

**ЗАСЕДАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 99.2.001.02**

**25 декабря 2025 г.**

**Повестка дня**

**ЗАЩИТА ДИССЕРТАЦИИ Гордиенко Ярослава Михайловича  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ  
НАУК**

**«ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ШЛИФОВАНИЯ ЗАГОТОВОК  
ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ЗА СЧЕТ РАЦИОНАЛЬНОГО  
ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕРЫВИСТЫХ КРУГОВ НА ВУЛКАНИТОВОЙ  
СВЯЗКЕ»**

**Специальность: 2.5.5 – Технология и оборудование механической и  
физико-технической обработки**

**Официальные оппоненты:**

**Волков Дмитрий Иванович** – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Инновационное машиностроение» ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева».

**Носенко Владимир Андреевич** – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология и оборудование машиностроительных производств» Волжского политехнического института (филиала) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», г. Волжский.

**Ведущая организация:** ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь.

ЗАСЕДАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 99.2.001.02  
25 ДЕКАБРЯ 2025 г.

На заседании присутствовали члены Совета:

1. Табаков В.П.	д-р. техн. наук, профессор	2.5.5 – технические науки
2. Веткасов Н.И.	д-р. техн. наук, доцент	2.5.6 – технические науки
3. Денисенко А. Ф.	д-р. техн. наук, профессор	2.5.5 – технические науки
4. Киселев Е.С.	д-р. техн. наук, профессор	2.5.6 – технические науки
5. Клячкин В.Н.	д-р. техн. наук, профессор	2.5.5 – технические науки
6. Ковальновов В.Н.	д-р. техн. наук, доцент	2.5.6 – технические науки
7. Лобанов Д.В.	д-р. техн. наук, доцент	2.5.6 – технические науки
8. Носов Н.В.	д-р. техн. наук, профессор	2.5.6 – технические науки
9. Унянин А.Н.	д-р. техн. наук, доцент	2.5.5 – технические науки
10. Епифанов В.В.	д-р. техн. наук, доцент	2.5.5 – технические науки

Председатель диссертационного совета  
д.т.н., профессор



Табаков В.П.

Ученый секретарь диссертационного совета  
д.т.н., доцент

Унянин А.Н.

**Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

Уважаемые коллеги, на заседании нашего совета из состава 14 человек присутствует 10 человек. Кворум у нас 10 человек, кворум имеется. Повестка дня известна. Есть замечания, предложения? Проголосуем за нее. Единогласно.

По специальности 2.5.5 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки на заседании присутствует 5 докторов наук, т.е. в этом плане наше заседание правомочно. Объявляется защита диссертации Гордиенко Ярослава Михайловича на соискание ученой степени кандидата технических наук по теме: «Повышение эффективности шлифования заготовок деталей из титановых сплавов за счет рационального применения прерывистых кругов на вулканической связке».

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет».

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Технология машиностроения, станки и инструменты» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» Гришин Роман Георгиевич.

**Официальные оппоненты:**

Волков Дмитрий Иванович – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Инновационное машиностроение» ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева»;

Носенко Владимир Андреевич – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология и оборудование машиностроительных производств» Волжского политехнического института (филиала) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», г. Волжский.

Письменные согласия на оппонирование данной работы от них были своевременно получены.

Волков Дмитрий Иванович на заседании присутствует.

Носенко Владимир Андреевич на заседании отсутствует, по уважительной причине, соответствующее заявление от него было получено. Прошу за данное решение проголосовать.

Ведущая организация: ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь.

Слово предоставляется ученому секретарю – доктору технических наук Уняину Александру Николаевичу для оглашения документов из личного дела соискателя.

**Ученый секретарь – д-р техн. наук, доцент Уняин А. Н.**

Уважаемые коллеги! Соискателем Гордиенко Ярославом Михайловичем в диссертационный совет представлены все документы, необходимые для защиты кандидатской диссертации. Ходатайство организации где выполнялась работа о предоставлении диссертации в совет, заявление соискателя ученой степени, подтверждение о размещении на сайте организации полного текста диссертации, заверенные копии документов установленного образца о высшем образовании, в

данном случае диплом магистра и диплом об окончании аспирантуры, документы о сдаче кандидатских экзаменов, диссертация в электронном виде и на бумажном носителе, положительное заключение организации, отзыв научного руководителя. Все документы личного дела оформлены в соответствии с требованиями положения ВАК. Основные положения диссертации отражены Гордиенко Ярославом Михайловичем в 9 печатных работах из них 3 в изданиях рекомендованных ВАК Российской Федерации, 1 работа опубликована в издании, индексированном в базе Scopus и 5 в изданиях рекомендованных РИНЦ Российской Федерации. Соискатель представлен к защите 23.10.2025 г., протокол № 86. Объявление о защите размещено на сайте ВАК Российской Федерации 24.10.2025 г.

**Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

Есть вопросы к Александру Николаевичу? Нет. К соискателю? Нет.

Ярослав Михайлович, Вам предоставляется слово для изложения доклада Вашей диссертации.

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Здравствуйте уважаемые члены диссертационного совета!

Тема моей диссертационной работы: «Повышение эффективности шлифования заготовок деталей из титановых сплавов за счет рационального применения прерывистых кругов на вулканитовой связке». [Слайд 1].

Титан и его сплавы являются стратегическими конструкционными материалами в авиастроении, судостроении и других отраслях. Однако их низкая обрабатываемость, особенно при шлифовании, создаёт серьёзные проблемы. Основная проблема – критический перегрев в зоне обработки, приводящий к прижогам, изменению структуры материала и шаржированию. Традиционное решение – использование прерывистых шлифовальных кругов, которые снижают температурную нагрузку. Но они имеют серьёзный недостаток: вызывают интенсивные вибрации, что, в свою очередь, ухудшает качество поверхности, увеличивает волнистость и сокращает стойкость инструмента. Таким образом, возникает технологическое противоречие: чтобы избежать перегрева, нужны прерывистые круги, но, чтобы обеспечить качество поверхности, их применение проблематично. Научная задача исследования – улучшить качество обработки титановых сплавов за счёт применения прерывистых кругов, обеспечив при этом одновременный контроль температуры и вибраций в зоне шлифования. [Слайд 2].

Для системного решения этой задачи мы структурировали технологическую систему шлифования, выделив управляемые и неуправляемые параметры. Связка абразивного круга традиционно рассматривается как заданное, неизменное свойство инструмента. Однако именно её свойства напрямую влияют на физику процесса. Поэтому принципиальное решение заключалось в том, чтобы превратить тип связки из неуправляемого параметра в управляемый рычаг, т.е. реализовать не просто подбор режимов для существующего инструмента, а целенаправленное проектирование нового инструмента – прерывистого круга на вулканитовой связке, свойства которой –

повышенная упругость и демпфирование потенциально могут решить обе проблемы одновременно: уменьшить температуру и вибрации. [Слайд 3].

Прерывистое шлифование это технология с двумя сторонами. С одной стороны, она даёт нам критические преимущества для обработки титана: снижение температуры, эффективный отвод стружки и подвод СОЖ в зону шлифования. С другой – мы получаем неизбежные технологические издержки: рост вибраций, волнистости и риска снижения стойкости инструмента. Поэтому путь к повышению эффективности лежит не в отказе от этого метода, а в его целенаправленном совершенствовании. [Слайд 4].

В качестве материала связки был выбран вулканит. Прочность и безопасность: вулканит обладает достаточной прочностью для работы на высоких скоростях. Самозатачивание: благодаря меньшей твёрдости связки затупленные абразивные зёрна своевременно вырываются, обнажая новые острые режущие кромки. Демпфирующая способность: вулканит имеет высокую объёмную энергию упругости, что позволяет эффективно поглощать ударные нагрузки от прерывистого резания. Кроме того, упругая связка способствует вовлечению в резание до 80% абразивных зёрен. Таким образом, вулканитовая связка – это не просто альтернативный материал, а целенаправленно выбранный инструмент для управления процессом. [Слайд 5].

Анализ существующих исследований показал, что в целом прерывистое шлифование является предметом активных изысканий как в России, так и за рубежом. Однако комплексное применение именно вулканитовой связки в ПШК для титановых сплавов остаётся недостаточно изученным. Существующие решения часто сосредотачиваются либо на конструкции круга, либо на сложных демпфирующих системах, либо на отдельных режимах обработки. Наша работа занимает свою нишу: мы предлагаем не усложнять конструкцию дополнительными элементами, а использовать внутренние свойства самой связки – вулканизита как готового демпфера. [Слайд 6].

Таким образом, была сформулирована цель работы: повышение эффективности процесса плоского шлифования заготовок из титановых сплавов за счёт рационального проектирования и применения прерывистых кругов на вулканитовой связке. Для её достижения решён комплекс взаимосвязанных задач: проектирование и обоснование конструкции инструмента; всестороннее моделирование рабочего процесса; экспериментальное подтверждение и внедрение в действующее производство. [Слайд 7].

В результате проделанной работы получен комплекс научных и практических результатов, научная новизна работы заключается в комплексном исследовании, математическом моделировании процесса прерывистого шлифования заготовок из титановых сплавов. Практическая значимость заключается в том, что разработан и внедрен комплекс технологических решений, также представленный в раздаточном материале. [Слайд 8].

Ключевой этап – проектирование геометрии инструмента. Для этого были разработаны две аналитические модели. Первая модель, представленная на слайде, это расчет гарантированного зазора между абразивными сегментами, ее

задача определить максимально допустимую длину абразивного сегмента при сохранении обязательного промежутка между ними. Этот промежуток является не просто конструктивным требованием, а необходимым условием для эффективного подвода СОЖ и отвода стружки. Вторая – модель прогнозирования волнистости. Она позволяет рассчитать высоту неровностей поверхности, возникающих из-за прерывистого характера работы круга. На их основе было выбрано оптимальное количество сегментов, что обеспечивает баланс между качеством поверхности и условиями охлаждения. [Слайд 9].

Рассмотрим, как работает вторая модель. На графиках показана зависимость волнистости от количества сегментов при разных скоростях круга. Ключевой вывод: при увеличении числа сегментов волнистость резко снижается, и при 16 сегментах её величина во всём диапазоне режимов не превышает 4 – 8 мкм. Однако здесь возникает важный компромисс: чем больше сегментов, тем ближе конструкция к сплошному кругу, что может ухудшить охлаждение. Поэтому выбор именно 16 сегментов – это баланс между приемлемым качеством поверхности и сохранением главного преимущества прерывистого шлифования – эффективного отвода тепла. [Слайд 10].

На основе проведённых расчётов была разработана финальная конструкция ПШК. Она представляет собой металлический корпус, по периферии которого в прямоугольных пазах kleевым соединением закреплены 16 стандартных абразивных сегментов на вулканитовой связке. [Слайд 11].

Следующий критически важный этап – обеспечение прочности и безопасности инструмента при высокоскоростном вращении. На основе существующих методик и требований ГОСТ были получены аналитические зависимости для определения предельной рабочей скорости ПШК. Формулы учитывают центробежные напряжения, геометрию сегментов и экспериментально определённые свойства материала связки: предел прочности 11,7 МПа, модуль упругости  $0,73 \cdot 10^5$  МПа. Для работы в открытой и закрытой зонах применяются разные коэффициенты, что позволяет адаптировать расчёты к конкретным условиям обработки. [Слайд 12].

Но аналитические расчёты дают усреднённые значения. Для более точной оценки было проведено детальное конечно-элементное моделирование напряжённо-деформированного состояния абразивного сегмента. Даже на расчётной предельной скорости максимальные напряжения в опасном сечении не превышают 13,8 МПа. Сравнивая это с экспериментальным пределом прочности на сжатие (51,1 МПа), получаем гарантированный коэффициент запаса прочности свыше 3,7. Это подтверждает, что инструмент безопасен для работы при самых жёстких режимах. [Слайд 13].

Однако в реальной конструкции, особенно в местах крепления, возникает концентрация напряжений – локальное увеличение нагрузки, которое может привести к усталостному разрушению. Было проведено специальное исследование и определено, что коэффициент концентрации напряжений для нашей конструкции стабильно составляет около 2,16 – 2,18. Это значит, что фактические напряжения в зоне крепления более чем в 2 раза превышают

расчётные номинальные. Для инженерного применения была разработана регрессионная модель, связывающая этот коэффициент с шириной контактной площадки сегмента. Этот коэффициент был учтён при окончательном проектировании, что исключает риск усталостного разрушения. [Слайд 14].

Моделирование работы сегмента включало два качественно разных режима: упругую деформацию при вдавливании и процесс резания, сопровождающийся пластической деформацией и образованием стружки. Для расчёта пиковых, наиболее опасных нагрузок, возникающих в момент врезания сегмента, применялся коэффициент динамичности, учитывающий скорость процесса и свойства материала. Такой подход позволяет не просто оценить статические нагрузки, а смоделировать реальный ударный характер работы инструмента. [Слайд 15].

Результаты моделирования для этапа врезания показывают, что максимальные эквивалентные напряжения составляют около 3,0 МПа и локализуются в зоне контакта и крепления сегмента. Деформации носят локальный упругий характер и не превышают 8,29 мкм. Даже в самый опасный момент напряжения не превышают предела прочности материала сегмента, что подтверждает достаточную прочность конструкции. [Слайд 16].

Для стационарного режима работы, когда контакт сегмента с заготовкой становится непрерывным, напряжения ещё ниже – около 2,1 МПа, а деформации составляют 2,56 мкм. Таким образом, комплексное моделирование подтвердило: напряжения в сегментах не превышают 3,0 МПа при любом режиме контакта, обеспечивая коэффициент запаса прочности не менее 3,9. Это гарантирует безопасность и долговечность инструмента. [Слайд 17].

Теперь переходим к проверке ключевой гипотезы: способности вулканической связки гасить вибрации. Было проведено моделирование колебательной системы станка с учётом упругих и демпфирующих свойств разных связок круга. Амплитуда вибраций при использовании вулканической связки существенно ниже, чем при использовании «жёстких» керамической и бакелитовой связок. Количественно этот эффект оценивается как снижение вибраций на 3 – 25%. Это прямое подтверждение того, что вулканик выступает в роли эффективного демпфера, повышая стабильность процесса. [Слайд 18].

Ещё один критический аспект – тепловой. Существующие модели для прерывистого шлифования имеют ограничения: они не учитывают движение теплового источника и различия в теплофизических свойствах конкретных марок титановых сплавов. [Слайд 19].

Для решения этой проблемы была разработана усовершенствованная аналитическая теплофизическая модель. Её принципиальное отличие – представление процесса как серии быстрых тепловых импульсов: кратковременный нагрев в фазе контакта и интенсивное охлаждение в фазе впадины. Модель учитывает длительность этих фаз, скорость вращения круга и, что особенно важно, индивидуальные теплофизические коэффициенты конкретной марки сплава. [Слайд 20].

После проведения аналитических исследований был изготовлен ПШК на вулканитовой связке и проведены его прочностные испытания. Затем круг был установлен на универсальный плоскошлифовальный станок для технологических испытаний. [Слайд 21].

Для объективной оценки вибраций была создана измерительная система: на корпус шпинделя устанавливались вибропреобразователи, сигнал с которых регистрировался осциллографом. Это позволило сравнивать уровень вибраций при использовании кругов с разными типами связок в идентичных условиях. [Слайд 22].

Вторая и самая важная задача – непосредственное измерение температуры в зоне шлифования. Здесь принципиально важно получить достоверные данные. Был выбран и реализован бесконтактный оптический метод с использованием двухволнового пирометра спектрального отношения. Он лишен главных недостатков контактных термопар (теплоотвод, инерционность, сложность установки в зону резания). В заготовке было выполнено специальное глухое отверстие. На его дне, на минимальном расстоянии от обрабатываемой поверхности, размещался оптоволоконный объектив пирометра. Инфракрасное излучение от нагреваемой зоны шлифования передавалось по световоду к высокоскоростному приёмнику. [Слайд 23].

Посмотрим на первый практический результат – влияние связки на вибрации. Эксперименты при разных режимах и способах охлаждения (СОЖ и воздух) показали общую тенденцию: круг на вулканитовой связке обеспечивает наименьшую амплитуду вибраций. Количественно это даёт снижение вибрационной нагрузки на 15% и более по сравнению с бакелитовой и керамической связками. Это подтверждает расчётную модель: вулканит работает как эффективный демпфер, обеспечивая стабильность процесса шлифования. [Слайд 24].

Что касается температуры, то вулканитовая связка обеспечивает снижение температуры в зоне резания на 3 – 4% относительно бакелита и на 9 – 11% относительно керамики. Это преимущество наблюдается для всех исследованных марок титановых сплавов. [Слайд 25].

Качество поверхности также улучшается: шлифование кругом на вулканитовой связке обеспечивает наименьшую шероховатость для всех исследованных сплавов. Снижение составляет от 3% до 10% по сравнению с аналогами. [Слайд 26].

Был оценён и коэффициент шлифования – показатель, характеризующий отношение массы удаленного материала заготовки к массе изношенного объема шлифовального круга. Его значения варьируются в зависимости от режимов. Полученные данные позволили оценить стойкость инструмента и учесть коэффициент при выборе оптимальных режимов обработки. [Слайд 27].

На основе планирования эксперимента типа ПФЭ 2<sup>5</sup> и статистической обработки данных разработаны уравнения множественной линейной регрессии для прогнозирования качества поверхности и эффективности процесса при использовании ПШК на вулканитовой связке.

