

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Инженерная школа новых производственных технологий

Отделение материаловедения

Направление подготовки: *Материаловедение и технологии материалов*

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
Создание износостойких покрытий, наплавленных в пучке релятивистских электронов

УДК 669.14.018.252.2:621.793.79

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б41	Шмаков Василий Валерьевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Научный сотрудник	Перовская Марина Владимировна	К.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Гаврикова Надежда Александровна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Раденков Тимофей Александрович			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
22.03.01 Материаловедение и технологии материалов	Овечкин Борис Борисович	К.т.н., доцент		

*Планируемые результаты обучения по ООП 22.03.01*

Код результата	Результат обучения
	<i>Общекультурные компетенции</i>
P1	Способность применять основные положения и методы социальных, гуманитарных и экономических наук при решении социально-общественных и профессиональных задач, способность анализировать социально-значимые проблемы и процессы. Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе на иностранном языке.
P2	Демонстрировать понимание сущности и значения информации в развитии современного общества, владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации; использование для решения коммуникативных задач современных технических средств и информационных технологий.
P3	Способность самостоятельно применять методы и средства познания, обучения и самоконтроля, осознавать перспективность интеллектуального, культурного, нравственного, физического и профессионального саморазвития и самосовершенствования, уметь критически оценивать свои достоинства и недостатки.
P4	Способность эффективно работать в кооперации с коллегами, находить организационно-управленческие решения в нестандартных ситуациях и готовность нести за них ответственность, владеть основами общего и производственного менеджмента и использовать их в профессиональной деятельности.
P5	Демонстрировать знание правовых, социальных, экологических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности, осведомленность в вопросах охраны здоровья, использовать методы и приемы организации труда, обеспечивающие эффективное, экологически и технически безопасное производство.
	<i>Профессиональные компетенции</i>
P6	Умение использовать базовые знания математических и естественнонаучных дисциплин и дисциплин общепрофессионального цикла в объеме, необходимом для использования в профессиональной деятельности основных законов соответствующих наук, разработанных в них подходов, методов и результатов математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в комплексной инженерной деятельности с целью моделирования объектов и технологических процессов в машиностроении.
P7	Умение использовать традиционные и новые технологические процессы, операции, оборудование, нормативные и методические материалы по технологической подготовке производства, качеству, стандартизации и сертификации изделий и процессов, умение выбора материалов для

<b>Код результата</b>	<b>Результат обучения</b>
	заданных условий эксплуатации с учетом требований технологичности, экономичности, надежности и долговечности, экологических последствий их применения.
P8	Умение применять основы высокотехнологичного инновационного менеджмента, в том числе малого бизнеса, владеть навыками в организации и техническом оснащении рабочих мест; разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений, оценке рисков и определении мер по обеспечению экологической и технической безопасности разрабатываемых материалов, техники и технологий.
P9	Умение использовать принципы и методики комплексных исследований, испытаний и диагностики, обработки и модификации материалов, изделий и процессов их производства, включая стандартные и сертификационные испытания; умение применять технические средства для измерения и контроля основных параметров технологических процессов, свойств материалов и изделий из них.
P10	Умение применять современные информационно-коммуникационные технологии, глобальные информационные ресурсы в научно-исследовательской и расчетно-аналитической деятельности в области материаловедения и технологии материалов.
P11	Умение использовать на практике современные представления наук о материалах, взаимодействии материалов с окружающей средой, владение навыками сбора данных, изучения, анализа и обобщения научно-технической информации по тематике исследования, разработки и использования технической документации, основных нормативных документов по вопросам интеллектуальной собственности, подготовки документов к патентованию, оформлению ноу-хау.
P12	Способность комплексно оценивать и прогнозировать тенденции и последствия развития науки о материалах, на основании комплексной оценки формулировать научно-техническую проблему в области изготовления, диагностики и применения наноматериалов. Знание внутри- и междисциплинарных связей в сфере профессиональной деятельности.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Инженерная школа новых производственных технологий

Отделение материаловедения

Направление подготовки: *Материаловедение и технологии материалов*

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

\_\_\_\_\_ Б.Б. Овечкин  
(Подпись) (Дата)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы
---------------------

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
4Б41	Шмакову Василию Валерьевичу

Тема работы:

