругов, изменения размеров и положения центров тяжести ворсин (при обработке радиальными полимерно-абразивными щетками), скоростей и направлений действия ворсин (при обработке торцевыми полимерно-абразивными щетками) на силовые и температурные характеристики процесса обработки.

3. Разработаны теоретические положения процесса обработки поверхностей и кромок эластичными полимерно-абразивными инструментами, позволившие установить:

- взаимосвязи показателей производительности процесса обработки и качества обработанной поверхности (шероховатость, остаточные напряжения) с силами резания, особыми физико-механическими свойствами эластичных полимерно-абразивных кругов (жесткость, время восстановления после деформирования, масса деформированного материала круга), режимами обработки и геометрическими особенностями обрабатываемых поверхностей;

- закономерности формирования кромки по размеру и точности формы при нестационарности положения обрабатываемых поверхностей (наличие горизонтальных и наклонных участков, закругленных по внутреннему и наружному радиусам кромок) от особых свойств абразивосодержащих ворсин (плотность материала, модуль упругости на изгиб, момент инерции), угла расположения радиальной полимерно-абразивной щетки и положения оси торцевой полимерно-абразивной щетки относительно обрабатываемой кромки, а также площади сегмента торцевой полимерно-абразивной щетки, взаимодействующего с обрабатываемой кромкой;

4. Экспериментально установлена зависимость износа эластичных полимерно-абразивных инструментов от режимов обработки (скорости резания и деформации инструмента), а также от времени работы, что позволяет прогнозировать момент выхода деформации инструмента за пределы допустимых значений, своевременно вводить корректировку и обеспечивать стабильное качество обрабатываемых поверхностей и кромок длинномерных деталей.

4. Достоверность результатов и обоснованность выводов

Достоверность научных положений и выводов диссертации Подашева Д.Б. подтверждается применением системного подхода к решению поставленных задач, согласованием результатов теоретических исследований и экспериментальных данных, полученных с использованием современного металлообрабатывающего оборудования, измерительных средств и методик, применением статистических методов обработки данных, а также успешной промышленной апробацией полученных технологий и рекомендаций. Решения о внедрении полученных результатов на Иркутском авиационном заводе – филиале ПАО «Научно-производственная корпорация «Иркут», а также в учебный процесс ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», подтверждены соответствующими актами, представленными в приложении к диссертации.

5. Практическая значимость полученных результатов

1. Разработан алгоритм проектирования технологической операции финишной обработки эластичными полимерно-абразивными инструментами.

2. Созданы алгоритмы и программы оптимизации процессов зачистки плоскостей и скругления кромок эластичными полимерно-абразивными кругами и щетками.

3. Предложены технологические рекомендации по обработке труднодоступных поверхностей и кромок сложнопрофильных, крупногабаритных и длинномерных деталей из алюминиевых и титановых сплавов эластичным полимерно-абразивным инструментом, учитывающие особенности контактного взаимодействия инструмента и детали и необходимость управления режимами обработки в связи с различной конфигурацией обрабатываемых участков.

4. Предложен проект экспериментального оборудования с ЧПУ, в котором предусмотрена одновременная эффективная обработка кромок длинномерных деталей двумя эластичными полимерно-абразивными щетками.

6. Значимость полученных автором диссертации результатов для развития соответствующей отрасли науки

В диссертационной работе Подашева Д.Б. предложено научно-обоснованное решение актуальной проблемы технологического обеспечения высокой производительности процесса и требуемого качества поверхностей и кромок сложнопрофильных, крупногабаритных и длинномерных деталей летательных аппаратов из алюминиевых и титановых сплавов при автоматизированной обработке эластичными полимерно-абразивными инструментами, что имеет важное хозяйственное значение, а также высокую значимость для технических наук и отрасли машиностроения в целом в предметной области механической обработки и инструментального производства.

7. Опубликование и апробация основных результатов диссертации

Основные теоретические и прикладные результаты диссертации опубликованы в 55 научных работах, из которых 2 монографии, 28 статей в изданиях из перечня ВАК РФ, 17 статей в ведущих рецензируемых научных журналах, входящих в наукометрические базы данных Web of Science или Scopus, 1 патент на изобретение, 2 патента на полезную модель, 2 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ. Основные положения диссертации докладывались автором на 15 международных и всероссийских научно-технических конференциях. Опубликованные работы в полной мере отражают содержание диссертации. Публикации соискателя по теме диссертации соответствуют установленным требованиям.

8. Соответствие диссертации и автореферата паспортам научных специальностей

Содержание диссертации и автореферата соответствуют областям исследования паспорта научной специальности 2.5.6 - «Технология машиностроения» по п. 2 «Технологические процессы, операции, установки, позиции, технологические переходы и рабочие ходы, обеспечивающие повышение качества изделий и снижение их себестоимости» и п. 7 «Технологическое обеспечение и повышение качества поверхностного слоя, точности и долговечности деталей машин», а также областям исследования паспорта научной специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки» по п. 2 «Теоретические основы, моделирование и методы экспериментального исследования процессов механической и физико-технической обработки, включая процессы комбинированной обработки с наложением различных физических, химических и комбинированных воздействий» и п. 6 «Исследование влияния режимов обработки на силы резания, температуру, стойкость инструмента и динамическую жесткость

оборудования».

В целом, диссертационная работа и автореферат соискателя Подашева Д.Б. по структуре и оформлению соответствует установленным требованиям.