Модели позволяют прогнозировать параметры  $Ra$  и  $K$  с учётом режимов обработки, способа охлаждения и свойств материала. [Слайд 28].

Самым важным этапом стала опытно-промышленная проверка на предприятиях ОАО «Авиагрегат» при обработке ответственных деталей «Цилиндр» и «Цапфа» и АО «Агрегат» при обработке «Заслонка». Результаты внедрения: устранение брака от шлифовочных прижогов; повышение производительности на 12 – 20%; стабильное качество поверхности с параметром  $Ra = 0,1 – 0,3$  мкм. Годовой экономический эффект на предприятии ОАО «Авиагрегат» составил 1 325 391 рубль, причём основной вклад (около 95%) дало именно устранение брака. [Слайд 29].

В заключении представлены основные результаты работы, которые подробно изложены в раздаточном материале. Диссертационное исследование позволило решить актуальную проблему повышения эффективности шлифования титановых сплавов. Разработанный инструмент и технология на основе вулканической связки демонстрируют превосходство над аналогами: снижение температуры в зоне резания на 11%; снижение вибраций на 15 – 26%; снижение шероховатости на 5 – 15%. Практическое внедрение обеспечило рост производительности, исключение термического брака и значительный экономический эффект. Благодарю за внимание! Готов ответить на ваши вопросы. [Слайд 30 и 31].

**Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

Вопросы пожалуйста соискателю.

**Д-р техн. наук, доцент Епифанов В.В.**

Скажите пожалуйста, Вы сказали о повышении эффективности процесса шлифования прерывистым кругом. По каким параметрам оценивается повышение эффективности?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

За счет предложенного ПШК было улучшено качество обработки поверхности именно заготовок деталей из титановых сплавов, под качеством я подразумеваю ликвидацию прижогов.

**Д-р техн. наук, доцент Епифанов В.В.**

А где доказательства, на слайдах вроде не промелькнули. Где исследования шероховатости на разных режимах? Где исследования прижогов, исследования температуры т.е. технологические эксперименты? В раздаточном материале нет данной информации.

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Информация по всем технологическим экспериментам (итоговые диаграммы и графики) полностью описана в 4 главе текста диссертации.

**Д-р техн. наук, доцент Епифанов В.В.**

Покажите их. Где эта информация?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

На слайде представлены исследование вибраций, исследование температуры и исследование шероховатости, в четвертой главе диссертации

также присутствует огромный объём результатов при различных способах охлаждения.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Это понятно, но у Вас спрашивают о прижогах, а не о шероховатости. Шероховатость самый простой элемент измерения. Каким образом вы определяли наличие прижогов?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Визуально.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Как визуально?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Был использован микроскоп.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Но такая методика разве существует у нас? Визуальная? Вы на глазок побежали на титане определяли?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Нет, за счет исключительно микроскопа.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

А что значит, «за счет исключительно микроскопа»? Вы должны тогда были оценить металлографией изменения в структуре, а микроскоп для чего? Позволит оценить изменения в структуре? Есть у Вас эта информация?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

В процессе подбора режимов шлифования мы сознательно останавливались, не доводя обработку до появления визуальных дефектов на поверхности. Это было связано с тем, что вулканическая связка обладает невысокой жесткостью, и мы изначально работали в сравнительно мягких режимах, чтобы их контролировать.

**Д-р техн. наук, доцент Епифанов В.В.**

Можно я продолжу? Повышение эффективности от применения вашего круга и процесса, по сравнению с чем?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

По сравнению с аналогами.

**Д-р техн. наук, доцент Епифанов В.В.**

С какими?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

По сравнению со сплошными и прерывистыми кругами на основе различных связок.

**Д-р техн. наук, доцент Епифанов В.В.**

Где эксперименты? В раздаточных материалах сведений об этом нет. Где сплошным кругом, а где прерывистым? Прожоги, шероховатость, трудоемкость, где доказательства? Пусть со сплошным кругом.

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

В работе самое главное, сравнивал типы связок и...

**Д-р техн. наук, доцент Епифанов В.В.**

Покажите мне непосредственно, что было при сплошном круге и стало при прерывистом, где посмотреть можно на слайдах? В раздаточном материале этого нет?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Сократил в презентации, поскольку из-за большого объема четвертого раздела диссертации этот материал невозможно было разместить на слайдах.

**Д-р техн. наук, профессор Епифанов В.В.**

Откройте и покажите диссертацию.

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

(Показывает текст диссертации). Здесь представлено описание методики исследований и далее почти сорок страниц итоговых результирующих диаграмм, при различных связках...

**Д-р техн. наук, профессор Епифанов В.В.**

Где сплошной круг, а где прерывистый?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Вот (указывает в тексте диссертации), например, три сплошных и три прерывистых, режимы шлифования...

**Д-р техн. наук, профессор Епифанов В.В.**

Ну хорошо. Есть. Ну надо было бы вынести какие-то фрагменты в презентацию. Последний вопрос, я не знаю может, быть познавательный. Объем режущих зерен в сплошном круге больше, чем в прерывистом? А раз в прерывистом круге меньше, то и объём снимаемого металла за единицу времени будет меньше. Так откуда же повышение производительности?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

В самом начале доклада, где я рассказывал о положительных свойствах вулканической связки, (демонстрирует выдержку из слайда) отмечено, что использование упругой связки позволяет участвовать до восьмидесяти процентов абразивных зерен в процессе шлифования, за счет упругого поджатия самой связки.

**Д-р техн. наук, профессор Епифанов В.В.**

На плакате шесть представлены различные виды прерывистых кругов и типов пазов. Представлены разные исследователи. Николай Иванович Веткасов даже смазку вставлял в пазы, а вы почему приняли как-бы традиционную форму, не под наклоном, не в шахматном порядке. Чем обоснована ваша конструкция?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Ключевым обоснованием выбранной традиционной формы сегментов было обеспечение максимальной площади контакта периферии круга с заготовкой. В абразивных сегментах это напрямую увеличивает количество абразивных зерен, одновременно участвующих в работе. Конструктивно нельзя делать сегменты ни слишком большими (это ограничено прочностью и технологичностью), ни слишком маленькими (это снижает площадь контакта и производительность). Поэтому при проектировании мы искали оптимальный размер, который максимизирует эту площадь. А конструкции представлены на слайде для примера, т.к. их очень много.

**Д-р техн. наук, профессор Епифанов В.В.**

Много, да! Почему приняли именно такую форму круга? Традиционную скажем?

**Д-р техн. наук, профессор Епифанов В.В.**

Ну ладно. Последний вопрос. В моделях на девятом плакате, что Вами предложено? Какие параметры ввели и для чего?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

В модель были введены ключевые параметры из работ предшественников. А именно: из модели Капанца Э.Ф. был взят угловой параметр, соответствующий одному сегменту. Он был интегрирован в аналитическую модель Якимова А.В., описывающую процесс. Такое объединение позволило нашей уточнённой модели прогнозировать представленные параметры.

**Д-р техн. наук, профессор Епифанов В.В.**

Нет вопросов.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Основная особенность титановых сплавов заключается в том, что при избыточной температуре, возникающей в зоне шлифования, есть опасность изменение структуры поверхности. Какой структуры?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Альфированный слой? Вы имеете ввиду? Остаточные напряжения? Шаржирование?

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Да, да. Как вы его контролировали? Был бета титан или альфа + бета, как можно прижоги посмотреть? Получался альфа прижог, как вы его контролировали? Микроскопом?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Такого сложного прибора для исследования микроструктуры не было. Критических режимов не было в работе, которые могли способствовать образованию данных дефектов.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Мы еще вернемся к этому. Значит опять, если смотреть рекомендации, титановые славы вообще раньше запрещалось шлифовать. Вообще. Вот только когда у нас была лаборатория смазывающе - охлаждающих жидкостей, мы выпустили норматив после длительных испытаний с применением охлаждающей жидкости, но опять, для кругов на керамической связке, о вулканите ничего нет. Фамилия Кащук В.А. вам известна? Зря. Вот нам с Дмитрием Ивановичем очень хорошо известна. В свое время он издал справочник шлифовщика и опирался исключительно на шлифование авиационных материалов, не на одной странице я не нашел шлифование вулканитовыми кругами. В чем тут дело то? Кащук В.А. неверно рассудил? Покойный, к сожалению.

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

А разве запрещается шлифовать кругами на вулканитовой связке?

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Конечно. Вообще в авиационной промышленности любые процессы регламентированы либо руководящими техническими материалами, либо рекомендациями, если кто-то в цехе нарушает эти нормативные материалы и не дай бог, что-то там случится в воздухе. И еще известно, что титановые сплавы шлифуют на скоростях не больше тридцати девяти м/с, а вы в экспериментах до восьмидесяти м/с доводили.

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

В начале были именно расчетные модели, в ходе экспериментов скорость вращения была от девятнадцати м/с до сорока девяти м/с.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Даже сорок девять м/с, это выше, чем тридцать девять м/с.

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Да. сорок девять м/с использовалось исключительно для исследования коэффициента шлифования. В основном режимы в работе от девятнадцати м/с до тридцати девяти м/с.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Вот есть еще у нас восемнадцатый плакат. При рассмотрении этого плаката вы высказались, что была выдвинута гипотеза, что вулканические круги имеют демпфирующие свойства, а кем она выдвинута? Вами, эта гипотеза?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Вообще в литературе присутствует информация, что данные круги гибкие и эластичные, почему они не могут демпфировать вибрации?

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Да они могут, это всем известно. Любая резина, а вулканит вообще-то это резиносодержащая связка, снижает вибрации, например на автомобиле. Не делают колесо как в телеге сплошным железным, а из резины, в чем тут гипотеза? И кем она выдвинута? Это общеизвестный факт.

**Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

Может вы имели ввиду, что это прерывистые круги и там что-то подругому будем? Получше, похуже?

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Прерывистые круги у нас как раз увеличивают вибрации. Это известно. Когда Сипайлов Николай Иванович защищался, он поэтому что-то забивал в связку. Пытался внести какую-то вставку.

**Д-р техн. наук, профессор Епифанов В.В.**

Нет, тем более круг, я так понял, металлический. Только вставки...

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Вулканические, да!

**Д-р техн. наук, профессор Епифанов В.В.**

А сам диск то металлический?

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Да.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Девятнадцатый плакат можно? Вот представлена формула громадная, существующие модели. Эта чья модель то?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Якимова А.В.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Ну и что? Вы ее как-то модернизировали или изменили?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Добавили в модель свойства титановых сплавов.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Какие свойства?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Теплостойкость.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Что это? Я не знаю такого.

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Теплофизические свойства.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Теплоемкость?

**Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

Где в формуле такой параметр, покажите.

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Лямбда – теплопроводность.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Плотность, теплоемкость, вот в свое время по этим же делам, по температурным в Рыбинском авиационно-технологическом, академией тогда она была, защищал докторскую диссертацию Евгений Калинин. Фамилия вам известна, да?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Да.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Вот смотрите, под корнем там теплоемкость, плотность, и теплопроводность. Все эти показатели, откуда вы берете?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Из их методик.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Не понял, а значения, численные для титановых сплавов?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Из справочных материалов.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Это какие справочные материалы?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

В общем доступе есть, для различных марок титановых сплавов, их теплофизические и физико-механические свойства.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

А вы не обратили внимание, что там есть примечания, что эти все данные приведены при температуре двадцать градусов. А у вас триста пятьдесят, триста семьдесят и с изменением температуры все эти три показателя изменяются весьма широко. Есть справочник Григорьева, по-моему, «Тепломассообмен», там есть формулы соответствующие, показывающие, как изменяются эти параметры. Вы это не учитывали?

**Ученый секретарь – д-р техн. наук, доцент Унянин А. Н.**

Да. Он учитывал.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

А как? Где?

**Ученый секретарь – д-р техн. наук, доцент Унянин А. Н.**

Он взял при пятьсот градусов.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Что значит пятьсот? пятьсот градусов он взять не мог, вулканическая связка при 300 градусах уже расплавилась бы.

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Высокие температуры, они мгновенные, там нет установившегося процесса, чтобы постоянно было четыреста, пятьсот градусов. Предложенный измерительный прибор нивелирует недостатки термопар: потери сигнала, время, СОЖ, он сразу улавливал мгновенные температуры самые высокие, в среднем значения этих температур как раз составляли этот диапазон, плюс она концентрировалась в самой зоне резания на вершинах зерен, то есть она не аккумулировалась в саму связку.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

То есть вы контактную температуру, как я понял, не оценивали? Вы оценивали мгновенные что ли? При помощи ваших методик?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Мгновенные.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Мгновенные – это контакт абразивного зерна с заготовкой. Вы не могли вашей методикой оценить. Вы оценивали или пытали оценить – контактную, конечно, а не мгновенную.

**Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

У вас все, Евгений Степанович?

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Еще такой вопрос, как вы СОЖ в своих моделях учитывали? Способ подачи СОЖ? Модели какие-то были? Вы ведь работу Якимова А.В. смотрели?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Присутствует в четвертой главе, сейчас могу показать. Да, учитывается СОЖ.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Формула? Зависимость? На каком плакате? Где вы там говорили, что вы СОЖ учитывали.

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Экспериментальная выборка была как раз в сравнении прерывистого...

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Открывайте плакат, давайте посмотрим.

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Нет, нет, это итоговые плакаты, итоговые результаты в совокупности.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Хорошо, а где плакаты?

**Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

Так, еще вопросы, пожалуйста

**Д-р техн. наук, доцент Лобанов Д.В.**

У меня несколько вопросов, хотелось уточнить все-таки то, что не прозвучало в докладе, возможно вы это сделали в работе. Сегодня уже поднимался вопрос об обосновании параметров круга. Почему выбрана именно такая структура этого круга, где она может быть различная, материал связки, о нем многократно говорилось и зернистость. Если Вы говорите о температурах, которые в момент резания образуются, да, то надо понимать, что эти температуры будут влиять в том числе и на саму связку, которую Вы выбрали. Насколько этот вопрос Вами был изучен при выборе именно этой связки, хотелось бы услышать? Ну и к этому же вопросу о температуре у меня еще дополнение. Скажите пожалуйста, рассматривалась зона контакта круга с обрабатываемым материалом, там происходят под действием температур окислительные процессы, могут какие-то пленки образовываться, которые по-разному могут влиять на производительность, на качество, там может быть и адгезия какая-то и диффузия, эти вопросы вы рассматривали?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Пассивирующие свойства СОЖ не рассматривались, адгезия при обработке титановых сплавов рассматривалась только в микрообъеме, непосредственно визуально определялась на круге и на обрабатываемой поверхности: микровыровы или шаржирование также визуально оценивались.

**Д-р техн. наук, доцент Лобанов Д.В.**

Евгений Степанович прав, мы потому и предлагали керамические, а не вулканитовые связки, потому что они лучше выдерживают температуры, которые могли локально образоваться, тем более вот в моделях, я так понимаю. Вы без СОЖ все рассматривали, да?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

И с СОЖ, и без СОЖ.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

А что это за свойства СОЖ – пассивирующее?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Это дополнительный эффект непосредственно при обработке титановых сплавов.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Есть ГОСТ, в котором утверждается, что есть смазочные действия, охлаждающие, моющие и демпфирующие. А вы предлагаете какое-то новое действие - пассивирующее?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Нет, я сказал, что не исследовал это свойство.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

А оно есть, нет? Вот я признаюсь, в первый раз в вашей работе услышал, что есть пассивирующее действие.

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Сейчас, прошу прощения, сейчас я скажу. Второй оппонент, Владимир Андреевич, задавал вопрос «Следует отметить, что при шлифовании титановых сплавов СОЖ выполняет не только охлаждающие, но и пассивирующие действия».

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

И вы с ним сразу согласились, да? Является ли это одним из аспектов смазочного действия?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Является.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Ну так надо терминологией владеть, научной, а не просто. Ну сказал, ошибся, Владимир Андреевич, я ему уже кстати об этом сказал в телефонном звонке.

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Я обязательно это учту.

**Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

Будут вопросы еще?

**Д-р техн. наук, доцент Лобанов Д.В.**

Да, да, есть еще. У меня с точки зрения конструкции, очень хотелось бы уточнить, что вы сконструировали с определенным количеством элементов, вы как-то это прогнозировали? Как количество элементов могло влиять на производительность обработки и на качество обработки, есть ли это здесь или в работе это есть? Потому что здесь не прозвучало.

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Да, количество сегментов подбиралось осознанно. Главным был баланс: чтобы пазы обеспечивали хорошее охлаждение, а общая длина режущих кромок достаточную производительность.

**Д-р техн. наук, доцент Лобанов Д.В.**

То есть вы не рассматривали количество элементов, как составляющую, влияющую на качество, да?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Нет, не рассматривал.

**Д-р техн. наук, доцент Лобанов Д.В.**

И тогда последний вопрос. Несколько моделей было представлено, но, к сожалению, не прозвучало, а как оценивалась их адекватность. Потому что меня,

например, удивила модель, которая у вас в виде полинома, по-моему, шестой степени, предлагается. А на сколько это необходимо было доводить до такой степени? Как вы адекватность проверяли, только по коэффициенту регрессии и все?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Более меньший полином давал очень крупную погрешность, поэтому.

**Д-р техн. наук, доцент Лобанов Д.В.**

Вы оценивали только по R квадрат?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Да.

**Д-р техн. наук, доцент Лобанов Д.В.**

Больше никак?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Больше никак.

