

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«Пермский национальный
исследовательский
политехнический университет»
(ПНИПУ)

614990, Пермский край, г. Пермь,
Комсомольский проспект, д.29,
тел. 8(342) 212-39-27,
факс 8(342) 219-80-67, e-mail:

rector@pstu.ru <http://www.pstu.ru>

05.12.2025 № 480-145
На № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке и инновациям

ФГАОУ ВО «ПНИПУ»

д-р физ.-мат. наук, доцент

А.И. Швейкин

декабрь 2025 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации о диссертационной работе Гордиенко Ярослава Михайловича на тему: «Повышение эффективности шлифования заготовок деталей из титановых сплавов за счет рационального применения прерывистых кругов на вулканитовой связке»

Актуальность темы диссертации

Диссертационная работа Гордиенко Я.М. посвящена повышению эффективности шлифования заготовок деталей из титановых сплавов.

Актуальность работы определяется широким использованием титановых сплавов в ответственных машиностроительных отраслях, где к деталям предъявляются высокие требования по качеству поверхности. Однако их низкая теплопроводность и склонность к налипанию приводят к интенсивному износу круга, что вызывает такие недопустимые дефекты при шлифовании, как прижоги, трещины, и возникновение вибраций. Эти факторы существенно ограничивают производительность и повышают себестоимость изготовления критически важных компонентов.

В качестве решения данной проблемы автором разработан комплексный подход, основанный на применении прерывистых шлифовальных кругов на вулканитовой связке. Конструктивная особенность такого инструмента, заключающаяся в наличии зазоров между сегментами, обеспечивает улучшенный отвод тепла и стружки из зоны резания. Одновременно с этим упругая связка эффективно демпфирует колебания, что способствует стабилизации процесса.

Для реализации данного подхода были проведены фундаментальные теоретические и экспериментальные исследования. Они включали в себя проектирование оптимальной конструкции круга, моделирование его

рабочих процессов и оценку физико-механических свойств абразивных сегментов. Всесторонний анализ влияния параметров технологической системы позволил установить рациональные режимы обработки, гарантирующие высокое качество поверхности.

Структура и содержание диссертации

Представленная диссертация включает введение, четыре главы, заключение, список литературы из 166 источников и 18 приложений. Общий объем работы составляет 214 страниц, которые содержат 82 иллюстрации и 11 таблиц.

В введении представлена ключевая информация о диссертационном исследовании. Обоснована актуальность выбранной темы. Сформулированы цель, задачи и методология работы. Раскрыты научная новизна и практическая значимость полученных результатов. Приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлен системный анализ технологических проблем, возникающих при шлифовании заготовок деталей из титановых сплавов, с выделением ключевых факторов, ограничивающих эффективность процесса шлифования. Проведен критический обзор существующих методов повышения эффективности шлифования, в том числе применения ПШК. На основе анализа преимуществ и недостатков различных конструктивных решений доказана научная и практическая целесообразность использования прерывистых кругов именно на вулканитовой связке, обладающей комплексом демпфирующих и самозатачивающихся свойств. Теоретически обоснована рабочая гипотеза о том, что применение такой связки позволяет не только снизить теплонапряженность в зоне резания, но и улучшить динамические характеристики технологической системы за счет частичного поглощения энергии удара при контакте абразивных сегментов с обрабатываемой поверхностью.

Во второй главе представлены разработка и обоснование параметров конструкции ПШК. Предложена сборная схема инструмента с креплением стандартных абразивных брусков, что обеспечивает снижение материалоемкости и упрощение эксплуатации. Центральное место в главе занимает комплексное исследование, в ходе которого установлены количественные взаимосвязи между числом абразивных сегментов, скоростями подачи и вращения круга, и такими ключевыми выходными параметрами, как высота волнистости и условие непрерывности контакта. Полученные результаты легли в основу методики выбора конструктивных параметров круга, направленной на достижение компромисса между тепловым режимом обработки и геометрическим качеством поверхности.