9. Замечания по диссертации

1. Как формируется размерность расчетов согласно формуле 3.66 и 3.67, если по формуле 3.54 должен присутствовать множитель πn , связанный с частотой вращения щетки.

2. Размерность величины $S_{пл}$ в формуле 3.53 [$м^3$], а в формуле 3.60 [$м^2$]. Как понимать?

3. Согласно табл. 3.5 и рис. 3.10 жесткость ворса инструмента является существенно нелинейной в зависимости от деформации ворса. В работе нет обоснования возможности использования линейной модели для расчетов жесткости. Также возникает вопрос, как будет меняться жесткость при износе ворса щетки.

4. При расчете силы резания единичного абразивного зерна необходима величина математического ожидания глубины внедрения абразивных зерен в обрабатываемый материал. Как она определялась. Каково влияние на эту величину соседних зерен? Сколько режущих зерен на единице площадки контакта с заготовкой?

5. Уравнение баланса механической и тепловой энергии на с. 166 не учитывает отвод тепла в обрабатываемую поверхность и стружку, как принято в теории шлифования. Неясно, как определялась интенсивность источника тепла q_0 и как обеспечен баланс энергии.

6. Каким методом решалась оптимизационная задача согласно структуре алгоритма, представленного на рис. 5.51, при наличии нескольких целевых функций. Из каких соображений при оптимизации параметров процесса обработки назначалась глубина деформации ворса щетки. Как учитывалась неравномерность распределения припуска по обрабатываемой поверхности?

7. Как разработанные математические модели могут способствовать проектированию конструкций новых полимерно-абразивных инструментов, которые могут обеспечивать повышение производительности и качества обработки?

8. При исследованиях применялись полимерно-абразивные щетки иностранного производства. Что автором сделано для перехода на отечественные инструменты. Как на рынке предлагаемого полимерно-абразивного инструмента в виде щеток выбрать оптимальный вариант?

9. В работе не оговариваются требования к оборудованию для полирования с учетом необходимых углов, обеспечивающих работу щеток, при реализации траектории обхода сложных обрабатываемых поверхностей.

В целом, отмеченные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы.

10. Заключение

В диссертационной работе Подашева Дмитрия Борисовича предложено научно-обоснованное решение актуальной проблемы технологического обеспечения высокой производительности процесса и требуемого качества поверхностей и кромок сложнопрофильных, крупногабаритных и длинномерных деталей летательных аппаратов из алюминиевых и титановых сплавов при автоматизированной обработке эластичными полимерно-абразивными инструментами, что имеет важное хозяйственное значение для отечественного машиностроения. Таким образом, диссертация соответствует п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842, и требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук по специальностям 2.5.6 - «Технология машиностроения» и 2.5.5 - «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку, что подтверждает соответствие диссертации требованиям п. 10 «Положения о порядке присуждения ученых степеней».

Все положения и выводы диссертации опубликованы в полном объеме в научных изданиях из перечня ВАК РФ, а также в изданиях, индексируемых в наукометрических базах Scopus и Web of Science, представлены в виде устных докладов на авторитетных международных и всероссийских конференциях. Таким образом, требования к публикациям основных научных результатов, предусмотренные пунктами 11, 12 и 13 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», автором выполнены.

Диссертация содержит ссылки на источники заимствования материалов, а при использовании результатов научных работ, выполненных соискателем в соавторстве, на это имеются соответствующие указания в тексте диссертации. Таким образом, автором выполнены требования пункта 14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней».

Диссертация Подашева Д.Б. на тему «Повышение эффективности обработки сложнопрофильных и длинномерных деталей из алюминиевых и титановых сплавов эластичными полимерно-абразивными инструментами» содержит достаточно обоснованные выводы и рекомендации и в целом отвечает требованиям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени доктора технических наук, а ее автор, Подашев Дмитрий Борисович, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальностям 2.5.6 - «Технология машиностроения» и 2.5.5 - «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Диссертация Д.Б. Подашева, его автореферат и отзыв ведущей организа-

ции обсуждены на расширенном заседании кафедры «Технология авиационных двигателей и общего машиностроения» и кафедры «Мехатронные системы и процессы формообразования им. С.С. Силина»

(протокол № 2-23 от «14» сентября 2023 г.).

Председатель заседания, заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации, доктор технических наук (специальность 05.02.08 - «Технология машиностроения»), профессор, профессор кафедры «Технология авиационных двигателей и общего машиностроения»

Безъязычный Вячеслав Феоктистович

Дата: 14.09.2023
Тел.: 8 (4855) 222-091
e-mail: technology@rsatu.ru

Заведующий кафедрой «Мехатронные системы и процессы формообразования им. С.С. Силина», доктор технических наук (специальность 05.03.01 - «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»), профессор

Волков Дмитрий Иванович

Дата: 14.09.2023
Тел.: 8 (4855) 222-556
e-mail: d_i_volkov@rsatu.ru

Подписи Безъязычного В.Ф. и Волкова Д.И. заверяю
Ученый секретарь РГАТУ им. П.А. Соловьева
кандидат технических наук, доцент

С.А. Волков

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П.А. Соловьева» (РГАТУ им. П.А. Соловьева)
Адрес: 152934, Российская Федерация, Ярославская область, г. Рыбинск, ул. Пушкина, д. 53