**Д-р техн. наук, доцент Лобанов Д.В.**

Спасибо, у меня нет вопросов.

**Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

Так, пожалуйста, кто еще? Так вопросы, пожалуйста. Николай Васильевич, вы хотите?

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н. В.**

Да. Я хотел, Ярослав Михайлович, уточнить, когда вы определяли коэффициент концентрации напряжений, вы какой-то литературой воспользовались? Как вы это определяли?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Есть существующая методика, где непосредственно, в самых напряженных зонах (в моем случае места kleевого соединения сегментов) измеряется как раз вот этот коэффициент. Номинальные напряжения, эквивалентные, радиальные...

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н. В.**

В какой напряженной зоне вы это измеряли?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Это зона, в которой скапливаются напряжения, возникшие из-за избыточных сил, и их исследования позволяют определить прочность.

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н. В.**

Вы тут не ссылаетесь ни на какую литературу, вы сами ее...

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Нет, нет, это учитывается в диссертации.

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н. В.**

Это предполагает такой коэффициент? И как вы им воспользовались?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

При расчетах это дополнительная проверка на прочность, перед этапом моделирования уже непосредственно.

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н. В.**

Ну хорошо, ладно. Вот Евгений Степанович перехватил, зачем вы восемьдесят м/с исследовали?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

В начале диссертационной работы, это были теоретические расчетные данные, не экспериментальные.

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н. В.**

Все мы знаем, что используется тридцать пять, сорок м/с при обработке титановых сплавов.

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Экспериментальная выборка не подразумевала восемьдесят м/с, это на этапе расчетов рассматривалось.

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н. В.**

Так же еще вибрации. Вы как-то оценивали влияние вибраций на образование волнистости или нет?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Конечно, это напрямую дает...

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н. В.**

Где это? Я нигде не нашел.

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Представлено в 4 главе, тоже отдельный объем работы.

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Что вы подразумевали под волнистостью? Высота волны, шаг, коэффициент волнистости, коэффициент гладкости? Там есть разные параметры.

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Волнистость – это волны, которые образуются на обрабатываемой поверхности при использовании этих прерывистых кругов.

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н. В.**

Высота волнистости?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Да. Высота волнистости.

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н. В.**

Шаг волнистости?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Высота волнистости.

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н. В.**

Высота волнистости, да? Но вот я посмотрел, вибрации-то очень незначительные и могли ли эти вибрации повлиять именно на высоту волнистости?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Да. Обязательно.

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н. В.**

Прилуцкий Ванцетти Александрович очень много занимался волнистостью, и он говорил, что навряд ли это вибрации. Это просто режимные параметры так надо подобрать. То есть схема, мы с вами говорили когда-то, перерезание волн, потому что это прерывистое шлифование и понятно, как оно влияет на волнистость. Вот здесь я хотел бы услышать просто связь вибрации с

волнистостью, это установлено? Чем меньше, тем лучше или чем больше, тем хуже?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Все зависит от режимов резания, конечно.

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н. В.**

У вас как-то это оценено в работе?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Есть небольшой отдельный раздел, где рассматривалась волнистость в зависимости от количества абразивных сегментов, когда их было больше – волнистость уменьшалась, когда меньше (абразивных сегментов) – волнистость увеличивается.

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н. В.**

Есть результаты или это только в работе?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Это есть в работе.

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н. В.**

Ещё я хотел бы, чтобы вы мне разъяснили экспериментальное определение температуры, школа профессора Резникова пока не исчезла, и мы много знаем по экспериментальным температурам, но вы предлагаете новую методику?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Это не новая методика, эта методика использовалась в Китае с помощью данного прибора, и она не просто считывает температуру, она в инфракрасном спектре снимает данные.

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н. В.**

А результаты какие? Информация-то какая с прибора, с датчиков, в виде чего?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Мгновенное получение показаний температуры из зоны шлифования.

**Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

В виде чего? Лампочка загорается?

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н. В.**

В виде чего? Да, лампочка загорается?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Температура, градусы.

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н. В.**

Сразу компьютер выдает градусы?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Да, за определенный промежуток времени, там можно...

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н. В.**

Зависит от площади, которую анализируете?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Конечно.

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н. В.**

Какую площадь вот здесь анализировали?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Отверстия.

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н. В.**

Какого размера? Вы замерили мгновенную температуру на поверхности зерна?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Нет, подготовленная заготовка ступенчатая, у нее было просверлено снизу отверстие, так чтобы осталась вверху небольшая пленка. Там два или три миллиметра толщина пленочки.

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н. В.**

Слой два мм?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Да такой слой, и за несколько проходов круга производится обработка.

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н. В.**

Измерялась температура на дне этого отверстия?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Да.

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н. В.**

То есть не было сквозного отверстия?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Сквозного отверстия не было.

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н. В.**

То есть это интегральная температура, которая распространялась на эту глубину два миллиметра?

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Два миллиметра? Там тонкая пластинка нарисована без размеров.

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н. В.**

Я не знаю.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Размера нет там.

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н. В.**

Здесь она изменялась, да? Как вы переводили вот эту интегральную температуру на поверхность контакта?

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Там микрометры.

**Ученый секретарь – д-р техн. наук, доцент Унянин А. Н.**

У него толщина в микрометрах.

**Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

Откройте слайд, поясните.

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Да, микрометры.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Несколько микрометров, а как она может существовать?

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н. В.**

Нет, это что за пленка, это даже не пленка.

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Но ее достаточно для...

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н. В.**

Это стружка титановая?

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Нет, целая стенка титана, но в несколько микрометров.

**Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

На этом плакате Т – это что такое?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Посадка.

**Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

Что значит посадка?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Тип соединения с натягом.

**Д-р техн. наук, профессор Денисенко А.Ф.**

Можно вопрос?

**Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

Да, пожалуйста.

**Д-р техн. наук, профессор Денисенко А.Ф.**

Восемнадцатый плакат можно открыть? Поясните, вам с какой целью была нужна эта динамическая модель, вы ее как-то использовали?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

На расчетно-подготовительном этапе использовалась эта динамическая модель (система), чтобы в дальнейшем, на этапе эксперимента, проверить и получить данные.

**Д-р техн. наук, профессор Денисенко А.Ф.**

А экспериментально вы подтверждали что? У вас есть расчетные зависимости по этой модели?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Да, демпфирующие свойства.

**Д-р техн. наук, профессор Денисенко А.Ф.**

Тогда поясните что такое приведенная масса шлифовального круга, приведенная радиальная жесткость? Что значит слово приведенная?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Это условия, полученные эмпирически.

**Д-р техн. наук, профессор Денисенко А.Ф.**

Я что-то не очень понимаю саму модель, у вас одномассовая система: масса круга, жесткость крепления к оправке, другая жесткость зоны обработки, да? Какова цель применения этой модели и к каким результатам она привела?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Описать поведение массы шлифовального круга в упрощённом виде, без детализации отдельных элементов.

**Д-р техн. наук, профессор Денисенко А.Ф.**

Не очень понятно. Как вы определили вынуждающую силу, она действует в зоне обработки?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

В программе можно задать материалу свойства и приложить определённую нагрузку. В данном случае в работе прикладывались нагрузки семьсот ньютон, пятьсот ньютон и триста ньютон, и исследовался динамический отклик системы.

**Д-р техн. наук, профессор Денисенко А.Ф.**

Разве никак не связана с режимами обработки эта сила?

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Какая сила?  $P_z$  или  $P_y$ ?

**Д-р техн. наук, профессор Денисенко А.Ф.**

Изображены вертикальные составляющие.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Нет, здесь круг нарисован, показано, что он вращается. Наверное, он просто давил и все. Нет стрелочки что вращается.

**Д-р техн. наук, профессор Денисенко А.Ф.**

Как просто давил? Используется частота вынуждающей силы в зависимости на двадцать четвертом рисунке.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Тогда какая?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Тангенсальная сила.

**Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

При шлифовании нет тангенсальных сил.

**Д-р техн. наук, профессор Денисенко А.Ф.**

А у него вся схема в радиальном направлении построена.

**Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

Величину этой силы из каких соображений брали? Она как-то связана с процессом резания?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Исследовались демпфирующие свойства, как ведет себя абразивный сегмент при приложении силы.

**Д-р техн. наук, профессор Денисенко А.Ф.**

Т.е. это делалось без вращения?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Да, без вращения.

**Д-р техн. наук, профессор Денисенко А.Ф.**

Т.е. на бруск давили с какой-то силой? Да?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Да, в рамках модели для сравнения демпфирующих свойств с аналогами на бакелитовой и керамической связках.

**Д-р техн. наук, профессор Денисенко А.Ф.**

Схема не корректно изображена. Результаты, приведенные на правом графике, очень плохо видно, поясните.

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Верхний?

**Д-р техн. наук, профессор Денисенко А.Ф.**

Да, верхний. Хотя-бы покажите, что амплитуда снижается на каком варианте.

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Хотелось бы объединить их, на графике совместно отображены три зависимости – для каждой связки. Из-за близости их численных значений визуально они сливаются в одну линию. Разнести их по разным осям не представлялось возможным, так как диапазоны значений очень близки.

**Д-р техн. наук, профессор Денисенко А.Ф.**

По горизонтальной оси что у Вас? В этом графике.

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Время и прикладываемая сила.

**Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

Так. Вот две оси – вертикальная и горизонтальная, что там написано? Там написано обозначение времени или нет?

**Д-р техн. наук, профессор Денисенко А.Ф.**

По вертикали, наверное, амплитуда, наверное. Всё-таки да?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Амплитуда в зависимости от прикладываемой силы.

**Д-р техн. наук, профессор Денисенко А.Ф.**

А вот по горизонтали, при чем тут время? Ладно, спасибо.

**Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

Николай Васильевич у Вас есть вопросы?

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н. В.**

Да, пожалуйста. Откройте двадцать седьмой плакат. Вот вы сказали – коэффициент шлифования. Что это такое, как вы понимаете?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Это отношение массы удаленного материала заготовки к массе изношенного объема шлифовального круга.

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н. В.**

Но как вы его определяли?

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Как вы его определяли?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Это только одним способом определить можно.

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н. В.**

Ну каким?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

На производстве – измерение размера заготовки и вылавливание изношенного абразива.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Как вылавливание?

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н. В.**

Нет, что? Отношение объема одного к объему другого?

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Объем сошлифованного материала к израсходованному абразиву.

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н. В.**

Ну это известно.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Ну это и есть коэффициент шлифования. Другого понятия нет.

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н. В.**

Ну он это сделал.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Говорит, что сделал. Заготовки мерил. Сколько сошлифовал.

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н. В.**

Вот коэффициент шлифования равен единице. Это что значит?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Это характеризует самый лучший коэффициент, т.е. при самых минимальных режимах резания, расход круга был самый минимальный. По мере ужесточения режима коэффициент падает.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Круг работает в режиме самозатачивания.

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н. В.**

Так получается. Все эти данные говорят о том, что работа круга идет в режиме самозатачивания.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

И это самый плохой режим. Потому что расход абразива высокий, круг моментально изнашивается.

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н. В.**

Да это большой расход абразива.

**Д-р техн. наук, доцент Ковальников В.Н.**

Слайд одиннадцать откроите. Одно из положений, выносимых на защиту вами и первый вывод по работе сформулирован так: «разработана конструкция прерывистого шлифовального круга». Сформулируйте пожалуйста отличительные признаки вашей конструкции.

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Рассчитаны унифицированные абразивные сегменты, которые можно изготовить в большом объеме и менять на оправке, которая изготовлена в простом варианте, т.е. можно изготовить несколько штук и использовать продолжительный период времени.

**Д-р техн. наук, доцент Ковальников В.Н.**

Т.е. количество сегментов, я правильно пониманию? И какое именно количество является оптимальным, наилучшим?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

В моей работе было взято шестнадцать абразивных сегментов. При этом обеспечивается достаточный размер впадины для отвода стружки, подвода СОЖ, охлаждения и необходимое качество поверхности. При меньшем количестве сегментов увеличиваются вибрации и ухудшается качество поверхности. При большем количестве сегментов конструкция круга приближается к сплошному кругу, в меньшей степени уменьшается температура.

**Д-р техн. наук, доцент Ковальнов В.Н.**

То есть, прерывистый шлифовальный круг с шестнадцатью сегментами — это ваше предложение? Это все отличительные признаки? Или еще какие-то есть?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Да и непосредственное использование вулканической связки. Предположительно, как возможного демпфера.

**Ученый секретарь – д-р техн. наук, доцент Унянин А. Н.**

Шестнадцать сегментов — это для круга диаметром двести миллиметров.

**Д-р техн. наук, доцент Ковальнов В.Н.**

А запатентовать пытались вашу разработку? Конструкцию с вашими отличительными признаками? Не пытались?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Все необходимые результаты для патента в работе присутствует т.е. в дальнейшем...

**Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

Вас спрашивают пытались или не пытались?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Нет. Не пытался. В дальнейшем работе это первоочередная задача.

**Д-р техн. наук, доцент Ковальнов В.Н.**

Нет вопросов.

**Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

Еще есть вопросы? Да, Николай Иванович пожалуйста.

**Д-р техн. наук, доцент Веткасов Н.И.**

Конструкция сегментов у Вас где-нибудь приведена? Вот здесь?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Конструкция, размеры вы имеете ввиду?

**Д-р техн. наук, доцент Веткасов Н.И.**

Форма?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Да. Непосредственно определенного размера, каждый абразивный сегмент, все они одинаковые.

**Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

Николай Иванович у вас спрашивает, есть ли где-то данные по размерам этих сегментов.

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Конечно.

**Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

Вот он и спрашивает, какие это размеры. Что из себя представляют.

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Глубина пазов в оправке под сегменты – десять миллиметров; высота выступа – десять миллиметров; ширина сегмента приведена; размеры приведены в тексте диссертации. Не учел, что нужно было подробнее продемонстрировать на слайдах. Сам круг имеет диаметр двести миллиметров.

**Д-р техн. наук, профессор Денисенко А.Ф.**

Не помешало бы.

**Д-р техн. наук, доцент Веткасов Н.И.**

Учитывали вы, что при износе круга, меняется коэффициент между рабочей частью и не рабочей?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Обязательно. Между длинами абразивного сегмента и впадины.

**Д-р техн. наук, доцент Веткасов Н.И.**

Ну и как это отразилось на конструкции?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Получил оптимальные размеры, которые максимально помогают использовать охлаждающие способности круга.

**Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П**

Есть еще вопросы? Вопросов больше нет. Будем технический перерыв делать? Нет. Тогда продолжаем работать. Слово предоставляется научному руководителю Гришину Р.Г.

**К-т техн. наук, доцент Гришин Р.Г.**

Гордиенко Ярослав Михайлович, 1995 года рождения, в 2019 году окончил Самарский государственный технический университет по направлению «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» и получил квалификацию магистр. В 2025 году окончил очную аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Самарский государственный технический университет» по направлению подготовки 15.06.01. – Машиностроение, профиль 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки)». Диссертация Гордиенко Я.М. посвящена актуальной тематике повышения эффективности шлифования заготовок деталей из титановых сплавов за счет рационального применения прерывистых кругов на вулканитовой связке. Перед автором был поставлен ряд задач по разработке конструкции прерывистого шлифовального круга на вулканитовой связке, оценке физико-механических свойств абразивных сегментов, выполнении конечно-элементного моделирования для оценки напряженно-деформированного состояния абразивных сегментов, разработке аналитической модели для расчета температурного поля в зоне резания при прерывистом плоском шлифовании путем уточнения теплофизических моделей теплового источника и нагреваемого тела, с учетом характеристик промышленных марок титановых сплавов, выполнении экспериментальной оценке работоспособности предложенной

конструкции прерывистого шлифовального круга на вулканитовой связке. С поставленными задачами Гордиенко Я.М. успешно справился, показав себя при этом самостоятельным творческим научным работником, целеустремленным исследователем, способным самостоятельно решать серьезные научно-технические задачи. Во время работы над диссертацией Гордиенко Я.М. освоил методы численного моделирования с использованием МКЭ, которые наряду с проведением натурных испытаний на действующем оборудовании, позволили успешно решить поставленные задачи. Совпадение теоретических положений с экспериментальными исследованиями является достаточным основанием для признания достоверности выводов и рекомендаций диссертационной работы. Полученные в диссертационной работе основные результаты и выводы отличаются научной новизной и имеют практическую ценность. Соискатель Гордиенко Я.М. в процессе работы над диссертацией показал, что он обладает хорошими навыками публичных выступлений, много и активно занимался публикацией полученных результатов. Работая в должности специалиста по учебно-методической работе деканата факультета "Машиностроение, металлургия и транспорт" Самарского государственного технического университета, он заслужил уважение коллег, общителен, коммуникабелен. На протяжении последних четырех лет выполнял обязанности заместителя декана по заочной форме обучения. Обладает профессиональными знаниями и имеет соответствующий потенциалу кандидата наук научный и культурный кругозор. Учитывая вышеизложенное, считаю, что Гордиенко Я.М. является сформировавшимся научным работником, его диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям к кандидатским диссертациям, а сам соискатель вполне достоин присуждения ему степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки). Научный руководитель: доцент кафедры «Технология машиностроения, станки и инструменты» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет».

**Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

Спасибо, Роман Георгиевич. Слово предоставляется ученому секретарю Унянину А. Н. для оглашения заключения организации, в которой выполнена работа, и отзыва ведущей организации.

