

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

**на диссертационную работу Подашева Дмитрия Борисовича «Развитие научных основ технологии финишной обработки деталей из алюминиевых и титановых сплавов полимерно-абразивными инструментами», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.08 «Технология машиностроения»**

### **1. Актуальность темы диссертационной работы**

В настоящее время авиационное производство становится все более высокотехнологичным. Для обеспечения конкурентоспособности отечественные предприятия активно приобретают и внедряют в серийное производство современные металлообрабатывающие станки с ЧПУ, робототехнические комплексы, а также новые технологии, которые позволяют повышать производительность обработки, а в некоторых случаях, снижать затраты на инструмент. Однако, следует отметить, что множество отделочно-зачистных и финишных операций, таких как, обработка поверхностей с целью уменьшения шероховатости до требуемых значений, скругление острых кромок, снятие заусенцев и т.д. продолжают выполняться при помощи ручного неквалифицированного труда, что способствует повышению себестоимости изделий и снижению их качества.

Технология финишной обработки деталей с применением вращающегося абразивного инструмента на гибкой (полимерной) связке является одной из перспективных в этом направлении, так как в большинстве случаев позволяет повысить производительность обработки, обеспечивая при этом все требования нормативно-технической документации к качеству поверхностного слоя. Однако, следует отметить, что имеющихся исследований технологий финишной обработки деталей с применением эластичного полимерно-абразивного инструмента явно недостаточно для создания единой методики проектирования операций финишной обработки полимерно-абразивным инструментом, комплексного рассмотрения таких процессов и явлений, сопровождающих рассматриваемый вид обработки, таких как: влияние режимных параметров обработки на производительность процесса обработки и качество обработанной поверхности, силы резания, термомеханические процессы в зоне обработки, износостойкость инструмента.



В работе выполнены исследования влияния режимных параметров обработки на силовые и тепловые процессы, происходящие при обработке поверхностей и кромок авиационных деталей из алюминиевых и титановых сплавов эластичными полимерно-абразивными кругами и щетками, которые, в свою очередь, непосредственно влияют на качество поверхностного слоя, производительность процесса обработки и износостойкость инструмента. Проведенное автором комплексное математическое моделирование процессов взаимодействия эластичного полимерно-абразивного инструмента с обрабатываемой поверхностью вносит существенный вклад в развитие данного направления исследований и позволяет создать единую методику проектирования рассматриваемых операций.

Поэтому работа Подашева Д.Б., посвященная исследованию технологического обеспечения качества поверхности при обработке изделий из алюминиевых и титановых сплавов, с целью разработки методики проектирования операций зачистки поверхностей и скругления кромок, а также назначения наиболее экономически эффективных инструментов и режимов обработки, является актуальной.

## **2. Научная новизна и новые результаты**

На основе проведенного системного анализа предметной области, автор предлагает систему управления проектированием операций финишной обработки авиационных деталей из алюминиевых и титановых сплавов полимерно-абразивными инструментами, которая позволяет расчетным путем устанавливать наиболее экономически эффективный инструмент, прогнозировать состояния поверхностного слоя после обработки, а также назначать рациональные режимы обработки в каждом конкретном случае.

Автором разработана совокупность теоретических положений, позволяющих проводить расчет показателей производительности процесса обработки и качества обработанной поверхности на основе математического моделирования взаимодействия инструмента с обрабатываемой поверхностью и информации о физико-механических свойствах обрабатываемого материала и характеристиках полимерно-абразивного инструмента.

