

ИТОГОВЫЙ ОТЧЕТ
о проделанной работе обладателей грантов
Государственного Совета Республики Крым молодым ученым Республики
Крым имени Н. Я. Данилевского

Повышения качества поверхности при шлифовании за счет оптимизации режимов
резания и состава смазочно-охлаждающих технологических средств
(Название научного проекта)

Технические науки

(Номинация)

Теминдаров Ильяс Эльвирович

(Ф.И.О. автора проекта)

преподаватель кафедры технологии машиностроения

(Ученая степень, ученое звание, должность)

ГБОУ ВО РК «Крымский инженерно-педагогический университет
имени Февзи Якубова»

(Образовательная организация высшего образования или научная организация)

1. Краткое описание научного проекта победившего в конкурсе на назначение грантов Государственного Совета Республики Крым молодым ученым Республики Крым имени Н. Я. Данилевского.

Современный уровень развития техники в отечественном машиностроении Республики Крым требует повышенных характеристик к параметрам надежности и долговечности машин. Одним из основных факторов, обеспечивающих надежность и долговечность деталей машин, является качество поверхности, которая характеризуется шероховатостью, волнистостью и физико-механическими свойствами поверхностного слоя. Указанные параметры формируются на чистовых этапах обработки деталей, в то же время одним из основных способов чистовой обработки деталей машин является процесс шлифования, при котором достигается высокая точность формы и размеров деталей, низкая шероховатость обработанных поверхностей, которая определяет их износостойкость, эксплуатационную надежность и, как следствие, качество машины в целом.

При общей тенденции в машиностроении к уменьшению удельного веса механической обработки, а также в результате все более широкого применения высоколегированных сталей и сплавов, обработка которых резанием затруднена, возрастает объем применения методов абразивно-алмазного шлифования, из которых в настоящее время 25-35% составляют операции круглого наружного шлифования. При этом круглое наружное врезное шлифование является одним из наиболее распространенных процессов, которые используются на чистовом этапе обработки.

Процессы плоского шлифования либо торцом круга, либо его периферией, широко применяются для обработки объемных фигур, таких как шарообразных, цилиндрических или конусообразных и других. Существуют также вариации данного процесса, такие, как внутренняя, бесцентровая или профильная шлифовка, в зависимости от сложности формы обрабатываемой детали. Шлифование зубьев и резьбы применяют в процессе производства разнообразного режущего инструмента, к которому относят ходовые винты, зубчатые колеса, метчики и так далее.

Раскрытие механизма формирования контактного слоя при изготовлении инструмента и изучение физических явлений, происходящих в системе алмаз - матрица при действии силовых и температурных факторов эксплуатации инструмента и, прежде всего, исследование напряженно-деформированного состояния позволяет определить эффективные пути совершенствования алмазного инструмента. Проводимые исследования на машиностроительных предприятиях Республики Крым показывают, что надежность алмазодержания и работоспособность инструмента в целом, в значительной степени определяется природой контактного (переходного) слоя между алмазом и матрицей, а также процессами, происходящими в нем при резании.

Важнейшим аспектом таких исследований является возможность наблюдения переходных процессов в цикле врезного шлифования и сопровождающих их динамических явлений, что позволяет обнаружить условия устранения или уменьшения их отрицательного влияния на качество обработанной поверхности. Кроме того, возможность имитационного моделирования всего рабочего цикла шлифования позволит найти аналитические решения расчета всех его этапов, выбора рациональной структуры и параметров.

Для повышения качества проектных решений и обеспечения стабильности точности деталей процесс образования отклонений формы, взаимного расположения и волнистости необходимо рассматривать как результат динамического взаимодействия постоянно изменяющихся с течением времени профилей шлифовального круга и заготовки с учетом всего многообразия действующих факторов и их случайного характера.

В отдельную категорию процессов данного класса Воронков А.В., выделяет так называемое высокоскоростное шлифование, подразумевая под указанным термином такой метод абразивной обработки поверхности, при использовании которого скорость вращения шлифовального круга должна достигать значений 60 метров в секунду и более. Принято считать, что при данных скоростях реализуются минимальные показатели шероховатости обрабатываемой плоской поверхности.