Создание износостойких покрытий, наплавленных в пучке релятивистских электронов	
Утверждена приказом директора ИШ НПТ	Приказ №1448/с от 02.03.2018

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>В качестве материалов для исследования была выбрана сталь Ст3, на нее в пучке релятивистских электронов наплавливали однослойные покрытия порошком карбид вольфрама, смесью порошков: карбид вольфрама и никеля и карбид титана, карбид бора и хрома. Полученные покрытия должны обладать высокой износостойкостью и коррозионной стойкостью, так же высокой твердостью. В ходе анализа экологической и производственной безопасности ЛФП в ИФПМ СО РАН было выяснено:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- освещенность рабочего места, соответствует требуемой СНиП II-05-95;</li><li>- неудачная планировка помещения;</li></ul>
---	---

	<p>- недостаточность естественного освещения;  - шум отсутствует, так как шлифование, распечатка производится в отведенном помещении.  В остальном требования выполняются.  Предполагаемый способ обеспечивает лучшее качество продукции. Использование данного способа наиболее эффективно: крупносерийное или массовое производство, ответственные детали типа «вал» или плоские поверхности, финишные операции.</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Электронно-лучевые вакуумные технологии широко используются в мировой практике для упрочнения поверхностных слоев металлов и сплавов. Вопросы формирования структуры и свойств при такой обработке исследуются в институтах США, Японии, России, Германии, Франции, Китая и др. Поток релятивистских электронов, выпущенных в атмосферный воздух, является новым, высокоэффективным и малоизученным источником энергии, который может быть применен для упрочнения материалов. Исследования в области модифицирования поверхностных слоев металлов и сплавов с использованием энергии релятивистских электронов выполняются только коллективом авторов – исполнителей данного проекта на базе ускорителя ЭЛВ-6, установленного на территории ИЯФ СО РАН. Ряд экспериментов на этом же ускорителе выполнен совместно с сотрудниками НГТУ (г. Новосибирск) и при участии сотрудников Университета Науки и Технологии г. Поханг (Южная Корея). Сведений о других подобных исследованиях, или их аналогах, ни в стране, и за рубежом нет. Вместе с тем, уровень проводимых в данном проекте исследований не уступает мировому.</p>
<p><b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>  <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
<i>Финансовый менеджмент...</i>	Гаврикова Надежда Александровна, ст. преподаватель ТПУ
<i>Социальная ответственность</i>	Раденков Тимофей Александрович, ассистент ТПУ
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	

**Реферат – Abstract**

**Дата выдачи задания на выполнение выпускной  
квалификационной работы по линейному графику**

12.04.2018

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Научный сотрудник	Перовская Марина Владимировна	К.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б41	Шмаков Василий Валерьевич		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 98 с., 21 рис., 15 табл., 25 источников.

Ключевые слова: Электронно-лучевая наплавка, порошки карбида вольфрама, карбид бора, введение модификатора, наплавка, структура, твердость, износостойкость.

Объектом исследования является (ются) наплавка, структура, твердость, износостойкость, коррозионная стойкость.

Цель работы – формирование на поверхности низкоуглеродистой стали Ст3 износостойких и коррозионностойких покрытий методом наплавки на ускорители релятивистских электронов ЭЛВ-6.

В процессе исследования проводились испытания на износостойкость, коррозионную стойкость, исследование структуры

В результате исследования показана возможность упрочнения поверхностного слоя Ст3 наплавкой на него карбидом вольфрама, карбидом вольфрама и никеля, карбидом бора и хрома методом наплавки в пучке релятивистских электронов.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: покрытия износостойкие и коррозионностойкие.

Степень внедрения: основы формирование износостойких и коррозионностойких покрытий.

Область применения: результаты могут быть использованы при упрочнении деталей машин и механизмов, работающих в условиях абразивного изнашивания.

Экономическая эффективность/значимость работы предполагаемый способ обеспечивает лучшее качество продукции. Использование данного способа наиболее эффективно: крупносерийное или массовое производство,

ответственные детали типа «вал» или плоские поверхности, финишные операции.

В будущем планируется поиск путей дальнейшего модифицирования наплавленных слоев.

## **Abstract**

Final qualifying work 98 p., 21 fig., 15 tables, 25 sources.

**Keywords:** Electron beam surfacing, tungsten carbide powders, boron carbide, modifier introduction, surfacing, structure, hardness, wear resistance.