Новизна научных положений, защищаемых соискателем, заключается в том, что им впервые разработаны:



- система управления проектированием операций финишной обработки поверхностей и скругления кромок полимерно-абразивными инструментами с комплексом подсистем нескольких уровней;

- математические модели производительности процесса обработки и качества обработанной поверхности, разработанные на основе аналитически описанного режущего микрорельефа эластичных полимерно-абразивных кругов, а также экспериментально исследованных физико-механических свойствах инструмента и обрабатываемого материала;

- комплекс математических моделей (съемка материала (производительности процесса) при обработке поверхностей эластичными полимерно-абразивными кругами; шероховатости обработанной поверхности при обработке эластичными полимерно-абразивными кругами; силового взаимодействия эластичных полимерно-абразивных кругов с обрабатываемой поверхностью; силового взаимодействия полимерно-абразивных радиальных щеток с обрабатываемой кромкой; силового взаимодействия полимерно-абразивных торцевых щеток с обрабатываемой поверхностью; силового взаимодействия полимерно-абразивных торцевых щеток с обрабатываемой кромкой);

- совокупность эмпирических математических моделей, позволяющих прогнозировать производительность процесса и качество обработанных кромок при обработке радиальными и торцевыми полимерно-абразивными щетками в зависимости от режимных параметров обработки и характеристик инструмента;

- методика определения целевой функции расхода электроэнергии, необходимая для проведения оптимизации финишной обработки деталей полимерно-абразивными инструментами, полученная на основе разработанных теоретических положений силового взаимодействия инструмента с обрабатываемой поверхностью при обработке: плоскостей эластичными полимерно-абразивными кругами; плоскостей торцевыми полимерно-абразивными щетками; кромок радиальными полимерно-абразивными щетками; кромок торцевыми полимерно-абразивными щетками;

- управляющие подсистемы выбора инструмента и режимных параметров обработки при зачистке поверхностей и скругления острых кромок деталей,



позволяющие выполнять эти операции наиболее экономически эффективно с использованием ограничительных функций по разработанным теоретическим и эмпирическим математическим моделям: износа инструмента; температуры в зоне резания; достижимой шероховатости обработанной поверхности.

- теоретические обоснования расчета остаточных напряжений, возникающих в поверхностном слое материала при обработке эластичными полимерно-абразивными кругами, подтвержденные совокупностью экспериментальных исследований.

### **3. Достоверность полученных результатов**

При выполнении работы использовались научные основы теории абразивной обработки, технологии машиностроения, сопротивления материалов, основы теплофизики и математической физики. Экспериментальные исследования проводились в производственных и лабораторных условиях, на универсальном и уникальном оборудовании, с использованием современной контрольно-измерительной аппаратуры по стандартным и разработанным автором методикам. При обработке экспериментальных данных использовались статистические методы.

Результаты исследований рекомендованы к внедрению в производство на Иркутском авиационном заводе – филиале ПАО «Корпорация «Иркут», а также внедрены в учебный процесс ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», а также в других сферах инженерной деятельности, что подтверждается соответствующими актами внедрения.

Приведенные выводы и результаты подтверждают обоснованность разработанных научных положений, выводов и рекомендаций.

### **4. Практическая ценность работы**

Значимость для практики результатов исследований заключается в разработке автором:

- совокупности методик и теоретических положений, позволяющих определять инструмент и технологические режимные параметры обработки при различных требованиях к качеству обработанной поверхности и кромки с оптимальной производительностью процесса обработки и наименьшей себестоимостью выполнения операции;



- компьютерных программ, реализующих предложенную совокупность теоретических положений и позволяющих эффективно управлять процессами финишной обработки: выбирать наиболее приемлемый полимерно-абразивный инструмент и режимные параметры обработки при зачистке поверхностей и скруглении кромок деталей (Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2014613558 и №2018617430);
- системы проектирования исследуемых технологических операций, а также технологических рекомендаций для финишной обработки полимерно-абразивными инструментами, в том числе на промышленных роботах, которые могут найти широкое применение в обрабатывающей промышленности;
- проекта промышленного оборудования (станка с ЧПУ) для одновременной эффективной обработки кромок длинномерных авиационных деталей типа профиль двумя полимерно-абразивными щетками.

## **5. Содержание диссертации**

Диссертация состоит из введения, 7 глав, заключения, библиографического списка, включающего 355 наименований и 7 приложений. Работа изложена на 443 страницах, содержит 199 рисунков и 122 таблицы.

