

В диссертационный совет
24.2.277.01, созданный на базе
ФГБОУ ВО «Брянский государственный
технический университет»,
учёному секретарю, д.т.н, доц. Нагоркину М.Н.
241035, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, д. 7

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

**Подашева Дмитрия Борисовича на тему: «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

В современных производственных условиях, отделочно-зачистные и финишные операции, такие как зачистка поверхностей с целью уменьшения шероховатости, обработка острых кромок, подготовка поверхностей под лакокрасочные и гальванические покрытия и т.д. часто продолжают выполняться при помощи ручного труда и характеризуются высокой трудоемкостью, поэтому проблема замены ручного труда на автоматизированный при выполнении подобных операций в серийном производстве для отечественной промышленности остается весьма актуальной.

Наиболее эффективными способами решения вышеуказанных проблем остаются методы абразивной механической обработки, к которым относятся: шлифование, полирование, объемная вибрационная обработка и т.д.

Все перечисленные методы абразивной механической обработки достаточно глубоко исследованы и активно внедряются в серийное производство. В то же время, данные методы абразивной обработки, как и любые другие, обладают определенным набором ограничений в функциональных возможностях.

В диссертации соискателем доказано, что в отечественной авиационной промышленности и, в частности, при производстве фюзеляжа самолета МС-21 имеется

большое количество сложнопрофильных, крупногабаритных и длинномерных деталей из алюминиевых и титановых сплавов, а особенности отделочно-зачистных и финишных операций для таких материалов и деталей не позволяют эффективно применять вышеупомянутые методы абразивной обработки, уменьшают производительность изготовления деталей и не всегда обеспечивают требуемое качество их поверхностей и кромок.

В работе обосновано, что наиболее перспективным направлением, способным эффективно решать указанные проблемы, является обработка полимерно-абразивными кругами со связкой из нетканых материалов и цельнолитыми щётками (радиальные и торцевые), которые обладают высокой эластичностью.

В то же время установлено, что процесс обработки такими инструментами недостаточно изучен, отсутствуют соответствующие теоретические и экспериментальные исследования по определению численных 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 методы выбора оптимальных инструментов и режимов обработки.

Таким образом, работа Подашева Дмитрия Борисовича, направленная на решение важной научно-технической проблемы повышения производительности процесса и технологического обеспечения требуемого качества поверхностей и кромок сложнопрофильных, крупногабаритных и длинномерных деталей летательных аппаратов из алюминиевых и титановых сплавов при автоматизированной обработке эластичными полимерно-абразивными инструментами, является актуальной.

2. Научная новизна и новые результаты

Новизна научных положений, защищаемых соискателем:

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.

3. Достоверность полученных результатов

Разработанные в диссертации научные положения и выводы достаточно аргументированы, адекватность разработанных теоретических положений подтверждена экспериментальными данными. Лабораторные и опытно-промышленные испытания выполнены с использованием современного технологического оборудования, оснастки и измерительной аппаратуры.

Для количественной и качественной оценки разработанных научных положений использован представительный объем собственной эмпирической технологической информации, полученной в результате лабораторных и производственных исследований.

4. Практическая ценность работы

Практическую ценность имеют следующие разработки:

1. Алгоритм проектирования технологической операции обработки поверхностей и кромок сложнопрофильных, крупногабаритных и длинномерных авиационных деталей эластичными полимерно-абразивными инструментами.
2. Алгоритмы и программы оптимизации процессов зачистки плоскостей и скругления кромок эластичными полимерно-абразивными кругами и щетками.
3. Совокупность технологических рекомендаций 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. Проект промышленного оборудования (станка с ЧПУ) для одновременной эффективной обработки кромок длинномерных авиационных деталей типа профиль двумя полимерно-абразивными щетками.

