

Ученому секретарю  
диссертационного совета 24.2.277.01,  
доктору технических наук, доценту  
Нагоркину М.Н.  
ФГБОУ ВО «Брянский государственный  
технический университет»  
241035, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, д. 7

## ОТЗЫВ

официального оппонента 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.

### **Актуальность темы**

В диссертации и автореферате убедительно доказано, что в отечественной авиационной промышленности и, в частности, при производстве самолета МС-21 имеется большое количество деталей из алюминиевых и титановых сплавов. Развитие авиационного производства в России ставит задачу о снижении себестоимости изготовления таких деталей. Особенности отделочно-чистовых и зачистных операций для таких материалов сдерживают производительность изготовления деталей и не всегда обеспечивают требуемое качество их поверхностей.

Лезвийная обработка алюминиевых и титановых сплавов при использовании станков с ЧПУ достаточно разработана и современные инструментальные материалы гарантируют ее эффективность. Однако требования обеспечения качества обработанной поверхности и, в первую очередь, точности размеров и шероховатости, приводит к необходимости использования алмазно-абразивных инструментов. При обработке длинномерных деталей абразивные инструменты не всегда позволяют гарантировать получение заданных размеров и шероховатости. Это связано с износом шлифовальных кругов, их засаливанием, погрешностями базирования, низкой жесткостью заготовок и т.п. Особенно явно эти проблемы проявляются именно для длинномерных деталей, при скруглении кромок, обработке криволинейных поверхностей и пазов.

В этом плане использование эластичных абразивных инструментов является предпочтительным, обеспечивая нежесткую связь в технологической системе и позволяя компенсировать погрешности базирования. Обработка полимерно-абразивными кругами со связкой из нетканых материалов и цель-

нолитыми щётками как раз и обеспечивает устранение недостатков обычного шлифования. Упругая связь между инструментом и заготовкой позволяет компенсировать погрешности базирования и его износ, что особенно важно при обработке длинномерных заготовок. Работа инструментов в режиме самозатачивания исключает засаливание.

Единственная проблема – отсутствие практических рекомендаций по применению такого инструмента. Именно решению этих вопросов и посвящена диссертация соискателя. Поэтому тема диссертационной работы Подашева Дмитрия Борисовича, посвященная технологическому обеспечению заданного качества сложнопрофильных и длинномерных деталей из алюминиевых и титановых сплавов эластичными полимерно-абразивными инструментами, является актуальной.

### **Научная новизна выполненных исследований.**

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.

*Обосновано и доказано в главе 3.*

2. Установлено доминирующее влияние жесткостных и вязкоупругих 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.

*Обосновано и доказано в главе 4.*

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 физикомеханическими свойствами эластичных полимерно-абразивных кругов (жесткость, время восстановления после деформирования, масса деформированного материала круга), режимами обработки и геометрическими особенностями обрабатываемых поверхностей.

*Обосновано и доказано в параграфе 4.1.5.*

- 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.

***Обосновано и доказано в главе 5.***

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.

***Обосновано и доказано в параграфе 4.2 (обработка плоских поверхностей) и параграфе 5.5 (обработка кромок).***

### **Практическая значимость работы.**

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

***Подтверждено актом внедрения на ПАО "научно-производственная корпорация "Иркут".***

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

***Подтверждено свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ.***

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.

***Подтверждено актом внедрения результатов научно исследовательской работы.***

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

***Подтверждено патентом Российской Федерации***

5. Разработанные алгоритмы проектирования и оптимизации операций финишной обработки полимерно-абразивными инструментами, а также научно-обоснованные технологические рекомендации приняты к внедрению на Иркутском авиационном заводе – филиале ПАО «Научнопроизводственная корпорация «Иркут» и получены в рамках выполнения комплексного

проекта по созданию высокотехнологичного производства «Автоматизация и повышение эффективности процессов изготовления и подготовки производства изделий авиатехники нового поколения на базе Научно-производственной корпорации «Иркут» с научным сопровождением Иркутского государственного технического университета» (договор №389/12 от 15.11.2012 г.) и договору № 6/16 от 18.01.2016 г. «Разработка механизированных/автоматизированных технологий обработки кромок деталей каркаса» между ПАО «Научно-производственная корпорация «Иркут» и ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет».