Во введении автором обоснована актуальность темы исследования. В первой главе автором рассматриваются работы, определяющие современный уровень исследований и знаний по теме диссертации. На основе анализа существующих работ автором сделан вывод о том, что применение эластичных полимерно-абразивных инструментов выявило необходимость прогнозирования результатов обработки для обеспечения требуемого качества обработки при оптимальной производительности процесса. При этом, в настоящее время отсутствует системный анализ абразивной обработки с применением полимерно-абразивного инструмента, не разработаны теоретические положения, описывающие взаимосвязи производительности процесса и качественных характеристик обработанных поверхностей с режимными параметрами обработки.

На основании анализа литературных данных, выявленного уровня знаний и исследований по теме работы сформулированы цель, а также задачи диссертационной работы.



Уровень проведенного обзора научных работ, выполненный автором, позволяет сделать вывод о высокой степени проработанности автором предмета и области исследования.

Во второй главе автором приведены основные положения разработанной системы управления проектированием операций зачистки поверхностей и скругления кромок в авиастроении, которая позволяет выбирать рациональный инструмент, режимные параметры, корректировать технологию при появлении возмущающих факторов с последующим определением параметров обработки и обеспечивать требуемую производительность процесса с учетом ограничительных функций. Автором обоснована необходимость создания научных подходов к решению задач в пространстве состояний в рамках рассматриваемой системы управления и разработке ряда теоретических и эмпирических математических моделей, а также разработке управляющей подсистемы по оптимизации выбора полимерно-абразивного инструмента и параметров операции финишной обработки. Кроме того, выбрано инструментальное обеспечение, техническое и программное оснащение экспериментальной части работы.

В третьей главе приведены результаты математического моделирования процесса по силам взаимодействия эластичных полимерно-абразивных кругов с обрабатываемой поверхностью, производительности процесса обработки, температуре в зоне обработки и показателям качества поверхностного слоя, что является реализацией системы управления проектированием операций финишной обработки в пространстве состояний.

В четвертой главе автор проводит анализ результатов экспериментальных исследований влияния режимных параметров обработки на составляющие силы резания, износ инструмента, температуру резания и параметры качества поверхностного слоя при обработке острых кромок авиационных деталей эластичными полимерно-абразивными кругами и радиальными щетками.

В пятой главе решены вопросы управления производительностью процесса обработки и качеством обработанных кромок и поверхностей путем математического моделирования процесса скругления кромок и зачистки поверхностей торцевыми полимерно-абразивными щетками.

В шестой главе автором рассмотрена роботизация финишной обработки



деталей с использованием полимерно-абразивного инструмента, которая является одним из перспективных направлений замены ручного труда на механизированный и автоматизированный. Разработанные эмпирические математические модели качества обработанной кромки, а также производительности процесса при обработке на робототехническом комплексе, позволяют аналитически определять размер и качество кромки и эффективно управлять режимными параметрами обработки, в том числе при их корректировке в случае воздействия возмущающих факторов.

В седьмой главе подробно описана разработанная автором система управления проектированием операций финишной обработки деталей полимерно-абразивными инструментами, состоящая из входных параметров, пространства состояний и выходных параметров, которая обеспечивает проектирование технологической операции и выпуск качественной продукции. Созданная система контроля входных параметров (заготовки, оборудования, инструмента), проведение пробной операции с последующим анализом дефектов и причин их возникновения, а также формирование управляющего воздействия по результатам анализа, позволяет обеспечить устойчивость и воспроизводимость системы управления с минимизированным воздействием возмущающих факторов. Разработанные автором подсистемы оптимизации зачистки плоскостей и скругления кромок эластичными полимерно-абразивными кругами и щетками эффективно решают поставленные задачи, поскольку включают в себя большинство факторов, влияющих на себестоимость выполнения операции при обеспечении производительности и требуемого качества. Они основаны на базе использования целевых (основного времени обработки, затрат на расход электроэнергии в единицу времени работы, стоимости полимерно-абразивного инструмента на выполнение операции) и ограничительных функций (достижимой шероховатости и температуры резания). Кроме того, разработанные программы оптимизации обработки плоскостей и скругления кромок эластичными полимерно-абразивными кругами и щетками позволили выработать технологические рекомендации с рациональными параметрами обработки.