5. Оценка содержания и оформления диссертации

Материалы диссертации изложены на 447 страницах машинописного текста (основного текста – 381 страница), в достаточной степени иллюстрированы. Основной текст диссертации содержит 225 рисунков, 133 таблицы. В приложениях представлены:

- классификатор сложнопрофильных, крупногабаритных и длинномерных деталей

каркаса самолета МС-21;

- аппроксимирующие выражения, полученные для упрощения применения разработанных автором теоретических положений в практических целях;
- параметры и их идентификаторы, а также листинги программ, разработанных с помощью объектно-ориентированного приложения Borland C++ Builder с целью реализации полученных математических моделей съема материала и достижимой шероховатости обработанной поверхности при обработке плоскостей эластичными полимерно-абразивными кругами, а также оптимизации процессов зачистки поверхностей и скругления кромок полимерно-абразивными инструментами;
- техническая информация об использованных в диссертации инструментах и оборудовании;
- копии полученных автором патентов на изобретение и полезные модели, свидетельств о регистрации программ для ЭВМ, а также акты внедрения результатов исследований в производственный и учебный процесс.

Библиографический список включает 383 наименования.

Во введении автором обоснована актуальность темы исследования, сформулирована научная новизна, изложены цель и задачи исследования, определены положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена анализу отечественной и зарубежной научно-технической информации по изучаемому вопросу, постановке цели и задач исследований. Автором выполнен анализ конструкций деталей каркаса самолета МС-21, изготовленных из алюминиевых и титановых сплавов. Установлено, что в конструкции каркаса данного самолета имеется множество дорогостоящих крупногабаритных и длинномерных деталей, требующих операций отделочно-зачистной обработки. Доказано, что при автоматизации рассматриваемых технологических операций, данную обработку необходимо вести эластичными полимерно-абразивными инструментами. Кроме того, автором выполнено информационное исследование, в котором отражено современное состояние научной проблемы технологического обеспечения качества поверхности при различных видах абразивной обработки. Установлено, что эффективное использование эластичных полимерно-абразивных инструментов на операциях зачистки поверхностей и скругления кромок изделий из алюминиевых и титановых сплавов невозможно без

научно обоснованного прогнозирования результатов обработки и назначения оптимальных режимов резания. На основании анализа литературных данных сформулированы цель и задачи диссертационной работы, а также обоснована необходимость разработки соответствующей технологической операции, базирующейся на результатах научных исследований процесса обработки эластичным полимерно-абразивным инструментом.

Во второй главе рассмотрены методические основы исследований финишной обработки деталей полимерно-абразивными инструментами, приведена общая методика проведения исследований. Описан общий подход к разработке математических моделей процесса обработки, а также описаны взаимосвязи между ними. Кроме того, обоснован выбор инструментального обеспечения, оборудования, и другого технического (в том числе программного) оснащения экспериментальной части работы, обосновано применение методов математической статистики, основанных на планировании эксперимента, дисперсионном и регрессионном анализе. Спроектированы опытные образцы, предназначенные для исследования процессов финишной обработки деталей полимерно-абразивными инструментами как на легкодоступных участках деталей, так и на труднодоступных, в которых представлены возможные сочетания поверхностей, встречающихся на реальных авиационных деталях.

Третья глава посвящена исследованиям сил, возникающих в процессе обработки, поскольку именно силы определяют производительность процесса обработки и качество обработанной поверхности. Следует отметить, что при определении сил резания автором исследуются особые физико-механические свойства эластичных полимерно-абразивных инструментов (жесткость, модуль упругости, упруго-вязкое восстановление после деформирования и др.), а также решается задача контактного взаимодействия различных инструментов (эластичные полимерно-абразивные круги, радиальные и торцевые полимерно-абразивные щетки) с обрабатываемой поверхностью и кромкой, что позволяет учитывать геометрические особенности деталей при прогнозировании результатов обработки. При этом, для математического описания режущего микрорельефа эластичных полимерно-абразивных инструментов, автором не только успешно использован аппарат теории вероятности и математической статистики, но и разработаны

собственные методики определения параметров микрорельефа, наиболее точно соответствующих его деформированному (рабочему) состоянию.