**Objective:** investigation is surfacing, structure, hardness, wear resistance, corrosion resistance.

The purpose of the work is the formation of wear-resistant and corrosion-resistant coatings on the surface of low-carbon steel St3 by the method of surfacing relativistic electron accelerators ELV-6.

In the course of the study, tests were carried out for wear resistance, corrosion resistance, structural analysis.

As a result of the investigation, it was shown that the surface layer of St3 can be hardened by welding it with tungsten carbide, tungsten and nickel carbide, boron and chromium carbide by a surfacing method in a beam of relativistic electrons.

The main structural, technological and technical-operational characteristics: wear-resistant and corrosion-resistant coatings.

Degree of implementation: the basis for the formation of wear-resistant and corrosion-resistant coatings.

Scope: the results can be used for hardening parts of machines and mechanisms working in abrasive wear conditions.

Economic efficiency/significance of the work the proposed method provides the best quality products. The use of this method is most effective: large-

scale or mass production, responsible details such as "shaft" or flat surfaces, finishing operations.

In the future, it is planned to find ways to further modify the deposited layers.

## Оглавление

Введение.....	13
1. Обзор литературы.....	14
1.1. Сравнительный анализ методов обработки поверхностей с использованием концентрированных источников энергии.....	14
1.1.1. Обработка токами высокой частоты.....	14
1.1.2. Лазерные технологии.....	15
1.1.3. Электронно-лучевая обработка низкоэнергетическими пучками.....	15
1.1.4. Сфокусированный пучок, выведенный в атмосферу.....	17
1.2. Устройство ускорителя релятивистских электронов.....	19
1.3. Наплавка в пучке релятивистских электронов.....	23
1.4. Модифицирование в поверхностном слое металлов наплавкой в пучке релятивистских электронов.....	25
1.5. Абразивное изнашивание.....	31
1.6. Коррозия.....	33
1.7. Постановка задачи.....	35
2. Материалы и методы исследования.....	37
3. Результаты и их обсуждение.....	39
3.1. Твердость и износостойкость покрытий.....	39
3.2. Структура и фазовый состав наплавленных слоев.....	43
3.3. Коррозионная стойкость покрытий.....	47
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	55
4.1. Технико-экономическое обоснование научно-исследовательской работы.....	56
4.2. Потенциальные потребители результатов исследования.....	57

4.3. SWOT-анализ.....	57
4.4. Планирование комплекса работ по проведению НИР.....	62
4.5. Построение графика работ.....	65
4.6. Расчет бюджета затрат на НИР.....	67
4.6.1. Материальные затраты.....	67
4.6.2. Амортизационные отчисления.....	68
4.6.3. Затраты на заработную плату.....	69
4.6.4. Расчет бюджета затрат НИР.....	70
5.    Производственная и экологическая безопасность.....	74
5.1. Производственная санитария.....	74
5.2. Электробезопасность.....	83
5.3. Экологическая безопасность.....	85
5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	87
5.5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	91
Выводы.....	95
Список публикаций.....	96
Список использованных источников.....	97

## Введение

Детали машин и механизмов, в ходе их эксплуатации зачастую работают в жестких условиях в контакте с агрессивными средами, высокими температурами, абразивными веществами, вызывающими повышенную коррозию и изнашивание поверхности.

В связи с повышением скорости действия машин и механизмов, высокой энергоемкостью нынешних производственных процессов и предъявлением все наиболее высоких требований к оборудованию в комбинировании с потребностью экономии средств на производстве, эксплуатации и ремонте, конструкционные материалы должны обладать большим комплексом свойств.

Одно из решений данной задачи может быть – использование специальных мер, которые обеспечивают увеличение жаропрочности, коррозионной стойкости, износостойкости и иных значимых свойств поверхности материалов. Широко применяются методы наплавки и напыления с применением использованием концентрированных источников энергии.

Одним из подобных источников является поток релятивистских электронов, выпускаемых в атмосферный воздух. Ускорители электронов, которые разрабатываются в ИЯФ СО РАН, дают возможность проплавливать неглубокие слои металла на глубину вплоть до 10 мм в комбинировании с высокой производительности процесса. Достоинства метода состоят в отсутствии потребности специализированных приспособлений для введения наплавляемых компонентов – они выкладываются либо высыпаются напрямую на поверхность изделия перед обработкой, а кроме того высокое качество получаемых покрытий.