При процессе обработке с увеличением скорости резания и подачи возрастают прижоги и трещины на обработанной поверхности. Устранение этого требует совершенствование составов и способов подачи СОТС в зону резания. Рациональный выбор СОТС должен снижать контактную температуру в зоне резания, обеспечивать интенсивный отвод тепла, оказывать смазочное действие, уменьшать мощность шлифования, удалять отходы процесса шлифования из зоны резания, устранять засаливание круга путем очистки рабочей поверхности зерен.

С точки зрения эксплуатационных свойств и простоты использования СОТС

на водной основе более приемлемы. Если требуется большой съём с обрабатываемой поверхности при высокой производительности, то без применения СОТС на масляной основе трудно достигнуть требуемых результатов.

Несмотря на то, что в работах по высокоскоростному шлифованию, проведен большой объем исследований сил резания, температур в зоне контакта, кинематических особенностей взаимодействия круга с деталью на высоких скоростях и т.д., рекомендации по внедрению на производствах Республики Крым носят частный характер для отдельных конкретных марок сталей, абразивных кругов и условий шлифования.

2. Заявленные цели и задачи научного проекта, предлагаемые методы, подходы, идеи, рабочие гипотезы, которые предлагались для решения задач научного проекта.

Целью проекта является повышение работоспособности алмазных инструментов на металлической связке направленным изменением физических свойств их режущей части на основе моделирования ее напряженно-деформированного состояния при эксплуатации и исследования механизма формирования контактного слоя между алмазом и матрицей в процессе изготовления.

Задачи проекта:

- 1). Создать модели необработанных заготовок.
- 2). Создать элементарные режущие профиля шлифовального круга.
- 3). Разработать методику формообразующих движений элементарным режущим профилем и ее воплощение на заготовках.
- 4). Разработать и воплотить методику оценки формирования шероховатости на поверхности заготовки и ее качества.

Методы, подходы, идеи, рабочие гипотезы, которые предлагаются для решения задач научного проекта

Исходными данными для моделирования режущей поверхности шлифовального круга являются: зернистость, объемное содержание абразивного материала, высота и диаметр шлифовального круга, начальная шероховатость заготовки, окружная скорость и врезная подача инструмента, скорость подачи детали.

При шлифовании, шероховатость формируется в результате большого количества проходов абразивного круга. Компьютерное моделирование процесса шлифования в целом ограничивается техническими возможностями современной компьютерной техники. С целью увеличения числа проходов режущих профилей использовали математическую обработку полученных результатов моделирования.

Построение модели осуществляется в три этапа: создание модели необработанной заготовки, создание элементарных режущих профилей шлифовального круга, задание элементарным режущим профилем формообразующих движений и их копирование на заготовке.

Гипотеза проекта. В основу исследования положено подтверждение гипотезы о необходимости применения высоких скоростей резания, острой режущей кромки и высокой твердости режущих частиц, с целью обеспечения качества поверхностного слоя, оцениваемого по параметру шероховатости R_a и снижения величины дефектного слоя либо полного его исключения. Исследования

будут проводиться согласно методике планирования полного факторного эксперимента, где в качестве факторов учитываются:

- глубина резания на проход t , мм,
- скорость подачи стола S , м/мин,
- температура верхних слоев заготовки T , °С,
- шероховатость обработанной поверхности Ra , мкм.

В результате проведения исследований будут разработаны математические модели описания вышеуказанных зависимостей для обработки жесткими шлифовальными кругами из различных материалов. Также будут определены диапазоны значений режимов обработки, выход за пределы которых приводит к формированию дефектного слоя, вызванного увеличением степени упругих отжатий технической системы, что является следствием засаливания режущего инструмента.

К основным дефектам процесса относятся:

- деламинация крайних слоев заготовки;
- трещинообразование в обрабатываемой поверхности;
- термодеструкция материала, возникающая при превышении температуры верхних слоев заготовки, выше определенной.