***Подтверждено актом внедрения на ПАО "научно-производственная корпорация "Иркут".***

### **Обоснованность и достоверность научных положений выводов и рекомендаций**

Теоретические исследования проводились на базе научных основ технологии машиностроения, теории резания, фундаментальных положений физических процессов удара, упругости, пластичности, теория резания, статистических методов исследования.

При выполнении работы использован современный математический аппарат и современные технические средства для проведения экспериментальных исследований. Достоверность полученных результатов подтверждается корректностью разработанных математических моделей, их адекватностью по известным критериям оценки изучаемых процессов, сходимостью полученных теоретических результатов с данными эксперимента и внедрением на предприятиях с подтвержденным экономическим эффектом.

### **Общая характеристика диссертационной работы**

Первая глава посвящена анализу конструкций деталей самолета МС-21, выполненных из алюминиевых и титановых сплавов, для которых необходима отделочно-чистовая обработка протяженных плоскостей и кромок. На основании обзора литературных источников показана неэффективность обработки этих деталей классическими методами алмазно-абразивной обработки. Выполнен критический анализ текущего состояния вопроса в области теоретических и экспериментальных исследований процесса взаимодействия эластичного абразивного инструмента с обрабатываемой поверхностью, микрогеометрии режущей поверхности эластичных абразивных инструментов, износостойкости инструмента, производительности процесса обработки и качества обработанной поверхности. Необходимо отметить глубокий и подробный анализ литературных источников, обеспечивающий многостороннее изучение исследуемых проблем.

На основании этого грамотно сформулирована цель и задачи исследования.



Вторая глава посвящена методикам проведения теоретических и экспериментальных исследований. Разработан общий подход к созданию математических моделей для прогнозирования результатов обработки эластичными полимерно-абразивными инструментами, описано используемое для проведения экспериментальных исследований оборудование и измерительные приборы. Следует особо отметить грамотный выбор оборудования и приборов, обеспечивающий подробное изучение явлений, происходящих при механической обработке. Соискатель привел все технические характеристики этого оборудования, позволяющие оценить точность и достоверность получаемых результатов.

Третья глава посвящена исследованиям микропрофиля и режущей способности эластичных полимерно-абразивных инструментов. Именно параметры инструмента обеспечивают производительность технологических операций обработки и качество (шероховатость и остаточные напряжения) при их реализации. Для описания профиля режущего инструмента успешно использован аппарат теории вероятности и математической статистики. Подробно исследованы физические параметры используемых инструментов и их влияние на составляющие силы резания, глубину внедрения абразивных зерен в заготовку и получаемый профиль обработанной поверхности. Наибольшее внимание автор посвятил исследованию именно сил резания, т.к. именно они характеризуют взаимодействия инструмента и заготовки. Все теоретические исследования (математические модели) сопровождаются экспериментальными исследованиями с проверкой адекватности полученных зависимостей.

В четвертой главе разработаны и приведены математические модели для прогнозирования производительности рассматриваемых операций, шероховатости получаемых поверхностей, остаточных напряжений в поверхностном слое деталей и износу инструментов. Необходимо отметить, что автором рассмотрена достаточно большая номенклатура обрабатываемых поверхностей (плоские, выпуклые, вогнутые, различные виды кромок), различные инструменты (эластичные полимерно-абразивные круги и полимерно-абразивные щетки). Для всех этих вариантов им построены модели для расчета температуры в зоне контакта инструментов с заготовкой. Результаты моделирования подтверждены экспериментальными исследованиями. Поставлена и решена задача оптимизации режимов резания для обеспечения минимальной себестоимости обработки и создано программное обеспечение для автоматизации расчетов. Для оптимизации использован алгоритм перебора, что в данной задаче вполне обосновано.

Грамотное использование дисперсионного анализа позволило в некоторых случаях упростить полученные зависимости (например, таблица 4.11 и формула (4.70)). Все сложные алгоритмы расчетов подробно проиллюстрированы блок-схемами со ссылками на используемые зависимости.

Пятая глава посвящена процессу обработки кромок. По структуре она подобна главе 4. Рассмотрены вопросы прогнозирования производительности, точности размеров, шероховатости обработанной поверхности, износа

инструмента и т.п. В этой главе также решается задача оптимизации операции (расчет оптимальных режимов резания) по критерию минимизации себестоимости обработки с обеспечением заданных параметров качества получаемых поверхностей.

В шестой главе приведены конкретные рекомендации по применению разработанных моделей и алгоритмов при проектировании операций финишной обработки полимерно-абразивными инструментами. Все рекомендации подробно описаны и проиллюстрированы примерами и схемами с фотографиями процесса обработки. В этой же главе приведен подробный расчет экономического эффекта от внедрения проведенных автором исследований при обработке деталей самолета МС-21.