В заключении диссертационной работы отражены основные выводы, которые обобщают результаты теоретических и экспериментальных исследований.



## 6. Замечания и пожелания

1. В системе управления технологической операцией (рис.2.2) не определен способ формирования количественного управляющего воздействия при оптимизации, экономические параметры процесса, служащие одним из параметров оптимизации определяются после формирования управляющего воздействия.
2. Прогнозирование доверительных границ выполнено в соответствии с гипотезой о равномерном распределении показателей качества, то же время при контроле на соответствие требованиям НТД для выявления ошибочных значений использован критерий Граббса, пригодный только для нормального распределения.
3. При выводе формулы 3.13 неясно, как учитываются параметры микрорельефа обрабатываемой поверхности, поэтому вывод о незначимости влияния данного фактора на глубину внедрения зерен инструмента необоснован. Кроме того, если решение уравнения проведено без учета упругой деформации материала кругов, это обесценивает суть исследования именно для рассматриваемого типа инструмента.
4. При определении съёма материала эластичными полимерно-абразивными кругами (пп.3.3.1) неясно, зачем используется аппроксимация зерна конусом со скругленной вершиной - ранее автор предлагает другое описание механизма взаимодействия поверхностей инструмента и заготовки.
5. При решении численными методами практически всех неравенств не заданы граничные условия решения и области существования функций. В частности это касается параметра сближения поверхностей инструмента и заготовки.
6. При расчете теплопроводности не учтено трение полимерной связки о заготовку, работа, расходуемая на диспергирование металла зерном.
7. При определении времени удара автор не приводит обоснований для варьирования значением степени в ф 4.10 при расчетах для различных типов щеток.
8. В формуле 4.9 ударный импульс рассчитан из учета полного гашения скорости в момент удара, что не обосновано кинематикой процесса.
9. Неясно, почему скругление кромки полимерной щеткой и полимерно-абразивным кругом оценивается разными геометрическими схемами.
10. Неясно, почему упругая составляющая силы взаимодействия в экспериментах не зависит от частоты вращения щетки (см. ф.5.10-5.12 и рис 5.9)
11. В работе отсутствуют обоснование критерия износа, определяющего замену инструмента, что необходимо для целевой функции оптимизации.
12. Пятый вывод гл. 5 не имеет подтверждения в расчетах автора, поскольку стабильность работоспособности щеток в работе не оценивалась.



## 7. Заключение

Диссертационная работа Подашева Дмитрия Борисовича является законченной научно-квалификационной работой, в которой, на основании выполненных автором исследований, разработаны теоретические положения, по совокупности квалифицируемые как научное достижение, имеющие существенное значение для науки и практики.

С учетом высказанных выше замечаний, считаю, что диссертационная работа Подашева Дмитрия Борисовича на тему: *«Развитие научных основ технологии финишной обработки деталей из алюминиевых и титановых сплавов полимерно-абразивными инструментами»* по своему содержанию, объёму, актуальности, научной и практической значимости полностью соответствует требованиям ВАК Российской Федерации, предъявляемым к докторским диссертациям, установленным «Положением о порядке присуждения учёных степеней», а её автор – Подашев Дмитрий Борисович заслуживает присуждения ему учёной степени доктора технических наук по специальности 05.02.08 - «Технология машиностроения».

Согласен на обработку персональных данных.

Официальный оппонент:

Зверовщиков Александр Евгеньевич,  
заведующий кафедрой «Технология машиностроения»  
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»,  
доктор технических наук (05.02.08 –  
Технология машиностроения; 05.02.07- Технология и  
оборудование механической и  
физико-технической обработки), доцент  
440026, г. Пенза, ул. Красная, 40.  
Тел.: (8412) 368-224,  
Адрес электронной почты: [azwer@mail.ru](mailto:azwer@mail.ru)



20.09.2019 г.

Подпись Зверовщикова А.Е. заверяю:  
Ученый секретарь Ученого Совета ПГУ,  
кандидат технических наук, доцент



О.С. Дорофеева