Четвертая глава посвящена исследованию технологической операции обработки поверхностей эластичными полимерно-абразивными кругами и торцевыми полимерно-абразивными щетками. Автором рассмотрена достаточно широкая номенклатура обрабатываемых поверхностей (плоские, закругленные по наружному радиусу, закругленные по внутреннему радиусу), которая встречается на реальных деталях и разработаны математические модели процесса обработки учитывающие геометрические особенности обрабатываемых поверхностей, а также микро- и макропараметры взаимодействия инструментов и детали. Данные математические модели позволили выявить закономерности результатов обработки (производительность процесса, шероховатость обработанной поверхности, остаточные напряжения, температура в зоне обработки) от особых физико-механических свойств инструментов, сил резания, а также режимов обработки. Все результаты теоретических расчетов подтверждены комплексом экспериментальных исследований. Кроме того, автором проведен комплекс экспериментальных исследований износа эластичных полимерно-абразивных инструментов от режимов обработки и времени работы, что особенно важно при обработке протяженных участков деталей, поскольку позволяет своевременно вводить корректировку на режимы обработки и обеспечивать стабильное качество обработанной поверхности. Также, соискателем успешно решена задача по оптимизации режимов обработки, что позволило определить оптимальный инструмент и режимы обработки. Создано соответствующее программное обеспечение.

Пятая глава посвящена исследованию технологической операции обработки кромок радиальными и торцевыми полимерно-абразивными щетками. При разработке математических моделей процесса обработки кромок автором учтены геометрические особенности обрабатываемых кромок (наличие горизонтальных и наклонных участков, кромок, закругленных по наружному и внутреннему радиусу). При обработке труднодоступных кромок торцевыми полимерно-абразивными щетками, автором выявлены зависимости размера формируемой кромки от количества ворсин, участвующих в работе, и от положения кромки относительно горизонтальной оси щетки. Также, автором установлено, что положение радиальной

полимерно-абразивной щетки относительно обрабатываемой кромки оказывает решающее влияние на точность формы обработанной кромки. Кроме того, проведены теоретические и экспериментальные исследования, позволившие установить закономерности формирования кромки по размеру, точности формы и шероховатости от режимов обработки. В данной главе также решается задача оптимизации исследуемой операции с использованием критерия минимизации себестоимости обработки при условии обеспечения требуемых показателей качества получаемых кромок по размеру, точности формы и шероховатости.

В шестой главе приведен алгоритм проектирования рассматриваемых отделочно-зачистных операций, разработанный на основе проведенного комплекса исследований. Также представлен широкий спектр технологических рекомендаций, позволяющий вести обработку каждого участка оптимальным инструментом на оптимальных режимах. В этой же главе предложена конструкция оборудования для обработки кромок на длинномерных деталях, позволяющая вести эффективную обработку одновременно двух кромок на горизонтальных и наклонных поверхностях, а также представлен подробный расчет экономического эффекта от внедрения результатов проведенных автором исследований при обработке деталей самолета МС-21.

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

Полученные результаты соответствуют поставленной цели и задачам работы.

Содержание диссертации соответствует содержанию научных работ, опубликованных соискателем единолично и в соавторстве. Основное содержание диссертации опубликовано в 2 монографиях; 17 публикациях в изданиях, индексируемых в международной наукометрической базе данных Scopus, 28 публикациях в рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК РФ, патенте на изобретение, 2 патентах на полезную модель, 2 свидетельствах о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Автореферат соответствует тексту диссертации, отражает её основное содержание.