Общие выводы по работе соответствуют заявленным цели и задачам исследований и полностью характеризуют заявленную научную новизну и практическую значимость работы.

Материалы диссертации изложены последовательно и грамотно, факты и предложения аргументированы, оформление в целом качественное. Основные положения диссертации опубликованы в 55 печатных работах. В том числе: 2 монографии, 17 статей опубликованы в рецензируемых журналах, индексируемых международными реферативными базами данных Web of Science или Scopus, 28 статей опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 5 патентов на изобретение и свидетельств о регистрации программ для ЭВМ.

Автореферат в основном изложен правильно, достаточно полно и объективно отражает содержание диссертации.

### **Замечания по работе**

1. Задача 5 сформулирована математически некорректно: нельзя одновременно оптимизировать по двум критериям (наибольшая производительность и минимальная себестоимость выполнения операции). При решении этой задачи в главах 4 и 5 все правильно: критерий один: себестоимость выполнения операции.
2. Автор не всегда обосновывает принимаемые решения. Например, на стр. 77 диссертации вместо правила 3s предлагается использовать 4s "для повышения точности...". Точность чего, насколько она повышается и почему?
3. По тексту диссертации и, особенно, в главе 1 при ссылках на литературные источники не указаны фамилии авторов исследований. Это несколько затрудняет анализ материала.
4. Откуда получено 179 степеней свободы (стр. 104 диссертации) и почему при этом  $t=1,96$ ?
5. Не обоснованы допущения и упрощения, принятые при разработке математических моделей, описанных в главе 3. Использован преимуще-



- ственно геометрический подход. Насколько это справедливо для описания динамики взаимодействия инструмента и заготовки?
6. Параметры режущего микрорельефа инструмента, получаемые экспериментально, не учитывают наличие полимерного связующего (параграф 3.2 диссертации).
  7. При определении деформации инструмента (параграф 3.2.2) и длины зоны его контакта с обрабатываемой поверхностью не учитываются инерционные явления, связанные с угловой скоростью круга. Это может внести некоторые погрешности в расчеты. Также, в параграфе 3.2.3 рассматривается статическая жесткость инструмента. При его вращении динамическая жесткость может существенно отличаться от статической.
  8. Нет обоснования: почему в формуле (3.83) для щеток типа С используется показатель  $1/5$ , а для типа А – показатель степени  $0,31$ ?
  9. При расчете производительности (например, в параграфе 4.1.1) автор не учитывает принципы технологического наследования: используемые зависимости (например, (4.4)) пригодны только после шлифования. Если предварительная обработка выполнялась лезвийным инструментом, время и производительность будут рассчитываться по другому.
  10. На стр. 305 и 306 имеется ссылка на программу, описанную в параграфе 4.2. На самом деле разработанные программы оптимизации описаны в параграфах 4.3.2 и 5.6.2.

Приведенные замечания в целом не являются принципиальными, не оказывают значимого влияния на основные теоретические и практические результаты диссертационной работы, ее значимость и общую положительную оценку.

### **Заключение**

На основании вышеизложенного считаю, что представленная диссертация Подашева Дмитрия Борисовича «Повышение эффективности обработки сложнопрофильных и длинномерных деталей из алюминиевых и титановых сплавов эластичными полимерно-абразивными инструментами» является законченной научно-квалификационной работой, базирующейся на достаточном количестве экспериментальных и теоретических исследований.

Полученные автором диссертации результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы.

Диссертационная работа в полной мере отвечает требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям в п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, и содержит выводы и результаты, позволяющие квалифицировать их как 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.

Ее автор, 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**

доктор технических наук  
(специальность 05.02.08 – Технология машиностроения), профессор,  
профессор кафедры «Технология машиностроения»  
федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Алтайский государственный технический  
университет им. И.И. Ползунова»

Леонов Сергей Леонидович

«27» \_\_\_\_\_ 2023 г.

656038, Алтайский край, г. Барнаул, проспект Ленина, д. 46

Тел.: +7 (9132) 16-57-10

E-mail: sergey\_and\_nady@mail.ru

ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ  
ВЕД. СПЕЦИАЛИСТ П  
КАДРАМ Н. М. САРТАКОВА

*Н. М. САРТАКОВА*