**Ученый секретарь – д-р техн. наук, доцент Унянин А. Н.**

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», на кафедре «Технология машиностроения, станки и инструменты», которая приняла заключение по диссертационной работе Гордиенко Я.М. Гришин Р.Г. уже изложил квалификацию соискателя – в 2019 г. Гордиенко Я.М. закончил магистратуру, в 2025 г. закончил очную аспирантуру, по направлению подготовки 15.06.01 «Машиностроение», профиль 2.5.5 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки. Научный руководитель – Гришин Р.Г., к.т.н., доцент, доцент кафедры

«Технология машиностроения, станки и инструменты» Самарского государственного технического университета.

По результатам рассмотрения диссертации принято следующее заключение:

Актуальность работы обусловлена сложностью шлифовальной обработки титановых сплавов, вызванной их особыми механическими и теплофизическими свойствами. Высокая теплосиловая напряжённость процесса приводит к образованию дефектов на обрабатываемой поверхности. Одним из перспективных методов снижения температурного воздействия является использование прерывистых шлифовальных кругов (ПШК). Однако их применение сопровождается повышенной вибрационной активностью, что негативно влияет на качество поверхности, увеличивая шероховатость и волнистость.

В связи с этим совершенствование технологии плоского шлифования титановых сплавов с применением прерывистых кругов на вулканической связке представляет значительный научный и практический интерес. Таким образом, исследование, направленное на оптимизацию использования ПШК данного типа, обладает высокой актуальностью.

Степень достоверности изложенных в работе результатов обеспечивается: обоснованным изучением достаточного объема научной литературы, корректностью поставленной задачи, корректным использованием применяемого математического аппарата и вводимых допущений и гипотез, а также подтверждается согласованностью данных имитационного моделирования с результатами экспериментальных исследований.

Научную новизну полученных в диссертации результатов теоретических и экспериментальных исследований определяют ряд научных положений и выводов:

- результаты анализа физико-механических характеристик абразивных сегментов;
- определены параметры напряженно-деформированного состояния абразивных сегментов на основе конечно-элементного моделирования;
- получены экспериментальные данные о влиянии структурно-механических параметров абразивных сегментов на вибродинамические показатели технологической системы;
- результаты численного моделирования виброперемещений и температурного поля при обработке прерывистым шлифовальным кругом;
- экспериментально обоснованы математические зависимости, отражающие взаимосвязь между кинематическими параметрами процесса, конструктивными характеристиками прерывистого шлифовального круга, вибрационными процессами и геометрическими параметрами обработанной поверхности.

Практическими результатами диссертационной работы являются:

- разработана конструкция сборного прерывистого шлифовального круга на вулканической связке;

– получены экспериментальные и производственные данные, подтверждающие технологическую эффективность прерывистого шлифовального круга на вулканической связке;

– разработаны рекомендации по проектированию параметров технологической системы процесса шлифования заготовок деталей из титановых сплавов с использованием ПШК на вулканической связке.

Диссертация соответствует паспорту научной специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки)». Перечисляются пункты областей исследования, по которым диссертация соответствует данной научной специальности.

Заключение принято на расширенном заседании кафедры «Технология машиностроения, станки и инструменты».

На заседании присутствовали 11 сотрудников СамГТУ, в том числе 3 доктора технических наук. Результаты голосования: за – 11 человек, против – нет, воздержались – нет. Подписал заключение А. Р. Галлямов, к.т.н., доцент, исполняющий обязанности заведующего кафедрой «Технология машиностроения, станки и инструменты» СамГТУ и Проректор по научной работе ФГБОУ ВО «СамГТУ» А.В. Еремин.

**Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

Так. Хорошо. Теперь отзыв ведущей организации.

**Ученый секретарь – д-р техн. наук, доцент Унянин А. Н.**

В диссертационный совет поступил отзыв ведущей организации на диссертационную работу Гордиенко Я.М. Ведущая организация – ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

Во-первых, в отзыве приведены сведения о структуре диссертации.

Во 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 вулканической 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 материалаомкости 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 напряжённо-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 вулканической 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 вибонагруженности 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 вулканической связке на технологические показатели процесса шлифования. Проведена статистическая обработка экспериментальных данных с построением регрессионных моделей. Даны количественная оценка эффективности предложенных решений по сравнению с традиционными аналогами.

Установлена эффективность применения ПШК на вулканической 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 заключении сформулированы основные результаты исследования.

Так же отмечается актуальность работы, которая 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.

Что касается научной новизны. В отзыве говорится, что научная новизна заключается в следующем: решена научно-производственная задача повышения эффективности шлифования заготовок деталей из титановых сплавов за счет рационального применения прерывистых кругов на вулканической связке. Новые научные результаты состоят в том, что:

- получены математические зависимости для определения предельной рабочей скорости разработанной конструкции ПШК на вулканической связке, обеспечивающие безопасную эксплуатацию инструмента;
- разработаны имитационные модели и результаты численного моделирования напряженно-деформированного состояния абразивных сегментов и виброперемещений оси ПШК, устанавливающие взаимосвязь между физико-механическими характеристиками вулканической связки, конструктивными параметрами круга и динамическим поведением технологической системы;
- разработана 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;
- получены 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:

- конструкция сборного ПШК на вулканической связке и технология его изготовления, обеспечивающие технологичность, ремонтопригодность и снижение расхода абразивного материала;
- методика расчета конструктивных элементов ПШК и рекомендации по проектированию параметров процесса шлифования, позволяющие целенаправленно выбирать рациональные режимы обработки для конкретных титановых сплавов;
- результаты экспериментальных исследований и опытно-промышленных испытаний, проведенных на предприятиях ОАО «Авиагрегат» 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 «Авиагрегат» 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 изделия 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.

#### Замечания по диссертационной работе:

- в названии диссертации не в полной мере отражена разработка методологии проектирования и расчетного обоснования параметров прерывистого шлифовального круга, являющаяся ключевым научным результатом работы;
- при анализе литературы не приведены сравнительные данные по эффективности применения алмазных шлифовальных кругов и кругов из карбида кремния зеленого при шлифовании титановых сплавов;
- в работе используются термины «рациональные» и «оптимальные» режимы резания без четкого разграничения их смыслового содержания и конкретизации критериев, по которым режим признается оптимальным;
- 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;
- 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;
- 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;

– 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 вулканической 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, 11, 13, 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 2025 г.

Отзыв подписал заместитель заведующего кафедрой «Инновационные технологии машиностроения» ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»» Макаров Владимир Фёдорович.

Утвердил отзыв Швейкин Алексей Игоревич., проректор по науке и инновациям Пермского национального исследовательского политехнического университета.

### **Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

Что касается отзывов на автореферат. Их поступило 10, все они положительные. Если нет возражений, то Александр Николаевич зачитает обзор отзывов. Нет возражений?

### **Д-р техн. наук, доцент Ковальнов В. Н.**

Можно обзор не зачитывать. В раздаточном материале все есть, замечательно.

### **Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

Ярослав Михайлович, пожалуйста, ответ на замечания ведущей организации.

### **Соискатель Гордиенко Я.М.**

Замечания Пермского национального исследовательского политехнического университета.

### **Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

Ярослав Михайлович, давайте так договоримся. Те замечания, с которыми согласны, говорите «я согласен». Не нужно подробно зачитывать все ответы, в раздаточном материале все записано, иначе много времени займет.

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Ответ на первое замечание: с замечанием согласен.

Ответ на второе замечание: карбид кремния зеленый широко применяется при шлифовании заготовок из титановых сплавов, поэтому использовался при исследованиях в рамках данной работы. Оценка эффективности применения алмазных кругов может быть предметом отдельного исследования.

Ответ на третье замечание: в представленной работе под «рациональными режимами» понимаются технически и экономически обоснованные параметры обработки (выбранные на основе разработанных моделей), обеспечивающие заданное качество деталей при минимальном износе инструмента, а оптимальные режимы – это рассчитанные параметры, дающие наилучший результат по конкретному критерию в заданных рамках.

Ответ на четвертое замечание: с замечанием согласен.

Ответ на пятое замечание: с замечанием согласен.

Ответ на шестое замечание: с замечанием согласен.

**Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

Пожалуйста, далее по отзывам на автореферат.

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Ответы на замечания, содержащиеся в отзывах на автореферат.

Первая группа замечаний для ответа, на которые исчерпывающая информация есть в полном тексте диссертации. К ним относятся:

первое замечание Ардашева Дмитрия Валерьевича (доцент, д.т.н. профессор кафедры «Технологии автоматизированного машиностроения», ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)»;

первое и второе замечания Смирнова Виталия Алексеевича (доцент, к.т.н., декан «Технологического факультета», ВФ ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова»;

второе и третье замечания Радкевича Михаила Михайловича (профессор, д.т.н. высшей школы машиностроения, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»;

первое, второе, третье и четвертое замечания Хаймовича Александра Исааковича (доцент, д.т.н., заведующий кафедрой «Технологий производства двигателей», ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева»;

первое, третье, четвертое и пятое замечания Рахчеева Валерия Геннадьевича, профессора, д.т.н. и Максимова Ильи Сергеевича, к.т.н., доцента кафедры «Железнодорожный путь и строительство» ФГБОУ ВО «Приволжский государственный университет путей сообщения»;

четвертое замечание Курдюкова Владимира Ильича, профессора, д.т.н.

кафедры «Машиностроения политехнического института», ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет»;

первое и второе замечания Шабалина Дмитрия Николаевича к.т.н., доцента высшей школы машиностроения, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого».

Вторая группа замечаний – это пожелания, с которыми я согласен, в нее входят:

первое и третье замечания Радкевича Михаила Михайловича;

первое, второе и третье замечания Курдюкова Владимира Ильича;

второе замечания Некрасова Вячеслава Николаевича, к.т.н., доцента кафедры «Технология машиностроения», ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».

Третья группа замечаний – это критические замечания, с которыми согласен, к ним относятся:

второе замечания Некрасова Вячеслава Николаевича;

первое замечание Шабалина Дмитрия Николаевича.

Четвертая группа замечаний – это замечания, на которые хотел бы дать пояснения, к ним относятся.

– Замечания Ардашева Дмитрия Валерьевича.

Второе замечание. Установлена зависимость высоты волнистости обработанной поверхности от количества сегментов прерывистых шлифовальных кругов и режима обработки. Однако подобной зависимости в отношении шероховатости поверхности не представлено. При этом сказано, что «Обеспечение требуемых параметров шероховатости и волнистости прерывистых шлифовальных кругов достигается за счет использования конфигурации с 16-ю абразивными сегментами». На каком основании сделано заключение, касающееся шероховатости?

Ответ на второе замечание: влияние на шероховатость было изучено экспериментально и отражено в регрессионных моделях (12 – 14). Зависимость шероховатости от количества сегментов косвенно учтена через влияние на вибрации и тепловой режим.

Третье замечание. При моделировании напряженно-деформированного состояния абразивного сегмента значения физико-механических характеристик определялись экспериментально. Возможно ли распространить результаты моделирования на прерывистые шлифовальные круги других характеристик без необходимости проведения дополнительных испытаний?

Ответ на третье замечание: нет, напрямую использовать результаты моделирования для кругов с другими характеристиками нельзя. Модели проверены только для конкретного абразивного сегмента на вулканической связке марки 63С 10-Н СМ1-5 В.

Четвертое замечание. Как рассмотренные и подтвержденные демпфирующие свойства вулканической связки могут сказаться на точности обработки при шлифовании?

Ответ на четвертое замечание: подтверждённые демпфирующие

свойства вулканитовой связки снижают вибрации. Это уменьшает отклонения инструмента, стабилизирует процесс резания и способствует получению более точной геометрии обработанной поверхности с меньшей волнистостью и шероховатостью.

– Замечания Смирнова Виталия Алексеевича доцента, к.т.н. ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова».

Третье замечание. Автор указал, что адекватность теплофизической модели прерывистого шлифования проверялась сопоставлением аналитической модели с результатами численного моделирования в среде COMSOL Multiphysics, что, безусловно, имеет смысл. Однако, не представлены результаты сравнения теплофизической модели с результатами экспериментальных замеров.

Ответ на третье замечание: согласен с замечанием. Прямое сопоставление с экспериментальными замерами температуры в автореферате не приведено. Модель была верифицирована путём сравнения с численными расчётами в COMSOL, а также сопоставления результатов расчёта с результатами эксперимента. Полные результаты этого сопоставления и анализ погрешностей приведены в диссертации (раздел 4.1).

– Замечания Чигиринского Юлия Львовича профессора, д.т.н. ФГБОУ ВО «Волгоградского государственного технического университета».

Первое замечание. Научной новизной результатов работы обладают математические описания выявленных закономерностей (взаимосвязей между условиями и результатами процесса) или сами взаимосвязи, формирующие результаты изучаемого процесса?

Ответ на первое замечание: научной новизной обладают как сами выявленные причинно-следственные взаимосвязи (например, влияние упруго-демпфирующих свойств вулканитовой связки на вибрации и температуру при прерывистом шлифовании титановых сплавов), так и полученные для их описания математические модели. Новизна заключается в установлении этих связей впервые и в разработке адекватных аналитических и регрессионных моделей, позволяющих количественно прогнозировать параметры процесса для данного класса материалов и инструмента.

Второе замечание. В чем, по мнению автора, состоит принципиальное различие между имитационными (стр. 5, п. 2, 4 Научной Новизны), аналитическими (стр. 5, п. 3) и регрессионными (стр. 6, п. 5) моделями, если все эти математические описания построены с использованием экспериментально – с некоторой погрешностью, – определенных, т. е., эмпирических, исходных данных?

Ответ на второе замечание: различие в основе моделей. Имитационные и аналитические модели построены на физических законах (механика, теплопередача) и используют экспериментальные данные как константы материалов. Регрессионные модели – это эмпирические зависимости, полученные статистической обработкой данных без прямого учёта физики

процесса. Первые объясняют механизм явления, вторые описывают статистическую связь для прогноза.

Третье замечание. Влияние каких конструктивных параметров сегментного круга, кроме ширины контакта сегмента с корпусом ( $b_k$ ) на величину коэффициента концентрации напряжений ( $\alpha_b$ ) позволяет оценить полином (5) (стр. 11 автореф.)?

Ответ на третье замечание: полином (5) описывает зависимость коэффициента концентрации напряжений  $\alpha_b$  именно от  $b_k$ . Влияние других параметров (высоты сегмента, радиуса) было учтено на этапе расчета номинальных напряжений, к которым применяется данный коэффициент.

Четвертое замечание. Насколько необходимо в регрессионных моделях (12) ... (14) (стр. 17, автореф.) указывать коэффициенты регрессии с точностью до  $10^{-7}$ ? Проводилась ли, при построении регрессионных моделей, оценка статистической значимости факторов – различие в абсолютных значениях коэффициента регрессии достигает  $7,5*10^3$  крат ( $11,25 / 0,001485$ ).

Ответ на четвертое замечание: согласен с замечанием, оно важное, поскольку касается корректности интерпретации регрессионных моделей. Различие в абсолютных значениях коэффициентов (на несколько порядков) отражает различную физическую природу и масштаб влияния факторов (например, глубина шлифования  $t$  в мм и предел выносливости  $\sigma_b$  в МПа). Статистическая значимость каждого фактора проверялась.

– Замечания Рахчеева Валерия Геннадьевича профессора, д.т.н. и Максимова Ильи Сергеевича к.т.н. ФГБОУ ВО «Приволжский государственный университет путей сообщения».

Четвертое замечание. Не совсем ясно, как при температурах  $330-363^{\circ}\text{C}$  (стр.17) не деформируется размягчается или выгорает вулканическая связка, хотя известно, что деструктивные процессы возникают при температурах порядка  $200^{\circ}\text{C}$ , возникает вопрос о стойкости используемого абразивного инструмента?

Ответ на четвертое замечание: согласен, этот аспект стоило описать подробнее. Высокий локальный нагрев (до  $330 - 363^{\circ}\text{C}$  и выше) сосредоточен лишь на вершине абразивного зерна. Из-за кратковременности контакта зерна с заготовкой (миллисекунды) тепло не успевает передаться в глубь вулканической связки. Это позволяет связке сохранять структурную целостность и механические свойства, что подтверждается экспериментальными данными.

**Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

Спасибо. Слово для отзыва предоставляется официальному оппоненту, д.т.н., профессору Волкову Дмитрию Ивановичу. Дмитрий Иванович, пожалуйста.

**Официальный оппонент – д-р техн. наук, профессор Волков Д.И.**

Уважаемые члены диссертационного совета. Уважаемый председатель, разрешите мне полностью не зачитывать отзыв, а акцентировать внимание на более важных моментах, а также зачитать части, которые я обязан зачитать.

**Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

Давайте, не возражаем.

**Официальный оппонент – д-р техн. наук, профессор Волков Д.И.**

Касаясь актуальности. Титановые сплавы широко применяются во многих отраслях промышленности, включая космическую, машиностроение, кораблестроение и двигателестроение. Однако обработка этих сплавов сопряжена с трудностями, обусловленными их специфическими свойствами, такими как низкая теплопроводность (порядка  $15 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ), низкий модуль упругости (примерно в 2 раза ниже, чем у стали и других жаропрочных сплавов), а также высокая химическая активность. Всё это создаёт сложности, особенно при абразивной обработке. Возникает вопрос о распространении тепла: куда ему деться при столь низкой теплопроводности материала? В результате тепловые повреждения в виде прижогов встречаются довольно часто, и именно с ними борется соискатель.