Сохранения пористости режущего инструмента, обеспечивает действие свойства его самозатачивания. Также стоит отметить, что значения глубины обработки должны сопровождаться допустимой температурой верхних слоев заготовки. Совокупность данных факторов обеспечит высокое качество обработанной поверхности.

3. Все запланированные научные результаты достигнуты: Да/Нет (в случае выбора "Нет" необходимо дать пояснения о причинах).

4. Сведения о фактически проделанной работе, полученные результаты (дать описание методов проведения исследований, кратко изложить основные результаты, полученные в ходе проведения исследований, выводы и заключение по результатам исследований; привести научную новизну, теоретическую и практическую значимость работы).

Для исследования параметров качества поверхности и влияния на показатели процесса шлифования параметров характеристики круга, факторов режима шлифования, способа подачи и состава СОТС, в лабораторных условиях были испытаны круги различных характеристик при различных режимах резания. Установлено:

1) Из факторов режима шлифования на показатели процесса наибольшее влияние оказывает поперечная подача и скорость круга. С увеличением поперечной подачи, увеличивается производительность процесса, износ круга, шероховатость поверхности и радиальное усилие шлифования. С увеличением скорости круга увеличивается производительность процесса и снижается радиальное усилие шлифования. Шероховатость поверхности и износ круга с увеличением его скорости увеличивается для кругов зернистостью М40 и выше.

Увеличение скорости резания при шлифовании производится главным образом для повышения производительности обработки. Производительность любой технологической операции, в том числе и шлифования, определяется числом заготовок, обработанных в единицу времени на данном станке, или

штучно-калькуляционным временем на обработку. Увеличение скорости резания при шлифовании производится главным образом для повышения производительности обработки. Повышение скорости круга с 35 м/с до 70 м/с обеспечивает уменьшение основного времени на обработку партии заготовок в среднем в 3..3,5 раза.

2) С уменьшением зернистости круга уменьшается производительность процесса и шероховатость поверхности. Тонкозернистые круги из карбида кремния по сравнению с кругами из электрокорунда белого при примерно равной производительности обеспечивают лучшую чистоту поверхности. Из тонкозернистых кругов на органических связках наибольшую производительность обеспечивают круги на бакелитовой связке, в 1,57 раза.

3) Для определения оптимальных режимов шлифования мелкозернистыми кругами методом линейного программирования составлена по техническим ограничениям и экспериментальным зависимостям модель процесса в виде системы линейных неравенств и линейной функции оптимизации.

4) Выполнен расчет высокопроизводительного цикла шлифования деталей кругами ПП 25А 300х40х76 СМ(К,Л) 40 с изменением радиального усилия шлифования и высокопроизводительного цикла шлифования валков холодной прокатки с получением поверхности соответствующей 6 качеству точности при изменении двух факторов режима шлифования (скорости круга, нагрузки на электродвигатель привода круга). Проведенными в лабораторных и производственных условиях экспериментальными работами подтверждена высокая производительность циклов, рассчитанных по предложенной методике. При применении расчетных циклов шлифования валков холодной прокатки производительность шлифования повысится в 1,6-2,2 раза.

5) Произведены исследования подачи СОТС на испытываемые детали, которые показали, что обычные методы и методы MQL + WCJ давали меньшую шероховатость поверхности и отклонение от округлости по сравнению с другими используемыми методами из-за того, что они дольше сохраняли остроту круга. Более того, обычные методы и методы MQL + WCJ увеличивали коэффициент G и уменьшали тангенциальные силы шлифования и удельную энергию по сравнению с традиционным MQL. Метод MQL + WCJ позволял удалять часть стружки, прилипшей к активной поверхности шлифовального круга (GWAS) по сравнению с традиционным MQL. Обычный метод показал наилучшую производительность, за ним следуют MQL + WCJ при 120 мл/ч и 60 мл/ч, 30 мл/ч и традиционный MQL при 120 мл/ч, 60 мл/ч и 30 мл/ч. Они показали соответственно в 1,9; 2,0; 3,0; 4,7; 9,9 и 10,9 раза меньшие значения по сравнению со шлифованием потоковой струей.