Метод наплавки дает возможность формировать на поверхности стали покрытия, которые в то же время обладают высокой твердостью, износостойкостью, коррозионной стойкостью, жаростойкостью и так далее.

## 1 Обзор литературы

### 1.1 Сравнительный анализ методов обработки поверхностей с использованием концентрированных источников энергии

Одним из направлений, значительно расширяющих технологические возможности процесса обрабатывания материалов, является применение концентрированных потоков энергии.

Ниже приводится небольшой анализ достоинств и недостатков концентрированных источников энергии.

#### 1.1.1 Обработка токами высокой частоты

При обработке ТВЧ оборудование экономичнее, чем в случае электронного пучка, лазера и ионного пучка. Процесс вневакуумный, КПД передачи энергии от индуктора к стальному изделию составляет 0,75. Глубина обработки сравнима с требуемой глубиной закалки, тем не менее плотность мощности в большинстве случаев мала для самозакалки. Из-за значительной зависимости коэффициента магнитной проницаемости железа  $\mu$  от температуры в процессе обработки, сложным образом изменяются распределение плотности мощности вводимого тепла. При закалке на звуковых частотах 1 – 25 кГц добивается большая глубина закалки, в то же время плотность мощности вводимой энергии низка. В ходе процесса необходимы охлаждающие жидкости. Из-за большой толщины закалённого слоя нередко появляются заметные поковки и напряжения в материале. Режимы закалки в глубину меньше 1 мм являются труднодостижимыми [1].

Способ высокочастотной импульсной закалки (ВИЗ) обладает усовершенствованными возможностями. Глубина обрабатывания находится в пределах 1,5–5 мм. Закалка в глубину меньше 1 мм может быть затруднительна. Характерное время воздействия на каждую точку поверхности примерно 1–6 с. Плотность мощности при закалке составляет

0,3–2 кВт/см<sup>2</sup>, энергозатраты лежат в пределах 3–4,5 кДж/см<sup>2</sup>. Достигаемая производительность при закалке генератором, передающим в материал мощность 50 кВт равна 12 см<sup>2</sup>/с при глубине обработки 3–4 мм. Таким способом обрабатываются изделия различной формы. Каждая новая конфигурация изделия требует изготовления нового индуктора [2].

### 1.1.2 Лазерные технологии

Этот метод характеризуется некоторыми особенностями: небольшой КПД, поверхностный ввод энергии, поглощение энергии в неглубоком слое нестабильное. Отчасти это обусловлено потребностью применения зачернителей поверхности. Достигаемая производительность при закалке равна 1 см<sup>2</sup>/с на 1 кВт мощности излучения, глубина обработки 50 мкм.

Наибольшая производительность технологических лазеров, которые применяются с целью закалки, составляет 10 кВт, однако цена мощных установок весьма высока. Таким способом обрабатываются изделия разнообразной формы. Ограничения формы обрабатываемых поверхностей определяются только тем, что выходной оптический тракт лазера обладает существенные габариты, а снижение луча на поверхность должно быть перпендикулярным, подвергаться обработке могут только относительно открытые поверхности [3-4].

### 1.1.3 Электронно-лучевая обработка низкоэнергетическими пучками

Установление процесса глубокого проплавления предстает основной задачей в процессе электронно-лучевого воздействия. На первой стадии исследований (1959-1961 гг.) в основном констатировали результат глубокого проплавления и обнаружили взаимосвязанность его геометрических характеристик с параметрами электронной дуги [1].

В 1965 г. получилось опытным путем определить, что процесс внедрения электронного луча в металл совершается за счет улетучивания и является прерывистым [1].

Источники энергии по многочисленным отличительным чертам необходимо расценивать как близкий аналог релятивистского электронного пучка. Обработка выполняется в вакууме пучками с энергией электронов одинаковой 20-400 кэВ, генерируемыми электронными пушками. Достоинства способа: электронная пушка является распространённым и не очень дорогим источником энергии. Генерируемые пучки обладают высоким коэффициентом поглощения материалами, и составляет 90%. Электронные пушки обладают фактически неограниченной полной мощностью – вплоть до 1 МВт и большим результирующим КПД. Пучки продуктивно и легко управляются с поддержкой электромагнитных линз и отклоняющих систем. Камеры, в которых выполняется обработка, и сами орудия, как правило, не требуют толстостенной радиационной защиты.