Например, на нашем производстве используется достаточно много титановых сплавов для изготовления лопаток компрессоров. До недавнего времени эти детали подвергались алмазному шлифованию кругом на металлической связке со специально подобранный охлаждающей жидкостью. К сожалению, дефекты в виде прижогов выявляются только при последующем химическом травлении обработанной поверхности. Нет смысла рассматривать всю поверхность под микроскопом, но на травлённых лопатках участки, изменившие цвет (белые пятна), – это и есть прижог, в результате чего лопатка бракуется. Фактически это происходит на заключительных стадиях её обработки. Поэтому в этом аспекте необходим поиск новых решений.

Что касается выполненной работы соискателя. Он применил достаточно известный способ снижения температуры за счёт использования прерывистого круга. Одним из недостатков таких кругов является возникновение вибрационных ударов на обрабатываемой поверхности, что он предложил компенсировать применением упругой (вулканической) связки. Считаю, что это верный подход; требовалось лишь доказать возможность использования данной связки в заданных условиях. Его попытка сопровождается следующими успехами, отражёнными в пунктах научных положений, выносимых на защиту:

- разработана конструкция сборного прерывистого шлифовального круга (ПШК) на вулканической связке и методика расчета его конструктивных элементов, обеспечивающие минимальное влияние на волнистость обработанной поверхности при эффективном теплоотводе. Вот этот пункт как уже отмечалось ранее переплетается с одним из выводов по работе, вообще все выводы проанализированы мной тоже, в степени обоснованности, но забегая вперед скажу, что, на мой взгляд те аналитические зависимости, которые приводятся автором при расчете, могут быть использованы при расчете кругов других типоразмеров т.е. можно целую серию кругов изготовить, а это значит, что научный результат уже есть;

- получены аналитические зависимости для определения предельной

рабочей скорости ПШК, учитывающие концентрацию напряжений в зоне крепления абразивных сегментов. Здесь все зависит от того, каким способом производилось закрепление абразивных сегментов. Он подобрал способ в виде kleевого соединения с оправкой, тем самым не противоречит тем результатам, которые изложены в самом тексте диссертации;

– разработана и верифицирована аналитическая теплофизическая модель процесса прерывистого шлифования, комплексно учитываяшая периодический характер нагрева и охлаждения в зоне обработки. У него модель построена следующим образом: на поверхности обработки за счет абразивного сегмента происходит периодическая смена процессов нагрева и охлаждения. Сама функция воздействия этого источника, представленная в виде полинома 6-й степени, укладывается в приемлемые границы погрешности;

– установлено количественное влияние физико-механических характеристик вулканической связки на демпфирование вибраций технологической системы. Есть эксперименты, которые пытались учесть эту упругую связку, т.е. ее демпфирующие свойства. На что тоже есть результаты;

– получены регрессионные модели, отражающие взаимосвязь между вибрационными процессами, конструктивными характеристиками ПШК и геометрическими параметрами обработанной поверхности. Да, эти исследования тоже приведены в работе, но автор не в достаточной степени показал их на плакатах.

Теперь об обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций. В работе использовались методы конечных элементов, численное моделирование, анализ связи напряжённого состояния абразивных сегментов и температурных полей. Было выполнено сопоставление экспериментальных результатов с теоретическими. При обработке теоретических данных применялись статистические методы, что соблюдено в полной мере.

Все выводы (их восемь) проанализированы в тексте диссертации на предмет достоверности. Считаю их достоверными. Все они относятся к специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки» и отражены в положениях, выносимых на защиту.

Хотелось бы отметить, что в недостаточной степени отмечен восьмой вывод, касающийся результата внедрения в производство, которое принесло положительный экономический эффект на предприятии ОАО «Авиагрегат» в размере около 1 325 000 рублей и на предприятии АО «Агрегат» обеспечило повышение производительности на 20% при сокращении брака на 18%.

Может возникнуть вопрос: за счёт чего достигнуто сокращение брака? Вулканическая связка позволяет абразивному зерну мягче входить в процесс резания, то есть осуществлять резание более плавно. Титан прогибается, а зерно в связке отклоняется, создавая своего рода заглаживающий эффект. Далее возникает вопрос лишь о соблюдении точности, поскольку износ круга может быть значительным.

Была проанализирована теоретическая и практическая значимость исследований. В качестве теоретической значимости отмечаются следующие результаты: развитие аналитической модели и её обобщение на процесс обработки титановых сплавов инструментом на вулканической связке, поскольку в ней учитываются, в том числе, параметры инструмента, возникающие при использовании данной связки.

В качестве ценных для практики результатов можно выделить: разработку конструкции сборного прерывистого шлифовального круга на вулканической связке и методики расчёта его конструктивных элементов, обеспечивающих минимальное влияние на волнистость обработанной поверхности при эффективном теплоотводе; а также рекомендации по проектированию процесса шлифования заготовок из титановых сплавов подобными кругами. Внедрение разработанной технологии на предприятиях позволило повысить производительность на 12 – 20% и исключить брак от прижогов.

Теперь по оценке содержания работы.

Работа, как уже отмечалось, содержит 4 главы, список источников, приложения. Объём – 214 страниц, 82 рисунка, 11 таблиц, ссылки на 166 источников. Диссертация соответствует специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки». Результаты работы опубликованы в 9 научных работах, в том числе 3 – в изданиях ВАК и 1 статья – в Scopus. В опубликованных работах в достаточной мере отражено содержание диссертационной работы. Содержание автореферата в полной мере соответствует содержанию диссертации и в данном виде представляет всю информацию по работе.

Замечания. В первом варианте правильно было, не нужно было исправлять.

1. Автором недостаточно раскрыт вопрос о влиянии изменения геометрии режущих кромок абразивных зерен в процессе износа на силовые и температурные характеристики процесса шлифования, что важно для более точного прогнозирования стойкости инструмента.

2. В регрессионных моделях, связывающих параметры обработки с выходными характеристиками, не в полной мере учтена стохастическая природа процесса шлифования.

3. Не представлена сравнительная оценка стоимости изготовления и эксплуатации разработанного прерывистого шлифовального круга по сравнению с серийными аналогами.

4. Требует уточнения методика определения интервалов времени для расчета выходных и текущих параметров процесса шлифования.

5. Термостойкость вулканической связки всего составляет 180 °C, а средняя температура шлифования превышает 350 °C, возникает вопрос о стойкости круга.

6. С чем связано повышение волнистости при шлифовании прерывистыми кругами на вулканической связке (рис.4.21). Автором там сказано аккуратно, что все в пределах требований технологии, но повышение волнистости — это следствие применения этих прерывистых кругов.

7. Насколько СОЖ ЭКОГРИНД 10М с концентрацией 7% соответствует шлифованию титановых сплавов.

### Заключение

Диссертационная работа Гордиенко Ярослава Михайловича является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены научно обоснованные технические и технологические разработки, имеющие существенное значение для экономики страны.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертация Гордиенко Ярослава Михайловича соответствует критериям, предъявляемым к кандидатским диссертациям (п.п. 9, 11, 13, 14 раздела II «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденном Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г., № 842), 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.

**Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

Спасибо, Дмитрий Иванович. Так, Ярослав Михайлович, ответы на замечания оппонента.

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Ответ на первое замечание: согласен с замечанием.

Ответ на второе замечание: согласен с замечанием.

Ответ на третье замечание: согласен с замечанием.

Ответ на четвертое замечание: об уточнении методики. Методика определения интервалов времени для расчета выходных параметров основана на обеспечении стационарности технологического процесса. В соответствии с описанной в 4 главе диссертации методикой, измерения всех выходных параметров (качества поверхности, вибонагруженности, температуры в зоне резания) проводились после выхода процесса шлифования на стационарный режим, который достигался через 10 – 20 минут работы шлифовального круга после его правки. Этот временной интервал был установлен экспериментально как достаточный для стабилизации теплового и силового состояния технологической системы. Полученные в течение данного интервала данные использовались для расчета среднеарифметических значений параметров, что исключало влияние переходных процессов и обеспечивало статистическую достоверность результатов, необходимую для построения регрессионных моделей.

Ответ на пятое замечание: экспериментальные исследования и производственные испытания показали, что круги работают в режиме

частичного самозатачивания и сохраняют работоспособность в течении длительного времени. Это можно объяснить тем, что, поскольку с обрабатываемой поверхностью контактирует вершина зерна, она нагревается до высокой температуры. За короткий промежуток времени контакта с заготовкой все зерно не успевает прогреться до такой температуры, поэтому температура в зоне контакта зерна со связкой ниже средней температуры в зоне шлифования.

Ответ на шестое замечание: повышение волнистости при использовании прерывистого круга на вулканической связке связано с его упругими и демпфирующими свойствами. При контакте сегмента с заготовкой упругая связка слегка деформируется, что приводит к микросмещению режущих кромок и формированию волны на поверхности. Этот эффект является закономерным следствием выбранного типа связки, который, в свою очередь, был необходим для решения задач – снижения вибраций и температуры в зоне резания. Таким образом, наблюдается определенный технологический компромисс между снижением тепловой нагрузки и увеличением волнистости.

Ответ на седьмое замечание: данная СОЖ полностью соответствует обработке титановых сплавов. "ЭкоГринд 10 М относится к высокоактивным СОЖ на основе сложных эфиров, специально разработанным для обработки труднообрабатываемых материалов, включая титановые сплавы. Рекомендуемая производителем рабочая концентрация как раз составляет 5 – 8%, что обеспечивает высокую противозадирную и смазывающую способность, критически важную для предотвращения прижогов и адгезии материала на шлифовальном круге при шлифовании титана.

**Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

Дмитрий Иванович, ответы Вас удовлетворили?

**Официальный оппонент – д-р техн. наук, профессор Волков Д.И.**

Да.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Можно вопрос? Вот эта СОЖ, вы зачитали рекламный листок? Кто ее разрабатывал и кто ее производит?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Московский производитель данной СОЖ. В ней сочетаются и ингибиторы присадок и ...

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Нет, разработчик кто? И какая это СОЖ? Эмульсионная, масляная...

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Это масляная СОЖ, да она не для титановых сплавов.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Так еще раз, кто разработчик? Вот то, что вы прочитали информацию, откуда она взялась?

**Официальный оппонент – д-р техн. наук, профессор Волков Д.И.**

Вот резина – то, как с этим маслом то работает?

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Масляная СОЖ – это что-то новенькое? Все больше мы открываем новенькое.

**Официальный оппонент – д-р техн. наук, профессор Волков Д.И.**

И семь процентов, отчего это?

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Семь процентов масла что-ли? Вы не ответили на вопрос? Кто разработчик и то, что вы зачитали – это рекламный листок? И московский завод это какой?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Я обязательно это уточню, данная информация есть в тексте диссертации.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Нет, но вы так уверенно говорили. Что все знаете, мы могли бы Вам поверить, а я вот сейчас не верю в эту информацию, которую вы выдали.

**Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

Там, где вы делали внедрение, какая СОЖ использовалась?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Конкретно, эта.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Ну, на заводе какая используется, ту и взяли, и она масляная СОЖ? Какая вязкость?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Семь процентов.

**Официальный оппонент – д-р техн. наук, профессор Волков Д.И.**

Наверно, всё-таки водная эмульсия.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Конечно, водная эмульсия. Даже не эмульсия – это синтетическая смазочно-охлаждающая жидкость. Скорее всего, я предполагаю, эта старая известная и разработанная киевским институтом «ВНИИПК НЕФТЕХИМ» АКВОЛ десять М, поэтому и сохранилась цифра десять М. А то, что вы зачитали, рекламный листок и то, что она исключительно для титановых сплавов.

**Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

Ну ладно разобрались.

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Евгений Степанович, спасибо за замечание, я обязательно учту.

**Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

Продолжим. Как говорилось ранее, второй оппонент Носенко Владимир Андреевич у нас отсутствует. Поэтому слово для оглашение отзыва предоставляется ученому секретарю Унянину Александру Николаевичу. Пожалуйста.

**Ученый секретарь – д-р техн. наук, доцент Унянин А. Н.**

Отзыв официального оппонента Носенко Владимира Андреевича.

Владимир Андреевич д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология и оборудование машиностроительных производств» Волжского

политехнического института (филиала) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» и специальность его 05.03.01 – Процессы механической и физико-технической обработки, станки и инструмент.

Во-первых, Владимир Андреевич приводит общие сведения о диссертации, что исследование посвящено решению актуальной задачи обработки заготовок из трудно обрабатываемых материалов т.е. титановых сплавов. Обработка титановых сплавов традиционно сопряжена с высоким тепловыделением, приводящим к структурным дефектам поверхностного слоя (шлифовальным прижогам), и значительными вибрациями, ухудшающими качество поверхности. Предлагаемое автором применение прерывистых шлифовальных кругов (ПШК) на вулканической связке направлено на комплексное решение проблемы за счет использования демпфирующих свойств связки и прерывистой структуры круга для одновременного снижения термических и динамических нагрузок.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 166 наименований и 18 приложений. Основной материал работы изложен на 214 страницах, содержит 82 рисунка и 11 таблиц.

Основные результаты диссертации опубликованы в 9 печатных работах, в том числе 3 статьи в рецензируемых журналах, входящих в действующий «Перечень ВАК», 1 статья в издании, индексируемом в базе Scopus, и 5 работ в изданиях, рекомендованных РИНЦ. Таким образом, материалы и результаты исследования опубликованы в 3 работах в рецензируемых и приравненных к ним изданиях, что соответствует требованиям п.п. 9, 11, 13, 14 раздела II «Положения о присуждении ученых степеней». Диссертация прошла апробацию на научно-технических и научно-практических конференциях, тематика которых совпадает с основными направлениями исследований соискателя.

В работе выдержанна логичность и последовательность содержания. Автор в достаточной степени владеет профессиональной терминологией. Содержание автореферата соответствует тексту диссертации и отражает полученные в ходе исследования результаты.

#### Актуальность темы

Повышение эффективности шлифования титановых сплавов является важной научно-производственной задачей, актуальной для авиационной, космической и других отраслей машиностроения. Существующие на сегодняшний день методы шлифования, включая применение прерывистых кругов на традиционных связках (керамической, бакелитовой), не позволяют в полной мере разрешить противоречие между необходимостью снижения тепловых нагрузок и минимизацией вибраций. В работе Я.М. Гордиенко предлагается решение данной задачи за счет рационального проектирования ПШК и целенаправленного использования упруго-демпфирующих свойств вулканической связки. В силу этих причин исследование Я.М. Гордиенко следует считать актуальным для современного производства и технологической науки.

Обоснованность и достижимость цели и задач исследования. Целью представленной диссертационной работы заявлено повышение эффективности

процесса плоского шлифования заготовок деталей из титановых сплавов за счет рационального проектирования и применения прерывистых кругов на вулканической связке.

При выполнении исследований автор поставил и решил следующие задачи: разработал конструкцию ПШК, методики и рекомендации по выбору его конструктивных параметров, определил физико-механические свойства абразивного сегмента на вулканической связке, провел численное моделирование напряженно-деформированного состояния абразивных сегментов и виброперемещений оси ПШК, разработал аналитическую модель и провел численное моделирование теплового состояния зоны обработки, исследовал влияние режимов шлифования на параметры шероховатости, волнистости и коэффициент шлифования, экспериментально показал более высокую эффективность разработанного ПШК и провел оценку его эффективности в условиях действующего производства. Техническая новизна разработанных решений подтверждена актами внедрения. Работоспособность и эффективность предложенных методов подтверждена промышленными испытаниями в условиях действующих машиностроительных предприятий. Сформулированные задачи адекватно отражают содержание исследования и направлены на достижение поставленной цели.

Личный вклад соискателя в решение поставленных задач достаточно четко прослеживается в публикациях по теме исследования.

Выдвинутые автором научные положения и выводы обоснованы использованием известных научных положений теории шлифования, теплофизики, механики деформируемого твердого тела, методов математического и численного моделирования. Достоверность экспериментально полученных результатов подтверждается использованием современных средств измерений и методов статистического анализа.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

При проведении исследований автор выполнил анализ основных положений работ исследователей научных технологических школ, ведущих теорий шлифования и обработки труднообрабатываемых материалов – Самарской (В.А. Прилуцкий, Н.В. Носов, А.Н. Филин), Севастопольской (С.М. Братан, А.С. Часовитина) Московской (исследования специалистов МГТУ им. Баумана и МГТУ «СТАНКИН»), а также трудов А.В. Якимова, В.А. Смирнова, Э.Ф. Капанца и др. Вполне корректно использует научные методы обоснования полученных результатов, в частности, методы математической статистики, регрессионного анализа и конечно-элементного моделирования. Сравнение расчетных данных с экспериментально полученными результатами показывает достаточную сходимость.

Достоверность и новизна исследования, полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается корректным использованием перечисленных выше теорий, методов математического и численного моделирования, современных пакетов прикладных программ (КОМПАС-3D, COMSOL Multiphysics), применением в

исследованиях аттестованных приборов и средств измерительной техники, данными экспериментальной проверки полученных закономерностей.

Заключение по работе носит обзорный характер и не содержит фактических сведений о результатах выполненного исследования. Выводы по каждой главе представляют собой четко структурированные результаты исследования. Анализ выводов по главам и общего заключения по работе позволяет утверждать, что поставленные задачи решены и цель исследования достигнута.