Засорение круга является одной из причин потери остроты круга. Метод MQL + WCJ позволил удалить часть адгезии стружки на GWAS по сравнению с традиционным MQL. Однако, традиционное нанесение жидкости оказалось методом, который показал самую низкую адгезию. Этот результат предполагает, что адгезия стружки на шлифовальном круге способствовала снижению плотности активных зерен, создавая большее расстояние между более выступающими зернами и создавая более высокую силу резания на зерно.

Так же рассмотренный метод MQL + WCJ показал значения шероховатости

поверхности (Ra), близкие к традиционному, независимо от различных значений расхода масла, показав на 14% более высокие значения в отношении потоковой струей (0,49 мкм); традиционное применение MQL дало значения шероховатости поверхности на 73,5, 83,7 и 140,8% выше для 120, 60 и 30 мл/ч соответственно по сравнению с шлифованием потоковой струей. В результате шлифование MQL + WCJ при 30 мл/ч было способно создать на 33% более низкую шероховатость поверхности, чем традиционный MQL при самой высокой скорости потока (120 мл/ч), т. е. используется на 75% меньше масла. Результаты, полученные для отклонения от идеала, показали, что наилучшая производительность была получена при шлифовке традиционным методом. Метод MQL + WCJ показал значения на 25% выше при скорости потока 120 мл/ч, на 27,8% выше при 60 мл/ч и на 73,8% выше при 30 мл/ч. В случае традиционной техники MQL значения были на 241,2% выше при 120 мл/ч, на 287,7% выше при 60 мл/ч и на 349,7% выше при 30 мл/ч.

Можно заметить, что заливка струей и MQL + WCJ, которые лучше сохраняют остроту круга, также обеспечивают низкую шероховатость поверхности. Отклонение от округлости включено в это утверждение, поскольку круг в более острой форме приводит к меньшим силам резания, следовательно, к меньшей пластической деформации заготовки и, таким образом, к меньшему отклонению формы. Таким образом, традиционная техника MQL обеспечивает тангенциальную силу шлифования на 32,7% выше при 30 мл/ч, на 21,4% при 60 мл/ч и на 11% при 120 мл/ч по сравнению с техникой заливки; в то время как MQL + WCJ увеличивает остроту круга на более длительный период и показывает тангенциальные силы шлифования на 15,3% выше при 30 мл/ч, на 9,6% выше при 60 мл/ч и на 4,4% выше при 120 мл/ч по сравнению с техникой заливки потоковой струей.

б) В процессе экспериментальных работ были применены разные составы СОТС, которые указали, что смазывающие свойства смешанных масел оказались выше, чем для чистого касторового масла в идентичных экспериментальных условиях, а наилучший смазывающий эффект среди испытанных смешанных масел продемонстрировали следующие смеси: соевое/касторовое масло, а затем пальмовое/касторовое масло.

5. Все планируемые работы выполнены полностью: Да/Нет (в случае выбора "Нет" необходимо дать пояснения о причинах неполного выполнения работ).

6. Перечень публикаций научных статей в специализированных изданиях, программ и тезисов конференций по результатам выполненного проекта.

1. **Теминдаров И.Э.** Оптимизация процесса шлифования поверхности нержавеющей стали AISI304 (08X18H10) / И.Э. Аметов, И.Э. Теминдаров // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. – Симферополь: РИО КИПУ имени Февзи Якубова, 2025. – № 3 (89). – С. 290-296. ISSN 2658-364X

2. **Теминдаров И.Э.** Действие смазочно-охлаждающей жидкости на основе касторового масла в процессе шлифования стали AISI304 (08X18H10) / И.Э. Аметов, И.Э. Теминдаров // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. – Симферополь: РИО КИПУ имени Февзи Якубова, 2025. – № 4 (89). – С. 350-356. ISSN 2658-364X

3. **Джемилов Э.Ш.** Исследование влияния экологически безопасных

смазывающих технологических сред на стойкость инструментов из быстрорежущей стали / Э.Ш. Джемилов, В.В. Скакун, Р.М. Джемалядинов, **И.Э. Теминдаров** // Вестник Гомельского технического университета П.О. Сухого. – 2025. – №4. – С. 98-106.