В третьей главе представлен комплексный анализ работоспособности абразивных сегментов. Проведено детальное моделирование напряженно-деформированного состояния сегментов при различных эксплуатационных нагрузках с использованием метода конечных элементов. Выполнена оценка

статической и динамической прочности конструкции при воздействии центробежных сил и силовых нагрузок в процессе резания. Экспериментально исследованы демпфирующие свойства материала на вулканитовой связке с определением коэффициента сопротивления. Установлены критические параметры нагрузки, обеспечивающие безопасную эксплуатацию инструмента. Разработаны методики расчета предельных рабочих скоростей вращения шлифовального круга. Проанализировано влияние геометрических параметров сегментов на концентрацию напряжений в зонах крепления.

В четвертой главе представлено детальное описание методики проведения экспериментальных исследований. Разработана программа испытаний, включающая оценку вибронагруженности технологической системы, контроль температурного режима в зоне резания и анализ качества обработанной поверхности. Приведены характеристики используемого оборудования и измерительной аппаратуры. Проанализированы результаты экспериментальных данных, демонстрирующие влияние конструктивных параметров ПШК на вулканитовой связке на технологические показатели процесса шлифования. Проведена статистическая обработка экспериментальных данных с построением регрессионных моделей. Дана количественная оценка эффективности предложенных решений, по сравнению с традиционными аналогами.

Установлена, эффективность применения ПШК на вулканитовой связке: снижение вибраций на 15% в сравнении с ПШК на бакелитовой и на 26 % – с керамической связкой, параметр Ra шероховатости обработанной поверхности снижается на 15 % в сравнении с ПШК на керамической связке, снижение температуры в зоне шлифования на 11%.

В приложениях представлены вспомогательные материалы, включающие таблицы с исходными данными и результатами исследований, графические зависимости, а также иллюстрации, детализирующие и дополняющие положения, изложенные в диссертационной работе. Приведены акты опытно-промышленных испытаний ПШК на вулканитовой связке, успешно проведенных на предприятиях ОАО «Авиаагрегат» и АО «Агрегат». Результаты работы также внедрены в учебный процесс при подготовке бакалавров и магистров по направлению подготовки «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».

Основные научные результаты и их значимость для науки и производства

В рецензируемой диссертации можно выделить следующие наиболее существенные результаты, имеющие значение для науки и производства.

Основным научным результатом диссертации следует считать разработку методологии рационального проектирования и применения ПШК

на вулканитовой связке, направленной на снижение теплонапряженности и вибрационной нагрузки при шлифовании титановых сплавов.

К результатам, обладающим научной новизной, относятся следующие отличительные черты выполненного исследования:

1. Математические зависимости для определения предельной рабочей скорости разработанной конструкции ПШК на вулканитовой связке, обеспечивающие безопасную эксплуатацию инструмента.

2. Имитационные модели и результаты численного моделирования напряженно-деформированного состояния абразивных сегментов и виброперемещений оси ПШК, устанавливающие взаимосвязь между физико-механическими характеристиками вулканитовой связки, конструктивными параметрами круга и динамическим поведением технологической системы.

3. Аналитическая теплофизическая модель для расчета средней контактной температуры в зоне резания при прерывистом шлифовании, комплексно учитывающая периодический характер нагрева от абразивных сегментов и охлаждения в зоне впадин круга.

4. Регрессионные математические модели, отражающие взаимосвязь между вибрационными процессами, конструктивными характеристиками ПШК, режимами шлифования и геометрическими параметрами обработанной поверхности.

Основная практическая ценность работы состоит в повышении производительности и качества операций плоского шлифования заготовок из титановых сплавов при полном исключении брака от шлифовочных прижогов. Также практическую ценность имеют следующие разработки:

1. Конструкция сборного ПШК на вулканитовой связке и технология его изготовления, обеспечивающие технологичность, ремонтпригодность и снижение расхода абразивного материала.

2. Методика расчета конструктивных элементов ПШК и рекомендации по проектированию параметров процесса шлифования, позволяющие целенаправленно выбирать рациональные режимы обработки для конкретных титановых сплавов.

3. Результаты экспериментальных исследований и опытно-промышленных испытаний, проведенных на предприятиях ОАО «Авиаагрегат» и АО «Агрегат», подтвердили, что применение разработанного ПШК позволяет повысить производительность обработки на 12–20%, снизить уровень вибраций на 15–26%, параметр шероховатости R_a — на 15% и полностью исключить брак от прижогов. Годовой экономический эффект от внедрения на ОАО «Авиаагрегат» составил 1 325 391,6 руб.