Важнейший минус метода состоит в потребности обработки изделия в вакууме. Следовательно обработка крупносерийных либо крупногабаритных изделий довольно затруднительна. Установлено, что для сварки основы фюзеляжа самолёта применяются вакуумные камеры величиной с маленький цех. Небольшая глубина проникновения в обрабатываемый материал тоже является несовершенством. При поверхностной закалке стали на глубину приблизительно 1 мм еще огромным минусом при наплавке порошковых материалов, что накладывает ограничение при обработке на высокоскоростных режимах. При наплавке некоторых материалов выделяются вредные газы и микрочастицы, которые попадая на катод электронной пушки и других компонентов, восприимчивых к загрязнению компоненты установки (к примеру, высоковольтные изоляторы и пр.), способствуют наиболее быстрому выходу установки из строя. Достижимая эффективность при закалке примерно  $3 \text{ см}^2/\text{с}$ , при глубине обрабатывания 1 – 1,5 мм. Подобным методом обрабатываются кулачки, толкатели, роторы, коленчатые валы, детали крепежа, рабочие поверхности подшипников и т.п [2].

#### 1.1.4 Сфокусированный пучок, выведенный в атмосферу

Увеличение энергии электронов в пучке вплоть до 1 МэВ и более дает возможность освободиться от двух основных минусов характерных электронно-лучевой обработке низкоэнергетичными пучками: применение вакуумных камер и небольшой глубины проникновения пучка в материал. Технологические плюсы пучка МэВ-ного спектра, выведенного в атмосферу, заключаются в плюсах абсолютно всех электронных пучков (большая производительность и плотность мощности, высокие КПД производящего пучок оборудования и КПД влияния пучка на материал, простота управления) с дополнительными способностями:

- глубина влияния источника энергии на материал сравнима с требуемой шириной упрочнённого слоя,
- проникновение в порошковые вещества совершается с синхронным быстрым расплавлением слоя, что представляется важным, в случае если принять к сведению весьма невысокую теплопроводность разных порошковых материалов,
- возможность оперативной замены обрабатываемых компонентов и обрабатывания деталей разных размеров, из-за вневакуумного метода обрабатывания,
- электронная установка и ускоряющий тракт пучка (электронная трубка) оберегаемы от паров и вредоносных выбросов, сопутствующих многим технологическим движениям при наплавке, присутствием непроницаемой для свободного пролёта молекул и микрочастиц среды слоем атмосферы, а так же интерфейсным аппаратом выпуска пучка [2].

Завершающий пункт следует объяснить. При электронно-лучевой наплавке кипение неглубокого слоя и разлёт паров сокращаются в условиях атмосферы, также надёжная защита от попадания паров в ускоряющую трубку гарантируется присутствием интерфейсного многокамерного

приспособления выпуска концентрированного пучка, который снабжён отсекающей струёй атмосферного воздуха на выходе пучка.

Из сравнения разных источников концентрированной энергии можно совершить заключение, что релятивистский электронный пучок это уникальный источник энергии который имеет возможность пронизывать порошок, заранее положенный в виде слоя толщиной 1–3 мм. Подогрев порошка совершается адиабатически. Большая скорость развития покрытия уменьшит окислительное влияние атмосферы. Впрочем, окислительное влияние атмосферы всё же остаётся значимым, и задача подбора флюса является основной в предоставленной технологии.

Возможность осуществлять наплавку в воздушной или какой-либо особой газовой среде с атмосферным давлением в многочисленных вариантах кроме того является позитивным фактором, поскольку давление среды мешает интенсивному испарению, сокращает разлёт и распыление легколетучих частей при наплавке. Применяющийся при наплавке флюс осуществляет функцию очищения поверхности наплавляемого порошка и подложки от оксидных и иных загрязнений, имевшихся до наплавки [2].

Таблица 1.1 – Сравнение видов поверхностной обработки различными концентрированными источниками энергии.