6. Замечания по работе

1. При определении модуля упругости ворсин для радиальных и торцевых щеток непонятно для чего определялось среднее арифметическое значение модуля упругости (таблица 3.12).
2. Большой разброс экспериментальных данных на рисунке 3.20 не позволяет однозначно утверждать об адекватности модели.
3. Из работы не ясно, как учитывается в расчетах возможное наличие заусенцев на заготовке.
4. При аналитическом выводе зависимостей сил резания, а также показателей производительности процесса и качества обработанной поверхности не учитывается стохастическая природа процесса. При абразивной обработке не все зерна контактируют с поверхностью заготовки, часть их попадает в след прошедших ранее зерен и не осуществляет резания, часть срезает материал частично.
5. При расчете величины остаточных напряжений не приведены требования чертежей по допустимому их значению (п. 4.1.5 диссертации).
6. Непонятно, зачем рассчитывать расход электроэнергии, если в итоге не приведены сравнительные результаты этого расчета (п. 6.5 диссертации).
7. В рекомендациях по оптимальным режимам обработки щетками приведены слишком большие диапазоны значений: $V=250-1000$ м/мин; $S=42-395$ мм/мин (п. 6 заключения).

7. Заключение

Диссертационная работа Подашева Д.Б. является законченным исследованием, в котором получены новые значимые научные, научно-технические и технологические результаты, направленные на решение актуальной проблемы повышения производительности труда и технологического обеспечения требуемого качества поверхностей и кромок сложнопрофильных, крупногабаритных и длинномерных авиационных деталей из алюминиевых и титановых сплавов при автоматизированной обработке эластичными полимерно-абразивными инструментами, что имеет важное значение для развития отечественного машиностроения. Диссертация обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты и свидетельствует о личном вкладе автора в

науку. Диссертация содержит ссылки на источники заимствования материалов, а при использовании результатов научных работ, выполненных в соавторстве, на это имеются соответствующие указания в тексте диссертации. Таким образом, диссертация соответствует критериям раздела II «Положения о присуждении ученых степеней», утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (ред. от 18.03.2023).

Диссертационная работа соответствует паспортам научных специальностей: 2.5.6 – «Технология машиностроения» по пунктам: 2) «Технологические процессы, операции, установы, позиции, технологические переходы и рабочие хода, обеспечивающие повышение качества изделий и снижение их себестоимости»; 7) «Технологическое обеспечение и повышение качества поверхностного слоя, точности и долговечности деталей машин»;

2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки» по пунктам: 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»; 6) «Исследование влияния режимов обработки на силы резания, температуру, стойкость инструмента и динамическую жесткость оборудования».

Работа выполнена на достаточно высоком научно-техническом уровне. Методики и средства выполненных исследований адекватны решаемым задачам.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований, выполненных соискателем, достоверны и достаточны для обоснования сделанных выводов.

Степень апробации результатов работы путем опубликования основных положений в печати, выступлений на научно-технических конференциях, семинарах достаточна. Общая подготовленность и научный потенциал соискателя соответствует сложившемуся уровню требований.

Общие выводы отражают в полном объеме полученные в ходе диссертационного исследования основные результаты работы.

Содержание автореферата диссертации отражает основные положения работы и доказательства их достоверности.

Сделанные замечания не снижают важности полученных результатов и не

влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертационная работа Подашева Дмитрия Борисовича на тему: «Повышение эффективности обработки сложнопрофильных и длинномерных деталей из алюминиевых и титановых сплавов эластичными полимерно-абразивными инструментами» по актуальности, научно-техническому уровню, степени обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, их достоверности и новизне, значению для теории и практики соответствует требованиям раздела II Положения о присуждении ученых степеней, утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (ред. от 18.03.2023), предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора наук.

Автор работы, Подашев Дмитрий Борисович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальностям 2.5.6 – «Технология машиностроения» и 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Официальный оппонент:

Заведующий кафедрой «Технология и оборудование
машиностроительных производств»

Волжского политехнического института (филиала)

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный
технический университет»,

доктор технических наук (05.03.01 – «Процессы
механической и физико-технической обработки,
станки и инструмент»), профессор

Носенко Владимир Андреевич

Дата: 18.09.2023

Адрес: 404121, Волгоградская область, г. Волжский, ул. Энгельса, д. 42а

Тел.: 8 (443) 55-69-35

E-mail: nosenko@volpi.ru

Подпись доктора технических наук,
профессора Носенко В.А. заверяю