Значимость для науки и практики полученных автором результатов.

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований автором получены математические зависимости и модели, устанавливающие взаимосвязи конструктивных и технологических параметров процесса прерывистого шлифования с формируемым качеством обработанной поверхности, вибонагруженностью и тепловым состоянием зоны резания. Разработанные модели и методики реализованы в виде конкретной конструкции ПШК и рекомендаций по его применению, что позволяет применять их в практической производственной деятельности.

Результаты, полученные автором, можно расценивать как новые научные знания, вносящие вклад в технологическую науку. В частности, новые научные результаты работы заключаются в решении актуальной научно-производственной задачи совершенствования процесса шлифования заготовок деталей из титановых сплавов.

1. Конструкция сборного прерывистого шлифовального круга на вулканической связке и методики расчета его конструктивных параметров, обеспечивающие минимизацию волнистости при эффективном теплоотводе.

2. Математические зависимости для определения предельной рабочей скорости ПШК, учитывающие геометрию сегментов и прочностные характеристики абразивного материала.

3. Аналитическая теплофизическая модель процесса прерывистого шлифования, комплексно учитывающая периодический характер нагрева и охлаждения в зоне обработки.

4. Результаты численного моделирования, устанавливающие влияние физико-механических характеристик вулканической связки на виброперемещения оси круга и демпфирование колебаний.

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

Практическая ценность работы заключается в следующем – разработанные автором новые методы управления процессом шлифования реализованы в виде конкретной конструкции инструмента, методик его расчета и применения, что позволяет использовать их в практической производственной деятельности.

Эффективность полученных автором результатов подтверждена актами опытно-промышленных испытаний и внедрения на станкостроительных предприятиях АО «Авиагрегат» и АО «Агрегат». Сведения, приведенные в

актах внедрения, подтверждают, что использование разработанного ПШК позволяет повысить производительность обработки на 12 – 20%, полностью исключить брак от шлифовочных прижогов и обеспечить стабильное качество поверхности ( $Ra = 0,1 – 0,3$  мкм). Таким образом, в результате использования рекомендаций Я.М. Гордиенко эффективность шлифования повышается, а годовой экономический эффект от внедрения на одном предприятии составляет 1 325 391 руб.

Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.

Предложенные и обоснованные автором технико-технологические решения могут быть рекомендованы для промышленного применения в части технологического проектирования и практического осуществления операций шлифования титановых сплавов в условиях проектно-технологических, научно-исследовательских организаций и на предприятиях машиностроительного профиля, в первую очередь, авиационной и ракетно-космической отраслей.

Оценка содержания диссертации и ее завершенности.

Введение посвящено обоснованию актуальности темы диссертации по проблеме повышения эффективности шлифования и обеспечения требуемого качества обработанных изделий из титановых сплавов. Следует отметить грамотные, с позиций методологии научных исследований, формулировки элементов «паспорта» научного исследования.

В первой главе на основе аналитического обзора результатов исследований в области теории шлифования, проведенных ранее и проводимых в настоящее время в ведущих отечественных и зарубежных научных школах, автор систематизировал основные подходы к управлению процессами формирования качества поверхности и проблемам обработки титановых сплавов. По результатам систематизации сформулированы направления совершенствования процесса шлифования на основе применения прерывистых кругов на вулканической связке. На основе выполненного анализа сформулированы цель и задачи исследования, обоснованы применяемые методы исследования.

Во второй главе приведено подробное описание и обоснование конструкции сборного ПШК, разработаны геометрические и математические модели для определения оптимального количества и размеров абразивных сегментов, минимизирующих волнистость поверхности при обеспечении эффективного охлаждения.

В третьей главе обоснован выбор методик оценки прочности ПШК, приведено описание и обоснование построения математических моделей, отражающих взаимосвязь конструктивных параметров с напряженно-деформированным состоянием сегментов, выполнено численное моделирование, описана методика статистического анализа результатов моделирования. Отдельно исследованы демпфирующие свойства вулканической связки и их влияние на виброперемещения. Разработана и верифицирована аналитическая теплофизическая модель процесса прерывистого шлифования.

В четвертой главе представлены результаты экспериментальной оценки эффективности разработанного ПШК, проведен сравнительный анализ с кругами на других связках, установлены зависимости между параметрами обработки и выходными параметрами процесса. Приведены результаты опытно-промышленных испытаний и оценка технико-экономической эффективности.

Достоверность и обоснованность основных результатов и выводов:

- первый вывод обоснован, достоверность подтверждается материалами исследований, описанными в гл. 2 диссертации, содержит признаки научной новизны по п. 3, 4 паспорта специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»;
- второй вывод обоснован, достоверность подтверждается материалами гл. 3 диссертации, содержит признаки научной новизны по п. 4 паспорта специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»;
- третий вывод обоснован, достоверность подтверждается материалами исследований, приведенными в гл. 3 диссертации, содержит признаки научной новизны по п. 3, 4 паспорта специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»;
- четвертый вывод обоснован, достоверность подтверждается материалами гл. 3 диссертации, содержит признаки научной новизны по п. 4 паспорта специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»;
- пятый вывод обоснован, достоверность подтверждается материалами исследований, описанными в гл. 3, 4 диссертации, содержит признаки научной новизны по п. 2, 3 паспорта специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»;
- шестой вывод обоснован, достоверность подтверждается материалами исследований, описанными в гл. 4 диссертации, не содержит признаков научной новизны, представляет практическую значимость в соответствии с п. 6 паспорта специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»;
- седьмой вывод обоснован, достоверность подтверждается материалами исследований, описанными в гл. 4 диссертации, не содержит признаков научной новизны, представляет практическую значимость в соответствии с п. 6 паспорта специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»;
- восьмой вывод обоснован, достоверность подтверждается материалами исследований, описанными в гл. 4 диссертации, не содержит признаков научной новизны, представляет практическую значимость в соответствии с п.п. 3, 4, 6 паспорта специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Практическая ценность материалов исследования состоит в возможности их использования при проектировании и осуществлении операций шлифования титановых сплавов в условиях действующих и вновь создаваемых производств.

Материалы и результаты исследования могут быть использованы при подготовке технологов механообрабатывающего производства.

Замечания по диссертационной работе.

Работа в целом производит хорошее впечатление, однако следует отметить некоторые вопросы и замечания, в том числе редакционного характера.

1. В литературном обзоре обоснованы все основные направления работы, кроме целесообразности применения для шлифования титановых сплавов инструментов на вулканитовой связке. В таком случае следовало воспользоваться достоверными источниками возможности практического применения. В частности, на сайте абразивного завода «Корунд» ([info@zavodkorund.ru](mailto:info@zavodkorund.ru)) представлена информация о практическом использовании абразивного инструмента на вулканитовых и близких к ним связках для обработки титановых сплавов (операция отрезки).

2. В основных положениях, выносимых на защиту, определена «Конструкция и технология изготовления сборного ПШК». Соискатель на основании разработанных математических моделей и зависимостей определил данные параметры. Для убедительного подтверждения новизны технических решений следовало получить официальное подтверждение в виде патентов или полезных моделей. Вся необходимая информация в диссертации имеется.

3. В разработанных математических моделях следовало учесть адгезионную активность титановых сплавов, что оказывает значимое влияние на показатели шлифования.

4. В диссертации почти четвертая часть работы посвящена исследованию влиянию СОЖ, разработаны соответствующие математические модели, учитывающие охлаждающее действие СОЖ. Следует отметить, что при шлифовании титановых сплавов СОЖ выполняет не только охлаждающее, но и пассивирующее действия.

5. В регрессионных моделях, не указаны коэффициенты детерминации и другие статистические характеристики, позволяющие оценить адекватность и точность моделей.

Указанные замечания носят частный характер не оказывают существенного влияния на значимость выполненных исследований.

Соответствие паспорту научной специальности

Основные положения выполненных исследований соответствуют паспорту специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки», в частности, областям исследования: 2, 3, 4, 6. Полученные результаты достаточно полно представлены в опубликованных научных трудах автора.

Заключение о соответствии диссертации

Диссертация Гордиенко Ярослава Михайловича на тему «Повышение эффективности шлифования заготовок деталей из титановых сплавов за счет рационального применения прерывистых кругов на вулканитовой связке» представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, содержащую решение актуальной научной и практической задачи в области

повышения эффективности механической обработки труднообрабатываемых материалов. Работа выполнена автором самостоятельно. Полученные результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Работа написана доходчиво, в целом грамотно, аккуратно оформлена, язык и стиль изложения четкие и понятные. Проведенные автором исследования и их результаты обладают научной новизной и практической значимостью, соответствуют формуле и областям исследования 2, 3, 4, 6, определенным в паспорте научной специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки». Содержание автореферата в целом соответствует содержанию работы. Материал диссертации изложен четко, имеет логическую последовательность, написан грамотным языком с использованием принятой в машиностроении терминологии. Содержание исследования достаточно полно отражено в открытой печати в опубликованных научных работах, в т. ч., в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования РФ.

Диссертационная работа «Повышение эффективности шлифования заготовок деталей из титановых сплавов за счет рационального применения прерывистых кругов на вулканической связке» по своему содержанию, объему, актуальности, научной и практической значимости полностью соответствует требованиям ВАК Министерства науки и высшего образования РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям и определенным пунктами п.п. 9, 11, 13, 14 раздела II «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. за № 842 в редакции от 18.03.2023 г., 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». Подписал этот отзыв Носенко Владимир Андреевич, все его регалии огласили в начале.

**Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

Спасибо Александр Николаевич. Ярослав Михайлович, пожалуйста, ответьте на замечания.

**Соисполнитель Гордиенко Я.М.**

Ответы на замечания официального оппонента - Носенко Владимира Андреевича.

Ответ на первое замечание: с замечанием согласен.

Ответ на второе замечание: с замечанием согласен.

Ответ на третье замечание: с замечанием согласен.

Ответ на четвертое замечание: с замечанием согласен.

Ответ на пятое замечание: с замечанием согласен.

**Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

Всё, спасибо. Присаживайтесь. Так, ну что, приступаем к моменту обсуждения диссертации. Кто хочет выступить?

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.**

Можно я начну?

**Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

Да, конечно. Профессор Носов Николай Васильевич.

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.**

Прежде всего, присоединяюсь к мнению, что оппоненты подошли к анализу работы очень ответственно, и их замечания во многом отражают её практическую и теоретическую значимость.

По существу. Детали авиационной техники, в частности изделия самарского предприятия «Авиагрегат», – это сложные и дорогостоящие изделия. Поэтому брак на заключительных этапах, когда выявляется прижог, наносит значительный удар по престижу предприятия. Борьба с такими дефектами часто бывает длительной и, можно сказать, не всегда успешной. Следовательно, наша цель как научных работников – поддержать производство и найти новые решения.

Надёжная безприжоговая обработка титановых сплавов связана с необходимостью изменить условия взаимодействия контактирующих абразивных зёрен с поверхностью. Это, в свою очередь, требует изменения подхода, поскольку связано с адгезионными свойствами титановых сплавов. Мы постоянно сталкиваемся с этой проблемой. Поэтому для себя я поставил вопрос: изменил ли диссертант условия взаимодействия? Специально отмечу 27-й плакат, где он подчёркивает, что условия взаимодействия изменены через изменение коэффициента шлифования.

Не случайно я задал соответствующий вопрос. Всем известно, что керамические абразивные круги имеют коэффициент шлифования менее 0,1, а здесь он близок к единице. Это означает, что условия самозатачивания выполнены. А почему раньше не могли выполнить эти условия? Пытались, особенно с керамическими кругами. Как изменить условия? Например, сделаем круги прерывистыми – так и поступали на заводе. Прерывистые круги изготавливали, условия меняли. Но результат оказался хуже. Возник закономерный вопрос: количество зёрен уменьшилось, но почему условия взаимодействия не улучшились? Причина осталась нерешённой.

Тогда что же нужно сделать? Мы знаем, что керамические связки работают в условиях затупления, их необходимо постоянно править, восстанавливая условия взаимодействия. Значит, нужно уменьшать период стойкости, править чаще. Или, например, применять специальные СОЖ. Но и СОЖ, как оказалось, не всегда изменяет условия взаимодействия в нужной степени.

Известно, что многие специалисты, в том числе в самарском авиационном институте, занимались проблемой шлифования титановых сплавов. Какие изменения условий взаимодействия они предлагали? Например, в диссертации Трусова В.Н. использовались графитовые вставки – попытка изменить условия взаимодействия. Что-то получилось, что-то – нет. Скуратов Д.Л. вводил туда серу как средство для изменения условий взаимодействия и не получил каких-то особых результатов, потому что производство это не поддержало.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Конечно, не поддержало, это запрещено, это яд и за что ему докторскую дали, если он серу добавлял при обработке.

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.**

Не будем углубляться в частности. Главное, что я считаю: данная работа позволила взглянуть на обработку титановых сплавов несколько с иной стороны, а именно – с точки зрения управления условиями взаимодействия в зоне резания. Основная идея заключается в том, чтобы не допускать достижения температурой критических значений, приводящих к прижогу. И, судя по обширным экспериментальным данным, представленным автором, такие управляемые условия взаимодействия были созданы. Это позволяет с высокой долей уверенности утверждать, что возникновение прижога с физической точки зрения становится маловероятным.

Несмотря на ряд высказанных замечаний, я бы охарактеризовал эту работу как удачную. Поставленная задача в целом решена. Работа намечает определённые направления для дальнейших исследований. Поэтому я считаю, что диссертация заслуживает положительной оценки, и буду голосовать за её принятие.

**Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

Спасибо, Николай Васильевич. Кто еще?

**Д-р техн. наук, доцент Лобанов Д.В.**

Хотел бы отметить, что работа является достаточно актуальной и интересной. Наш соискатель расширил представления о финишной обработке труднообрабатываемых материалов. Его вклад заключается в исследовании прерывистого шлифования как элемента технологической цепи на завершающих этапах обработки.

Безусловно, работа имеет как сильные, так и слабые стороны. Как и в любой кандидатской диссертации, здесь можно отметить определённые недостатки. Например, мне не хватало более глубокого структурного анализа состояния поверхностного слоя, который является одним из ключевых показателей качества изделий на финальных стадиях. Кроме того, на мой взгляд, отсутствует оформление прав интеллектуальной собственности на предложенные конструкторские решения, что могло бы усилить практическую значимость. Также в работе не представлены данные по балансировке инструмента, которые могли бы дополнить анализ динамического состояния системы.

В то же время автор достаточно смело вторгся в малоисследованную область. С другой стороны, вызывает вопросы использование им термина "оптимизация" без чётко обозначенных критериев оптимизации, что затрудняет однозначную оценку результатов.

Однако в целом работа является целостной: в ней присутствуют теоретические разработки, включая конечно-элементный и регрессионный анализ, что позволяет прогнозировать и оптимизировать систему на основе теоретических выкладок. Проведены широкие эмпирические исследования, которые позволяют сформулировать методологические рекомендации по

совершенствованию технологического процесса, а также даны практические рекомендации.

Таким образом, на мой взгляд, работа нашего соискателя вполне заслуживает присвоения учёной степени кандидата технических наук, и я буду голосовать за. Спасибо.

**Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

Спасибо, Дмитрий Владимирович. Еще желающие?

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Коллеги я хотел бы обратить внимание на чертеж детали, представленный на втором слайде презентации. Николай Васильевич правильно сказал. Ну я не видел эту деталь, но уверен, что она стоит где-то около миллиона. Одна деталь.

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.**

Миллиона?

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Конечно.

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.**

Вы неправильно считаете. Вы поскромничали.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Это я к тому, что экономический эффект у одной и семь десятых...

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.**

Вот лопатка...

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Лопатку не нужно сравнивать, лопатка стоит как автомобиль «Жигули».

Это понятно.

**Д-р техн. наук, профессор Епифанов В.В.**

Что за деталь там?

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Это шасси. Ну вот самолет садится...

**Д-р техн. наук, профессор Епифанов В.В.**

Так может это секрет?!

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Да нет никакого секрета, какие секреты. Это корпус, садится, когда самолет...

**Д-р техн. наук, профессор Епифанов В.В.**

Да, я понял, траверс там...

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Значит делают из особо прочного титанового сплава, технология чрезвычайно сложна и стоит она, конечно, не меньше миллиона, одна деталь, может быть даже больше, понимаете!? Поэтому я хочу сказать, во-первых, не думайте, что вот такой огромный экономический эффект. Эффект наверно ожидаемый? (обращается к соискателю)? Кем он подписан? Эффект мизерный.

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Экономический эффект был рассчитан самостоятельно, на основе данных которое предоставлю предприятие, но акт внедрения...

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Есть расчет, подтверждённый на заводе? Кем подписан?

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Экономический эффект не подписан, пописан акт внедрения, непосредственно апробация. Подписал главный технолог предприятия.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Главный технолог это никто на заводе, что касается экономического эффекта, когда подпишет главный бухгалтер и главный экономист, вот тогда это...

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.**

Вот у нас главный инженер подписывает.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

И главный инженер это никто на заводе. Экономический эффект – это тогда, когда трудоемкость снята с цеховой себестоимости, а это значит снизить фонд заработной платы.

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.**

Значит вы на прибыль работаете?

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Не на прибыль, а на фактический экономический эффект.

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.**

Нет, сейчас такого нет.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Ну как это нет.