Тип оборудования	Передаваемая мощность	Поверхностная плотность мощности	Глубина проникновения источника в сталь	К.п.д. генератора * к.п.д. источника = к.п.д. процесса	Стоимость оборудования в расчёте на единицу передаваемой мощности
	кВт				кВт/см <sup>2</sup>
Электрическая дуга (наплавка)	200	10	~0	0,8*0,5=0,4	500
Т.в.ч.	500	1,5	3	0,8*0,75=0,6	800
Лазер	10	10 <sup>8</sup>	10 <sup>-3</sup>	0,4*0,4=0,16	15000
Электронная пушка	500	10 <sup>7</sup>	0,1	0,8*0,9=0,7	1500
Релятив.электронный пучок	100	0,5x10 <sup>7</sup>	0,7	0,7*0,9=0,63	10000

## 1.2 Устройство ускорителя релятивистских электронов

Устройство для осуществления предлагаемого способа представлена на рисунке 1.1. Пучок электронов, создаваемый ускорителем 1, выходит из вакуумной системы ускорителя в механизм 2 для вывода пучка электронов и перемещается по ее оси, изображенной на рисунке 2 штрихпунктирной чертой. Минувя через отверстия в диафрагмах 4, разделяющих ступени откачки, пучок поступает в области все наибольшего давления газа (все наихудшего вакуума), а в последствии прохождения через проход в медной диафрагме 5 поступает в атмосферный воздух либо защитный газ. Воздушное пространство либо газ постоянно натекает в ступени откачки приспособления 2 через эти отверстия в диафрагмах. Далее он откачивает постоянно действующими насосами 3. Оказываясь в атмосферный воздух или газ, из-за рассеивания пучок электронов приступает постепенно возрастать в диаметре. Однако поскольку протяженность полного пробега релятивистских электронов в воздухе является  $\sim 1$  метр и больше, в таком случае на расстоянии до 100-500 мм от выпускного отверстия в диафрагме 5 пучок остается еще довольно концентрированным для исполнения оплавления порошковых покрытий. Проходя через промежуток среди полюсов электромагнита 8, пучок электронов подвергается влиянию магнитного поля и отклоняется им в течении, поперечном направленности силовых линий магнитного поля и направлению перемещения электронов пучка. При этом угол отклонения оси пучка от начального направленности тем больше, чем значительнее напряжение магнитного поля. И при изменении напряженности магнитного поля по периодическому закону угол отклонения пучка также меняется по периодическому закону. В следствии пучок сканирует в направлении, перпендикулярном течению перемещения тележки 6 с частотой  $f$ , одинаковой частоте перемены тока, питающего электромагнит 8.