7. В отчетном периоде возникли исключительные права на результаты интеллектуальной деятельности, созданные при выполнении проекта: Да/Нет (в случае выбора "Да" для каждого результата необходимо указать:

- 1) авторов результата интеллектуальной деятельности;
- 2) вид (название) результата интеллектуальной деятельности;
- 3) дату заявки на регистрацию результата интеллектуальной деятельности;
- 4) реквизиты (номер патента или свидетельства о государственной регистрации);
- 5) документ об охране исключительных прав (при наличии).

1. Скакун В. В. Способ измерения температурных и силовых параметров процесса резания при рассверливании // Патент № 2838795. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации. Дата регистрации: 21 августа 2024. Срок действия патента истекает: 21.08.2044. Заявка № 2024124584. Патентообладатель(и): Скакун В.В., Джемалядинов Р.М., **Теминдаров И.Э.**

Подано на рассмотрение.

2. Якубов Ч.Ф. Комбинированный инструмент для фрикционно-абразивного резания // Полезная модель № 25072873. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации. Дата регистрации: 10 ноября 2025. Заявка № 2025131083. Патентообладатель(и): Якубов Ч.Ф., Скакун В.В., Братан С.М., Покинтелица Н.И., Ваниев Э.Р., **Теминдаров И.Э.**

3. Якубов Ч.Ф. Комбинированный инструмент для фрикционно-абразивного резания // Полезная модель № 25072889. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации. Дата регистрации: 10 ноября 2025. Заявка № 2025131089. Патентообладатель(и): Якубов Ч.Ф., Скакун В.В., Братан С.М., Покинтелица Н.И., Джемилов Э.Ш., **Теминдаров И.Э.**

8. Информация о представлении достигнутых научных результатов на научных мероприятиях (конференциях, семинарах и пр.) (в том числе форма представления - приглашенный доклад, устное выступление, стендовый доклад).

1. **Теминдаров И.Э.:** участник III Международной конференции «Научные чтения памяти Февзи Якубова», тема конференции: Инновации и модернизация технологий и образования в Крыму. Доклад «Повышение качества обрабатываемой поверхности при шлифовании, за счет влияние режимов резания и различных смазочно-охлаждающих технологических средств». Место проведения: г. Симферополь, ГБОУВО РК КИПУ имени Февзи Якубова, 06.11.2025.

2. **Теминдаров И.Э.:** участник III Международной научно-практической конференции «Инновационное станкостроение, технологии и инструмент». Доклад «Исследование влияния экологически безопасных смазывающих технологических сред на стойкость инструментов из быстрорежущей стали». Место проведения: г. Гомель, ГГТУ им. П.О. Сухого, 28.11.2025.

9. Информация (при наличии) о публикациях в СМИ, посвященных результатам

выполнения проекта.

10. Привлекались ли к реализации проекта ученые, добровольцы (волонтеры) и иные специалисты? Да/Нет (в случае выбора "Да" указать информацию о целях и формах привлечения (коротко указать, сколько и какие специалисты привлекались, с какой целью и как часто, на каких условиях).

1. Курманов Р.Д., главный технолог завода АО «Пневматика»;

2. Хохряков Ю.Г., главный технолог ООО «Техно Пласт Юг»;

3. Аметов И.Э., кандидат химических наук, доцент, преподаватель кафедры электромеханики и сварки;

4. Ягьяев Э.Э., кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой электромеханики и сварки;

5. Сефедин И.Д., заведующий лабораторией «Физика, электротехника и электроника», преподаватель кафедры электромеханики и сварки;

6. Алиев А.И., кандидат технических наук, доцент, декан инженерно-технологического факультета;

7. Скакун В.В., старший научный сотрудник Студенческого конструкторского бюро, преподаватель кафедры технологии машиностроения;

8. Джемалядинов Р.М., начальник Студенческого конструкторского бюро, преподаватель кафедры технологии машиностроения;

11. Информация о внедрении результатов научного проекта в практическую деятельность.