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.**

Нет.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Не надо...

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.**

Ни на одном производстве, нет не фактической...

**Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

Господа давайте не будем спорить.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Я к этой детали еще раз обращаю внимание. Значит здесь вот мелкий шрифт. Но я уверяю, что поверхности контактируемые, здесь микронеровности это не  $Ra = 6,3$  мкм, здесь такая поверхность, которая получается не шлифованием, а полировкой, доводкой, т.е. отделочной обработкой и в данном случае нам диссертант ставит работу вообще-то не по шлифованию, а по полированию, по отделочной обработке. Понимаете? И пытается сказать, что это шлифование, а шлифование вулканизовыми кругами, практически никто не делает, а вот полирование, пожалуйста. Надо называть вещи своими именами. Саму диссертацию я не смотрел и с удовольствием, может, посмотрю.

**Официальный оппонент – д-р техн. наук, профессор Волков Д.И.**

У него десятое зерно.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Ну десятое зерно – это понятно.

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.**

Это переход от шлифования к полированию. Поэтому ничего в этом нет.

Не страшно.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Конечно, и поэтому то, что Николай Васильевич говорит, что коэффициент шлифования, да он не мерил износ. И не знает какой припуск там снимается.

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.**

Я смотрю то, что здесь есть.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Вот именно. А я вот думаю. Что припуск там, тоже соточки, понимаете.

Снимался припуск.

**Ученый секретарь – д-р техн. наук, доцент Унянин А. Н.**

Тонкое шлифование.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Да не шлифование, это полирование, понимаете.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

На мой взгляд, положительный момент данной работы заключается в том, что всех нас заставляет думать, думать, как и чего. Сколько здесь не соответствий я хочу сказать. Вулканитовая связка при двухсот градусах активно разрушается...

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.**

Нет не так.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

При трехсот она вообще сварится.

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.**

Мы можем с вами долго спорить об этом...

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Дай мне высказаться, а потом мы обсудим. Поэтому, чтобы хоть как-то уменьшить теплонапряженность при обработке титановых сплавов, его теплопроводность в четыре, пять раз хуже, чем у стали, понимаете. Все тепло локализуется в тонком поверхностном слое и моментально из альфа + бетта или из бетта сплава получает альфированный слой, прочность снижается деталь бракуется. Вот хочу Дмитрию Ивановичу (оппоненту) сказать. Вот он говорит, что прижоги определяются травлением, это заводской метод.

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.**

Хороший метод.

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Да, хороший, но для науки, наверное, можно бы попытаться оценить соотношение титана альфа к титану альфа плюс бетта в результате шлифования при разных режимах, такие приборы есть. Вон у нас в

лаборатории стоит, так что мы можем это дело определить не примитивным заводским методом, он просто отсеивает брак.

**Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.**

Он отсеивает, а если нет брака?

**Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

Господа у нас лимит времени...

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Работа, безусловно, представляет интерес, однако вызывает ряд серьёзных сомнений в части достоверности представленных результатов. К сожалению, существует множество моментов, которые не в полной мере соответствуют критериям научной обоснованности. В частности, вызывает вопросы обоснованность применения и эффективности указанной СОЖ – здесь прослеживается определённая логическая несогласованность

**Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

Окончательное какое решение то у тебя?

**Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.**

Я сказал свое мнение о работе, а не о голосовании, оно у нас тайное.

**Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

Есть кто-то еще? Ну тогда заключительно слово соискателю.

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Выражаю искреннюю благодарность членам диссертационного совета и всем коллегам, участвовавшим в семинарах, которые я посещал на протяжении двух последних лет. Огромная благодарность моему научному руководителю за постоянную помощь и поддержку. Отдельная благодарность председателю совета Владимиру Петровичу и учёному секретарю Александру Николаевичу за активное содействие в оформлении работы и устраниении замечаний в течение этого года. Благодарю официальных оппонентов за глубокий анализ. Также хотел бы особо отметить Евгения Степановича, чьи консультации по работе с титаном в ходе моих визитов были чрезвычайно ценные. Спасибо всем.

**Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

Спасибо. Переходим к голосованию. Какие будут предложения по составу счетной комиссии? Предлагаю Ковалевого Владислава Николаевича Денисенко Александра Федоровича и Лобанова Дмитрия Владимировича. Нет возражений? Нет. Отлично. Прошу проголосовать. Кто за? Единогласно. Прошу счетную комиссию приступить к работе. Объявляется технический перерыв на голосование.

*Технический перерыв. Счетная комиссия организует тайное голосование.*

**Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

Слово предоставляется председателю счетной комиссии.

**Д-р техн. наук, доцент Лобанов Д.В.**

Протокол № 1 заседания счетной комиссии от 25 декабря 2025 года,

избранной диссертационным советом 99.2.001.02. Состав избранной комиссии: Ковальнов В.Н., Денисенко А. Ф., Лобанов Д.В.

Комиссия избрана для подсчета голосов при тайном голосовании по диссертации Гордиенко Ярослава Михайловича на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Состав диссертационного совета утвержден в количестве 14 человек на период действия по соответствующей специальности научных работников утвержденный Приказом Министерства науки и образования Российской Федерации от 20.03.2024 года №250/нк. В состав диссертационного совета дополнительно введены – 0 человек, присутствовало на заседании – 10 членов совета, в том числе докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации – 5, раздано бюллетеней – 10, осталось не разданных бюллетеней – 4. В урне оказалось – 10. Результаты голосования по вопросу о присуждении ученой степени кандидата технических наук Гордиенко Ярославу Михайловичу за – 9, против – 1, недействительных – нет. Подписи председателя и членов комиссии присутствуют.

**Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

Спасибо. Прошу проголосовать за данный протокол. Кто за? Кто против? Воздержался? Нет. Таким образом, на основании тайного голосования: за – 10, против – 1, недействительных бюллетеней – нет, объединенный диссертационный совет, созданный на базе Ульяновского государственного технического университета и Тольяттинского государственного технического университета признает, что диссертация Гордиенко Ярослава Михайловича представляет научно-квалификационную работу, в которой содержится решение актуальной задачи повышения эффективности заготовок деталей из титановых сплавов за счет рационального применения прерывистых кругов на вулканической связке, имеющей существенное значение для развития технологии машиностроения. Диссертация соответствует критериям, установленным в разделе II (п. 9,11,12,14) «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. за № 842 с изменениями в редакции от 25.01.2024 г. кандидатских диссертаций, и присуждает Гордиенко Ярославу Михайловичу ученую степень кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

Разрешите мне от имени нашего совета и себя лично поздравить Вас, Ярослава Михайловича, с успешной защитой диссертации, пожелать Вам дальнейших успехов.

**Соискатель Гордиенко Я.М.**

Спасибо.

**Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

Продолжаем наше заседание. У членов совета имеется проект заключения по диссертации Гордиенко Я.М. Есть предложение принять его за основу. Нет возражений? Нет. Принимается.

## *Обсуждение заключения*

**Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.**

Есть предложение принять заключение с учетом тех замечаний, которые возникли в процессе обсуждения. Прошу проголосовать за данное заключение. Кто за? Против? Воздержался? Принимается единогласно.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ ОБЪЕДИНЕННОГО ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 99.2.001.02, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» И ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ТОЛЬЯТТИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело №\_\_\_\_\_

решение диссертационного совета  
от 25.12.2025 №\_\_\_\_\_

О присуждении Гордиенко Ярославу Михайловичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Повышение эффективности шлифования заготовок деталей из титановых сплавов за счет рационального применения прерывистых кругов на вулканической связке» по специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки)» принята к защите 23.10.2025 г., протокол №78, объединенным диссертационным советом 99.2.001.02, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения (ФГБОУ) высшего образования (ВО) «Ульяновский государственный технический университет», ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», Министерства науки и высшего образования РФ, по адресу 432027, г. Ульяновск, ул. Северный

Венец, 32, действующим на основе приказов №123/нк от 17.02.2015 г., №272/нк от 27.03.2019 г., №561 от 03.06.2021, № 859/нк от 12.07.2022 г., №1845/нк от 26.09.2023 г. и №250/нк от 20.03.2024 г.

Соискатель Гордиенко Ярослав Михайлович, 07 февраля 1995 года рождения.

В 2019 году окончил Самарский государственный технический университет по направлению «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» и получил степень магистра.

В период подготовки диссертации соискатель Гордиенко Ярослав Михайлович работал в ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» в должности специалиста по учебно-методической работе.

В 2025 году окончил очную аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Самарский государственный технический университет» по направлению подготовки 15.06.01. – Машиностроение, профиль 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Диссертация выполнена на кафедре «Технология машиностроения, станки и инструменты» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» Министерства науки и высшего образования РФ.

**Научный руководитель** – Гришин Роман Георгиевич, доцент, к.т.н., доцент кафедры «Технология машиностроения, станки и инструменты» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет».

#### **Официальные оппоненты:**

1. **Волков Дмитрий Иванович**, доктор технических наук, профессор кафедры «Инновационное машиностроение» ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева», г. Рыбинск.

2. **Носенко Владимир Андреевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология и оборудование машиностроительных производств» Волжского политехнического института (филиала) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», г. Волжский.

**Ведущая организация:** ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (г. Пермь), в своем положительном заключении, рассмотренном и единогласно одобренном на заседании кафедры «Иновационные технологии машиностроения» (протокол № 4 от 26.11.2025 г.), подписанном д.т.н., профессором, заместителем заведующего кафедрой В. Ф. Макаровым и утвержденном проректором по науке и инновациям университета, д-ром физ. мат. наук, доцентом А.И. Швейкиным, указала, что диссертация Гордиенко Я.М. на тему «Повышение эффективности шлифования заготовок деталей из титановых сплавов за счет рационального применения прерывистых кругов на вулканической связке» представляет собой законченное научное исследование. В заключении отмечено, что на основании выполненных автором исследований в диссертации изложены научно-обоснованные конструкторско-технологические решения по повышению эффективности шлифования заготовок деталей из титановых сплавов, имеющие существенное значение для развития машиностроения.

Диссертационная работа по актуальности темы, новизне научных положений и практической значимости, объёму выполненных исследований соответствует критериям, изложенными в пунктах 9 – 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. за № 842 с изменениями на 25.01.2024 г., 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 (технические науки).

Соискатель имеет 9 опубликованных работ по теме диссертации, в том числе 3 статьи в изданиях из перечня ВАК, 1 статью в изданиях из базы

цитирования Scopus и Web of Science. Работы посвящены теоретическим и экспериментальным исследованиям процесса прерывистого шлифования титановых сплавов, разработке конструкции прерывистого шлифовального круга, моделированию его напряженно-деформированного состояния и тепловых полей в зоне обработки. Научные работы соискателя отражают результаты проведенного исследования и раскрывают основные положения, выносимые на защиту. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

**Наиболее значимые работы соискателя по теме диссертации:**

1. Гордиенко, Я.М. Обоснование применимости математической модели подвижного источника тепла при описании процесса прерывистого шлифования титановых сплавов / Я.М. Гордиенко // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2024. – Т. 26, № 4(2). – С. 298–305. – DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-4(2)-298-305. – 0,6 п.л. / авт. 0,6 п.л.
2. Гордиенко, Я.М. Разработка силовой модели резания процесса прерывистого шлифования и исследования сложнонапряженного состояния рабочих сегментов на вулканитовой связке / Я.М. Гордиенко // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2024. – Т. 26, № 4(2). – С. 306–311. – DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-4(2)-306-311. – 0,5 п.л. / авт. 0,5 п.л.
3. Гордиенко, Я.М. Влияние типа связки абразивного круга на геометрические характеристики поверхности при прерывистом шлифовании заготовок из титановых сплавов / Я.М. Гордиенко, А.Н. Унянин, Р.Г. Гришин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2025. – Т. 27, № 3(2). – С. 289-298. – DOI: 10.37313/1990-5378-2025-27-3(2)-289-298. – 1 п.л. / авт. 0,5 п.л.
4. Nosov N.V. Macroscopic Model of an Abrasive Tool / N.V. Nosov, R.G. Grishin, R.V. Ladygin, V.A. Rodionov, Y.M. Gordienko // MATEC Web of Conferences. – 2021. – Vol. 346. – Art. 01021. – DOI: 10.1051/matecconf/202134601021. – 0,5 п.л. / авт. 0,05 п.л.

5. Гордиенко, Я.М. Анализ модели теплонапряженности поверхности заготовки при прерывистом продольном шлифовании периферией круга / Я.М. Гордиенко, Р.Г. Гришин, И.М. Сальников // Высокие технологии в машиностроении: материалы XX Всероссийской научно-технической конференции с международным участием (г. Самара, 2023 г.). – Самара: СамГТУ, 2023. – С. 110–115. – 0,4 п.л. / авт. 0,3 п.л.

6. Гордиенко, Я.М. Исследование высоты волнистости при прерывистом шлифовании титанового сплава ВТ-12 путем изменения числа режущих сегментов и режимов резания / Я.М. Гордиенко // Высокие технологии в машиностроении: материалы XXI Всероссийской научно-технической конференции с международным участием (г. Самара, 9 апреля 2025 г.). – Самара: СамГТУ, 2025. – С. 26–29. – 0,1 п.л. / авт. 0,1 п.л.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Отзыв ведущей организации – **ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»**, подписанный заместителем заведующего кафедрой «Иновационные технологии машиностроения» д.т.н., профессором В. Ф. Макаровым и утвержденный проректором по науке и инновациям д-ром физ. мат. наук, доцентом А.И. Швейкиным.

Отзыв положительный со следующими замечаниями:

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.

Отмеченные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы и не снижают её научной и практической ценности.

**2. Отзыв официального оппонента – Волкова Дмитрия Ивановича**, доктора технических наук, профессора кафедры «Инновационное машиностроение» ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева».

Отзыв положительный, со следующими замечаниями:

1. Автором недостаточно раскрыт вопрос о влиянии изменения геометрии режущих кромок абразивных зерен в процессе износа на силовые и температурные характеристики процесса шлифования, что важно для более точного прогнозирования стойкости инструмента.

2. В регрессионных моделях, связывающих параметры обработки с выходными характеристиками, не в полной мере учтена стохастическая природа процесса шлифования.

3. Не представлена сравнительная оценка стоимости изготовления и эксплуатации разработанного прерывистого шлифовального круга по сравнению с серийными аналогами.

4. Требует уточнения методика определения интервалов времени для расчета выходных и текущих параметров процесса шлифования.

5. Теплостойкость вулканической связки всего составляет  $180^{\circ}\text{C}$ , а средняя температура шлифования превышает  $350^{\circ}\text{C}$ , возникает вопрос о стойкости круга.

6. С чем связано повышение волнистости при шлифовании прерывистыми кругами на вулканической связке (рис. 4.21).

7. Насколько СОЖ ЭКОГРИНД 10М с концентрацией 7% соответствует шлифованию титановых сплавов.

В целом приведенные замечания не снижают научной новизны, практической ценности полученных результатов и общей положительной оценки диссертационной работы.

**3. Отзыв официального оппонента – Носенко Владимира Андреевича, доктора технических наук, заведующего кафедрой «Технология и оборудование машиностроительных производств» Волжского политехнического института (филиала) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»**

Отзыв положительный, со следующими замечаниями:

1. В литературном обзоре обоснованы все основные направления работы, кроме целесообразности применения для шлифования титановых сплавов инструментов на вулканической связке. В таком случае следовало воспользоваться достоверными источниками возможности практического применения. В частности, на сайте абразивного завода «Корунд» ([info@zavodkorund.ru](mailto:info@zavodkorund.ru)) представлена информация о практическом использовании

абразивного инструмента на вулканитовых и близких к ним связках для обработки титановых сплавов (операция отрезки).

2. В основных положениях, выносимых на защиту, определена «Конструкция и технология изготовления сборного ПШК». Соискатель на основании разработанных математических моделей и зависимостей определил данные параметры. Для убедительного подтверждения новизны технических решений следовало получить официальное подтверждение в виде патентов или полезных моделей. Вся необходимая информация в диссертации имеется.

3. В разработанных математических моделях следовало учесть адгезионную активность титановых сплавов, что оказывает значимое влияние на показатели шлифования.

4. В диссертации почти четвертая часть работы посвящена исследованию влиянию СОЖ, разработаны соответствующие математические модели, учитывающие охлаждающее действие СОЖ. Следует отметить, что при шлифовании титановых сплавов СОЖ выполняет не только охлаждающее, но и пассивирующее действия.

5. В регрессионных моделях, не указаны коэффициенты детерминации и другие статистические характеристики, позволяющие оценить адекватность и точность моделей.

Представленные замечания не затрагивают основные положения и выводы работы, которая обладает актуальностью, научной новизной и практической значимостью.

**4. Отзыв из ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» г. Челябинск, подписанный д.т.н., профессором кафедры «Технологии автоматизированного машиностроения» Ардашевым Дмитрием Валерьевичем.**

Отзыв положительный, со следующими замечаниями:

– Из автореферата неясно является ли установленное количество сегментов (16 ед.) оптимальным для рассматриваемого конкретного диаметра инструмента или для всех диаметров?

– Установлена зависимость высоты волнистости обработанной поверхности от количества сегментов прерывистых шлифовальных кругов и режима обработки. Однако подобной зависимости в отношении шероховатости поверхности не представлено. При этом сказано, что «Обеспечение требуемых параметров шероховатости и волнистости прерывистых шлифовальных кругов достигается за счет использования конфигурации с 16-ю абразивными сегментами». На каком основании сделано заключение, касающееся шероховатости?