В ходе выполнения диссертации автор получил научно-значимые для технологии абразивной обработки результаты, имеющие существенное значение в рамках соответствующей научной специальности.

Практическое значение результатов диссертации

Результаты работы могут быть рекомендованы к использованию на машиностроительных предприятиях авиационного и общего профиля, применяющих при производстве изделий из титановых сплавов на операциях плоского шлифования.

Достоверность полученных результатов сомнений не вызывает. Положения, выносимые на защиту, обоснованы корректным использованием современных методов математического и конечно-элементного моделирования, статистической обработки результатов лабораторных экспериментов и результатами опытно-промышленных испытаний разработанного прерывистого шлифовального круга. Теоретические результаты подтверждаются сопоставлением данных, полученных автором в ходе экспериментальных исследований, с результатами других исследователей.

Основные результаты диссертационной работы отражены в 9 публикациях, из них 3 опубликованы в журналах, входящих в перечень ВАК, 1 статья индексируется в базе цитирования Scopus, 5 работ опубликованы в изданиях, рекомендованных РИНЦ.

Структура диссертации является логически стройной, отражает включенный в нее материал, главы равноценны; претензий к языку и стилю изложения нет. Диссертация написана ясным, технически грамотным языком.

Качество оформления диссертации является достаточно высоким, к нему имеются лишь небольшие замечания, на которые автору указано ниже.

Замечания по диссертационной работе

1. В названии диссертации не в полной мере отражена разработка методологии проектирования и расчетного обоснования параметров прерывистого шлифовального круга, являющаяся ключевым научным результатом работы.
2. При анализе литературы не приведены сравнительные данные по эффективности применения алмазных шлифовальных кругов и кругов из карбида кремния зеленого при шлифовании титановых сплавов.
3. В работе используются термины «рациональные» и «оптимальные» режимы резания без четкого разграничения их смыслового содержания и конкретизации критериев, по которым режим признается оптимальным.
4. Разработанные аналитические модели для определения температуры в зоне шлифования и силовых нагрузок, несмотря на проведенную верификацию численным моделированием, требуют более широкой экспериментальной проверки для большего диапазона марок титановых сплавов и режимов обработки.
5. В положениях, выносимых на защиту, и в пунктах научной новизны недостаточно раскрыта суть и конкретное содержание методических рекомендаций по проектированию технологического процесса, которые

- сводятся к применению разработанных математических моделей без детализации самого алгоритма принятия технологических решений.
6. Не в полной мере исследовано и описано в работе поведение разработанного прерывистого круга при шлифовании титановых сплавов с различной склонностью к налипанию на абразивные зерна и как это влияет на стабильность геометрических параметров поверхности в течение времени стойкости инструмента.
 7. На некоторых графиках приведены недостаточно информативные подписи без расшифровки физической сущности демонстрируемых зависимостей в самом описании рисунка.

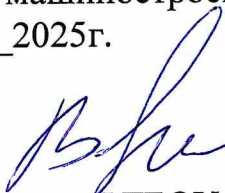
Заключение

Таким образом, с учетом отмеченных замечаний, считаем, что диссертация Гордиенко Ярослава Михайловича, выполненная на тему «Повышение эффективности шлифования заготовок деталей из титановых сплавов за счет рационального применения прерывистых кругов на вулканитовой связке» является законченным научным исследованием, в котором решена важная научно-техническая задача, связанная с повышением эффективности и качества процесса шлифования труднообрабатываемых титановых сплавов.

Представленные теоретические, экспериментальные и практические результаты позволяют заключить, что рассматриваемая работа соответствует требованиям п. п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор – Гордиенко Ярослав Михайлович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

Отзыв обсужден и принят единогласно на заседании кафедры «Инновационные технологии машиностроения» ФГБОУ ВО «ПНИПУ» протокол № 4 от «26» ноября 2025г.

Зам. заведующего кафедрой



Макаров Владимир Фёдорович

Доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», кафедра «Инновационные технологии машиностроения». Специальность 05.03.01 - Процессы механической и физико-технической обработки, станки и инструмент. Адрес: 614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский пр., 29. Тел.: (342) 2198236, адрес электронной почты makarovv@pstu.ru



Макаров В.Ф.
Ю.В. Кривцова