1. Акт внедрения технологии повышения качества поверхности при шлифовании, путем оптимизации режимов резания, метода подачи и состава смазочно-охлаждающих технологических средств на предприятии АО «Пневматика» г. Симферополь.

2. Акт внедрения технологии повышения качества поверхности при шлифовании, путем оптимизации режимов резания, метода подачи и состава смазочно-охлаждающих технологических средств на предприятии ООО «Производственная компания «Техно Пласт Юг».

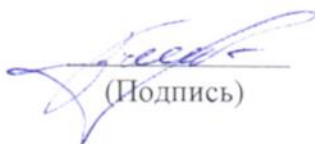
12. Расходование средств обладателей грантов Государственного Совета Республики Крым молодым ученым Республики Крым имени Н. Я. Данилевского:

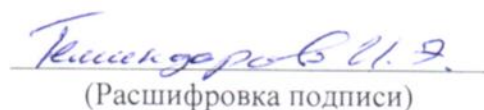
№ п.п.	Направления расходования средств гранта	Сумма расходов (тыс. руб.)
1.	Подходный налог	39тыс. руб.
2.	Регистрация заявки на выдачу патента РФ на изобретение и принятие решения по результатам формальной экспертизы заявки по п.1.1	4тыс. руб.
3.	Действия с ранее поданной заявкой на принятие решения по результатам экспертизы заявки на изобретение по существу по п.1.8	14тыс. руб.
4.	Регистрация изобретения, публикация сведений о выдаче патента, выдача патента в форме	10тыс. руб.

	электронного охранного документа, поддержание в силе патента РФ на изобретение с 1 по 5 год действия патента по п. 1.17	
5.	Выдача бумажного носителя по соответственному ходатайству на патент на изобретение, полезную модель, промышленный образец по п. 1.18.1	3тыс. руб.
6.	Регистрация заявки на выдачу патента Российской Федерации на полезную модель и принятие решения по результатам формальной экспертизы заявки по п. 1.2	700р.*2=1400 руб.
7.	Принятие решения по результатам экспертизы заявки на полезную модель по существу по п. 1.9	1050р.*2=2100 руб.
8.	Регистрация полезной модели, публикация сведений о выдаче патента, выдача патента в форме электронного охранного документа, поддержание в силе патента Российской Федерации на полезную модель с 1 по 5 год действия патента по 1.17	3500р.*2=7000 руб.
9.	Выдача на бумажном носителе по ходатайству правообладателя патента на полезную модель по результатам экспертизы соответствующих заявок по существу по п. 1.18.1	3000р.*2=6000 руб.
10.	Оплата услуг сторонних организаций в области металлообработки	28788 руб.
11.	Публикация 2 статей ВАК РФ	5000р.*2=10тыс. руб.
12.	Закупка заготовок для предварительной обработки	30653 руб.
13.	Диск CBN200 для заточки сверл из быстрорежущей стали (26A, 26D, G3)	12636р.*2=25272 руб.
14.	Диск CBN230 для заточки фрез по торцу из быстрорежущей стали (K2)	11934р.*2=23868 руб.
15.	Диск для HSS 150x32x16 предназначен для заточки инструмента из быстрорежущей стали (600F)	2048р.*2=4096 руб.

16.	Круг алмазный 1А1 250х40х5х76 АС4 160/125 В2-01 100% 675,0	19451 руб.
17.	Круг шлифовальный ПП 25А 300х40х76 СМ(К,Л) 40	2742р.*2=5484 руб.
18.	Касторовое масло, 10л	6360 руб.
19.	Пальмовое масло, 10кг	3531 руб.
20.	Соевое масло, 10л	3704 руб.
21.	Кукурузовое масло, 10л	1400 руб.
22.	Рапсовое масло, 10л	2090 руб.
23.	Арахисовое масло, 10л	14716 руб.
24.	Подсолнечное масло, 10л	1898 руб.
25.	Концентрат СОЖ Синапол 40кг	15168 руб.
26.	Смазочно-охлаждающая жидкость (СОЖ) AdvaCut C2 для шлифования, 20л.	17471 руб.
	Итого:	300тыс. руб.

(Дата)


(Подпись)


(Расшифровка подписи)