– При моделировании напряженно-деформированного состояния абразивного сегмента, значения их физико-механических характеристик определялись экспериментально. Возможно ли распространить результаты моделирования на прерывистые шлифовальные круги других характеристик без необходимости проведения дополнительных испытаний?

– Как рассмотренные и подтвержденные демпфирующие свойства вулканитовой связки могут сказаться на точности обработки при шлифовании?

**5. Отзыв из ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова», г. Ижевск, подписанный к.т.н., доцентом, деканом «Технологического факультета» Смирновым Виталием Алексеевичем.**

Отзыв положительный, со следующими замечаниями:

– В автореферате указано, что было проведено численное моделирование напряженно-деформированного состояния абразивного сегмента, но не показано поле распределения эквивалентных напряжений. Также указано, что проведено численное моделирование теплонапряженности процесса прерывистого шлифования, но также наглядно не показаны результаты.

– Возникает вопрос о целесообразности использования уравнения шестой степени для описания зависимости коэффициента концентрации напряжений от ширины контакта сегмента с корпусом. Использование полиномиальных уравнений высоких степеней может приводить к осцилляции (раскачиванию) аппроксимирующей кривой. К сожалению, в автореферате полученные графики

не представлены, что не даёт возможности оценить влияние осцилляций. Кроме того, расчетные значения коэффициента концентрации напряжений сравниваются с экспериментальными значениями, но не представлена информация о методике экспериментального измерения данного коэффициента.

– Автор указал, что адекватность теплофизической модели прерывистого шлифования проверялась сопоставлением аналитической модели с результатами численного моделирования в среде COMSOL Multiphysics, что, безусловно, имеет смысл. Однако, не представлены результаты сравнения теплофизической модели с результатами экспериментальных замеров.

**6. Отзыв из ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», г. Санкт-Петербург, подписанный д.т.н., профессором высшей школы машиностроения Радкевичем Михаилом Михайловичем.**

Отзыв положительный, со следующими замечаниями:

– Во введении и общей характеристике работы акцент сделан на решении практической задачи, однако формулировка исходной научной гипотезы, которая легла в основу исследований (например, о том, что именно вулканитовая связка, в отличие от других, обеспечит оптимальный баланс демпфирования и прочности для ПШК), представлена неявно.

– В работе активно используется абразивный материал марки 63С 10-Н СМ1-5 В. Однако в тексте отсутствует краткое обоснование выбора именно этой марки (зернистость, твердость, структура) применительно к обработке титановых сплавов. Чем обусловлен этот выбор по сравнению с другими возможными вариантами?

– Указан значительный годовой экономический эффект (1 325 391 руб.), но в автореферате не приведена даже краткая структура его расчета. Неясно, какие именно статьи затрат были сокращены (стоимость инструмента, устранение брака, повышение производительности) и как производилась оценка.

**7. Отзыв из ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», г. Волгоград, поданный д.т.н., профессором, заведующим кафедрой «Технология машиностроения» Чигиринским Юлием Львовичем.**

Отзыв положительный, со следующими замечаниями:

- Научной новизной результатов работы обладают математические описания выявленных закономерностей (взаимосвязей между условиями и результатами процесса) или сами взаимосвязи, формирующие результаты изучаемого процесса?
- В чем, по мнению автора, состоит принципиальное различие между имитационными (стр. 5, п. п. 2, 4 Научной Новизны), аналитическими (стр. 5, п. 3) и регрессионными (стр. 6, п. 5) моделями, если все эти математические описания построены с использованием экспериментально – с некоторой погрешностью, – определенных, т. е., эмпирических, исходных данных?
- Влияние каких конструктивных параметров сегментного круга, кроме ширины контакта сегмента с корпусами ( $b_k$ ) на величину коэффициента концентрации напряжений ( $\alpha_b$ ) позволяет оценить полином (5) (стр. 11 автореф.)?
- Насколько необходимо в регрессионных моделях (12) ... (14) (стр. 17, автореф.) указывать коэффициенты регрессии с точностью до  $10^{-7}$ ? Проводилась ли, при построении регрессионных моделей, оценка статистической значимости факторов – различие в абсолютных значениях коэффициента регрессии достигает  $7,5 \cdot 10^3$  крат ( $11,25 / 0,001485$ ).

**8. Отзыв из ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», г. Самара, поданный д.т.н., доцентом, заведующим кафедрой «Технологии производства двигателей» Хаймовичем Александром Исааковичем.**

Отзыв положительный, со следующими замечаниями:

- В разделе, посвященном экспериментальным исследованиям, указано, что испытания проводились на трёх типах кругов (вулканическом, бакелитовом и керамическом) в идентичных условиях. Однако отсутствует информация о

количестве повторений экспериментов, использованных для каждого типа круга и режима обработки. Не указаны также методы оценки погрешностей измерений и критерии статистической значимости полученных различий (например, снижения вибраций на 15% и 26%). Это может вызывать вопросы к достоверности и воспроизводимости результатов.

– В представленных регрессионных моделях (12-14) используется функция  $f_{\text{сож}}$ , учитывающая способ охлаждения, однако ее аналитический вид или алгоритм определения в автореферате не раскрывается. Это ограничивает возможность практического применения данных моделей для прогнозирования.

– При описании экспериментальных исследований в разделе 4 отсутствуют конкретные сведения о марках обрабатываемых титановых сплавов (кроме упомянутого ВТ-12) и их основных физико-механических характеристиках. Это затрудняет полную оценку границ применимости разработанных регрессионных моделей (12-14) для других марок сплавов.

– В разделе «Заключение» (пункт 4) указано снижение вибрационной нагрузки на 14%, тогда как в пункте 6 того же раздела и в главе 4 говорится о снижении вибраций на 15% и 26% относительно бакелитовой и керамической связок соответственно. Необходимо уточнить и унифицировать количественные данные.

**9. Отзыв из ФГБОУ ВО «Приволжский государственный университет путей сообщения», г. Самара, подписанный д.т.н., профессором кафедры «Железнодорожный путь и строительство» Рахчеевым Валерием Геннадьевичем и к.т.н., доцентом кафедры «Железнодорожный путь и строительство» Максимовым Ильей Сергеевичем.**

Отзыв положительный, со следующими замечаниями:

– В автореферате не указано как экспериментально определялись контактные температуры при прерывистом шлифовании титановых сплавов, на поверхности заготовки и инструменте?

– Не совсем ясно, как при температурах 330-363°C (стр.17) не деформируется размягчается или выгорает вулканическая связка, хотя известно,

что деструктивные процессы возникают при температурах порядка 200°C, возникает вопрос о стойкости используемого абразивного инструмента?

– Автор приводит, максимальные эквивалентные сжимающие напряжения в моменте врезания сегмента в заготовку и локализуемые вдоль фронтальной кромки методом численного моделирования в среде COMSOL Multiphysics (стр.11), однако остается не ясным как моделировался контакт АС и заготовки, и какое число контактов в модели? Учитывались ли физико-механические характеристики связки при моделировании?

– Не ясно какой тип вулканической связки используется, вид абразивных частиц и структуры шлифовального круга при обработке группы титановых сплавов, чем обусловлен выбор именно характеристик 63С 10-Н СМ1-5 В?

– Остается вопрос производилась ли правка шлифовального круга в процессе обработки, ведь при обработке титановых сплавов свойственны значительные налипание материала на рабочей поверхности инструмента?

**10. Отзыв из ФГБОУ ВО "Курганский государственный университет", г. Курган, подписанный д.т.н., профессором кафедры «Машиностроение» Курдюковым Владимиром Ильичом.**

Отзыв положительный, со следующими замечаниями:

– В тексте автореферата встречаются незначительные стилистические погрешности и опечатки, например, на странице 8, строка 3 (сверху) некорректно словосочетание «удельное давление» вместо «нагрузка», которые, однако, не искажают общего смысла изложения и не влияют на оценку научного содержания работы.

– Приведенные в автореферате диаграммы (Рис. 5 и 6) имеют недостаточно высокое разрешение, что несколько затрудняет визуальное восприятие представленных зависимостей.

– Все подрисуночные надписи оформлены не по действующему в н.в. ГОСТ Р7.32-2017.

– Не указаны конкретные марки связок, на которых изготавливались сегменты, а также их геометрические и структурные характеристики, как того

требует ГОСТ 33534-2015. Суть этого замечания заключается в том, что существует и используется большое разнообразие связок внутри типов, в том числе и вулканических (P1, P4, P5 и т.д), по составам, определяющим их физико-механические характеристики (для вулканических как раз жесткость), а значит и эксплуатационные свойства инструмента на них изготовленного. Это же касается и структурных характеристик. Отсутствие этих сведений несколько затрудняет оценку результатов сравнительных испытаний ПШК на разных связках.

**11. Отзыв из ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет» г. Йошкар-Ола,** подписанный д.т.н., профессором, заведующим кафедрой «Машиностроения и материаловедения» Алибековым Сергеем Якубовичем.

Отзыв положительный. Замечаний не имеется.

**12. Отзыв из ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», г. Санкт-Петербург,** подписанный к.т.н., доцентом высшей школы машиностроения Шабалиным Дмитрием Николаевичем.

Отзыв положительный, со следующими замечаниями:

- Нет сведений о kleях, осуществляющих крепление абразива на оправке.

При разной частоте вращения возможен отрыв брусков с непредсказуемыми последствиями.

– Маркировка круга приведена только в заключении, что затрудняет понятие процесса шлифования.

**13. Отзыв из ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» г. Барнаул,** подписанный к.т.н., доцентом кафедры «Технология машиностроения» Некрасовым Вячеславом Николаевичем.

Отзыв положительный, со следующими замечаниями:

– Несмотря на предложенную конструкцию прерывистого шлифовального круга, в частности геометрия крепления сегментов в корпусе, в автореферате нет информации о подаче заявки или получении автором патента на изобретение или полезную модель режущего инструмента.

– При решении одной из основных задач, поставленных в работе, связанной управлением тепловыделением в процессе шлифования, нигде не анализируется возможность использования СОТС, как очевидный способ снижения температуры резания, в том числе при шлифовании титановых сплавов.

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации** обосновывается широкой известностью их достижений в области технологии абразивной обработки и проектирования абразивного инструмента, наличием научных разработок, публикаций в рецензируемых журналах и вкладом в развитие данного направления исследований, достаточной квалификацией, позволяющей оценить новизну представленных на защиту результатов, их научную и практическую значимость, обоснованность и достоверность полученных выводов. В ведущей организации и организациях, в которых осуществляют свою деятельность официальные оппоненты, выполнен значительный объем научных исследований, связанных с изучением процессов шлифования, рассматриваемых соискателем в диссертационной работе.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

**разработана** конструкция и технология изготовления сборного прерывистого шлифовального круга (ПШК) на вулканитовой связке;

**разработаны** имитационные и аналитические модели для определения напряженно-деформированного состояния абразивных сегментов и тепловых полей в зоне обработки при прерывистом шлифовании;

**разработана** регрессионная модель по определению параметров качества обработанной поверхности (шероховатость, волнистость) в зависимости от условий и режима прерывистого шлифования;

**разработаны** научно обоснованные рекомендации по выбору рациональных режимов прерывистого шлифования заготовок деталей из титановых сплавов с применением ПШК на вулканитовой связке;

**предложена** методика расчета конструктивных параметров ПШК и оценки концентрации напряжений в зоне крепления абразивных сегментов;

**доказана** эффективность применения ПШК на вулканитовой связке для снижения вибраций и тепловых воздействий при шлифовании титановых сплавов;

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

**доказана** возможность повышения производительности процесса и качества поверхности при шлифовании титановых сплавов, благодаря применению ПШК, спроектированного на основе результатов моделирования напряжённо-деформированного состояния и тепловых процессов в зоне шлифования;

**применительно к проблематике диссертации результативно использованы** методы конечно-элементного моделирования для анализа напряжённо-деформированного состояния абразивных сегментов с целью оценки их прочности и теплового состояния зоны шлифования;

**изложены** результаты численного и аналитического моделирования, которые позволили прогнозировать силовые и температурные нагрузки и обосновывать выбор параметров инструмента и режимов обработки;

**раскрыты** закономерности формирования микропрофиля поверхности деталей из титановых сплавов в процессе шлифования ПШК;

**изучены** факторы, оказывающие значимое влияние на уровень вибраций и теплового состояния зоны обработки при прерывистом шлифовании;

**проведена модернизация** моделей теплообразования при шлифовании с учетом периодического характера контакта и свойств вулканитовой связки.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

**разработаны и внедрены** рекомендации по модернизации технологии шлифования деталей из титановых сплавов с применением прерывистых кругов, которые подтверждены опытно-промышленной проверкой в условиях предприятия ОАО «Авиагрегат» (г. Самара) и АО «Агрегат» (г. Самара), а также результатами использования в учебном процессе при подготовке бакалавров и

магистров по направлению «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» в ФГБОУ ВО «СамГТУ»;

**определены** перспективы использования разработанных моделей и методик для проектирования технологических процессов прерывистого шлифования труднообрабатываемых материалов;

**создана** теплофизическая модель процесса прерывистого шлифования, позволяющая прогнозировать температурные режимы при обработке титановых сплавов кругами на вулканитовой связке;

**представлены** технологические решения по повышению стабильности процесса шлифования титановых сплавов и снижению брака от прижогов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

**для экспериментальных работ** использованы современные измерительные сертифицированные средства, показана достаточная статистическая воспроизводимость результатов исследований, выполненных по разработанным соискателем методикам;

**теория** подтверждается согласованностью теоретических выводов и данных численного моделирования с результатами экспериментальной проверки, обоснованностью принятых допущений и ограничений, использованием известных методов расчёта, адекватностью полученных зависимостей, а также согласованностью с данными других исследователей;

**идея диссертационного исследования** базируется на учете влияния конструктивных параметров ПШК и режимов обработки на силовые, температурные и вибрационные характеристики процесса шлифования титановых сплавов;

**использовано** сравнение результатов, полученных соискателем, с экспериментальными данными натурных экспериментов и других ученых по тематике диссертационной работы;

**установлено** качественное и количественное соответствие авторских результатов исследования с результатами, представленными в научной литературе по данной тематике;

**использованы** современные информационные базы и научно-техническая литература по проектированию абразивного инструмента и технологии шлифования титановых сплавов.

Личный вклад соискателя состоит в:

непосредственном участии на всех этапах написания диссертации, определении цели и задач исследований, непосредственном участии в выполнении научных исследований, как теоретического, так и экспериментального характера, необходимых для решения поставленных задач и достижения цели диссертационной работы:

**разработке** конструкции и методики расчета ПШК на вулканической связке; **проведении** численного моделирования напряженно-деформированного состояния и тепловых полей в зоне обработки; **разработке** теплофизической модели процесса прерывистого шлифования и регрессионных моделей взаимосвязи режимов обработки с параметрами шероховатости и волнистости поверхности; **разработке плана экспериментальных работ** по сравнительной оценке эффективности ПШК на различных связках; планировании и проведении экспериментальных исследований; анализе и обобщении полученных данных; апробации и внедрении результатов исследования; **подготовке** основных публикаций по выполненной работе.

В ходе защиты диссертации соискателем Гордиенко Ярославом Михайловичем даны аргументированные ответы на заданные ему в ходе заседания вопросы. Вопросы и ответы на них приведены в стенограмме заседания диссертационного совета.

**Результаты исследований рекомендуется использовать:**

**на предприятиях машиностроительной отрасли**, занимающихся изготовлением деталей из титановых сплавов, на предприятиях авиационной промышленности;

**в проектно-конструкторских и научно-исследовательских организациях**, занимающихся разработкой абразивного инструмента и технологий абразивной обработки;

**в высших учебных заведениях** при подготовке специалистов, бакалавров и магистров по направлениям, связанным с машиностроением и технологией машиностроения.

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием плана исследований и основной идейной линии, взаимосвязью поставленных задач и полученных результатов, содержит новые научные результаты, свидетельствующие о личном вкладе автора диссертации в науку.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены научные результаты.

Диссертационный совет пришел к выводу, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая содержит решение актуальной задачи повышения эффективности шлифования заготовок деталей из титановых сплавов на основе рационального проектирования и применения прерывистых шлифовальных кругов на вулканитовой связке, имеющей существенное значение для развития машиностроения.

Диссертационная работа Гордиенко Я.М.. соответствует критериям, установленным в разделе II, п.п. 9 - 11, 13, 14. Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 г. за № 842 с изменениями в редакции от 25.01.2024 г.

На заседании 25 декабря 2025 г. диссертационный совет принял решение присудить Гордиенко Ярославу Михайловичу ученую степень кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки).

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 10 человек, из них 5 докторов наук по специальности 2.5.5 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки), участвующих в заседании, из 14 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовал: за присуждение ученой степени - 9 человек, против – 1, недействительных – нет.

Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В. П.

Ярослав Михайлович, разрешите мне от имени совета еще раз поздравить Вас с успешной защитой, с пожеланием дальнейших творческих успехов.

Уважаемые члены диссертационного совета! Благодарю всех за участие. Защита окончена, заседание объявляется закрытым. Всем большое спасибо!

Председатель диссертационного совета  
д.т.н., профессор

Табаков В.П.

14.01.2026

Ученый секретарь диссертационного совета  
д.т.н., доцент

Унянин А.Н.

14.01.2026