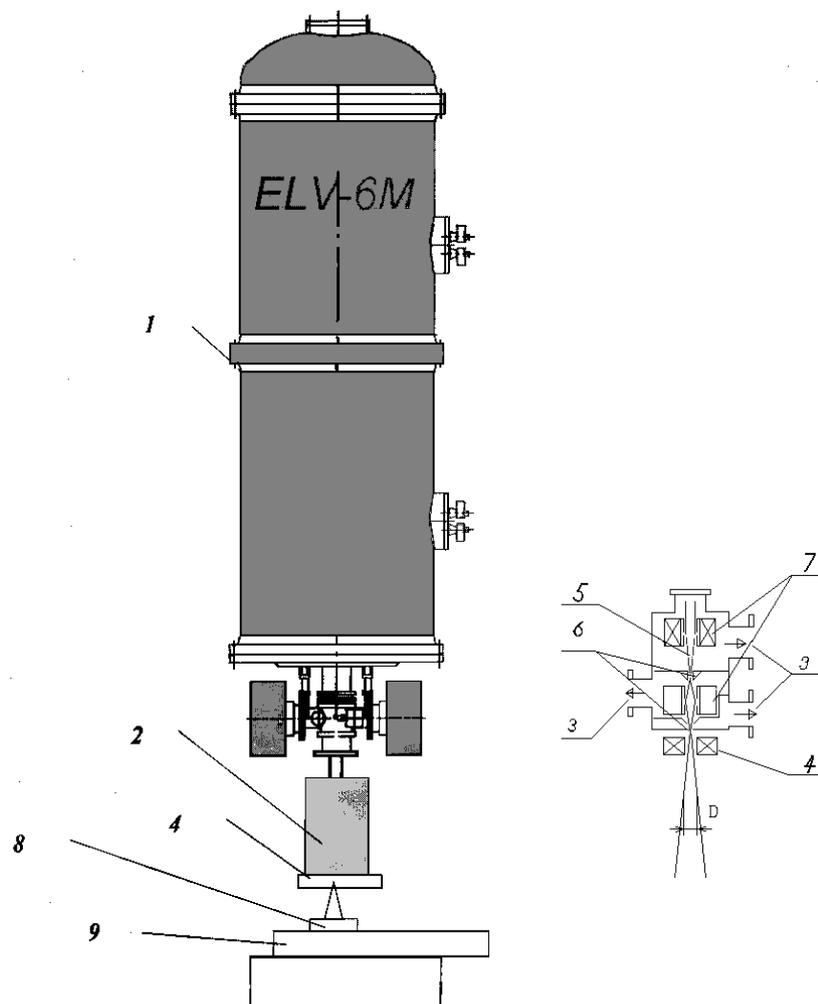


Рисунок 1.1 – 1-ускоритель электронов, 2 – выпускное устройство, 3–7 – элементы конструкции выпускного устройства, 8 – обрабатываемое изделие, 9 – перемещающийся стол – манипулятор. Схема выпускного устройства: 3 – линии вакуумной откачки, 4 – электромагнитное сканирующее устройство, 5 – огибающая линия пучка, 6 – диафрагмы, отделяющие камеры откачки с разными уровнями вакуума, 7 – магнитные линзы

При работе магнит 8 формируемое им область рассеяния имеет возможность достигать диафрагмы 5, в случае если не имеется магнитный дисплей 10. В данном случае пучок подвергается влиянию магнитного поля уже в границах отверстия в медной диафрагме 5 и начинает сканировать, еще не выйдя из этого отверстия. При этом сканирующий пучок электронов оплавляет кромки отверстия и повышает его размеры в направлении распознавания, превращая круглое отверстие в эллипсное. Через растущее отверстие в диафрагме 5 увеличивается натекание воздуха или газа в вакуумную систему конструкции, что порождает потребность регулировать более сильные насосы 3 с целью откачки воздуха. Для предотвращения этого определяют между электромагнитом 8 и диафрагмой 5 тонкий ферромагнитный дисплей 10, затрудняющий попадания магнитного поля на диафрагму 5. В качестве ферромагнитного экрана 10 допускается употреблять металлическую пластину с отверстием в ней для прохождения пучка. Дисплей 10 в особенности нужен при работе с пучком электронов относительно невысоких (до 1МэВ) энергий, которые сильно отклоняются даже в слабых магнитных полях.

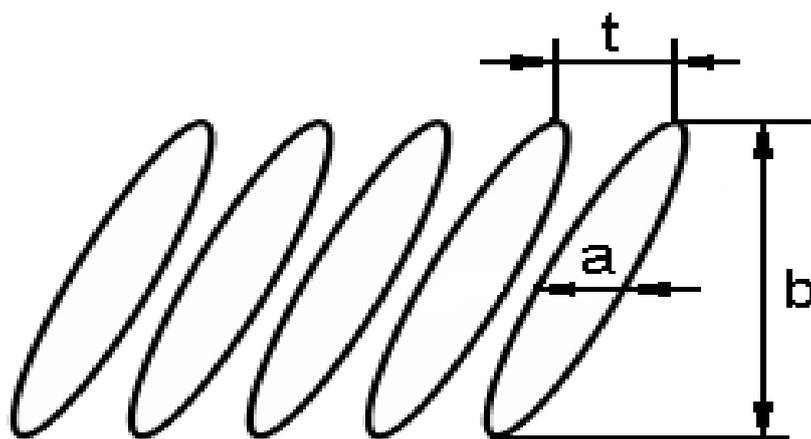


Рисунок 1.2 – Полоса оплавления на поверхности металла при сканировании пучка

При применении магнитной развертки пучок «рисует» на поверхности ряд параллельных друг другу прямолинейных отрезков дорожки оплавления, находящихся под углом к направлению перемещения. Шаг расположения отрезков  $t$  обуславливается быстротой передвижения изделия. С целью обеспечения сплошности покрытия шаг  $t$  принимают меньше диаметра пучка  $a$ , рисунок 1.2. При этом дорожки оплавления объединяются в непрерывную полосу, ширина которой равна амплитуде распознавания пучка.

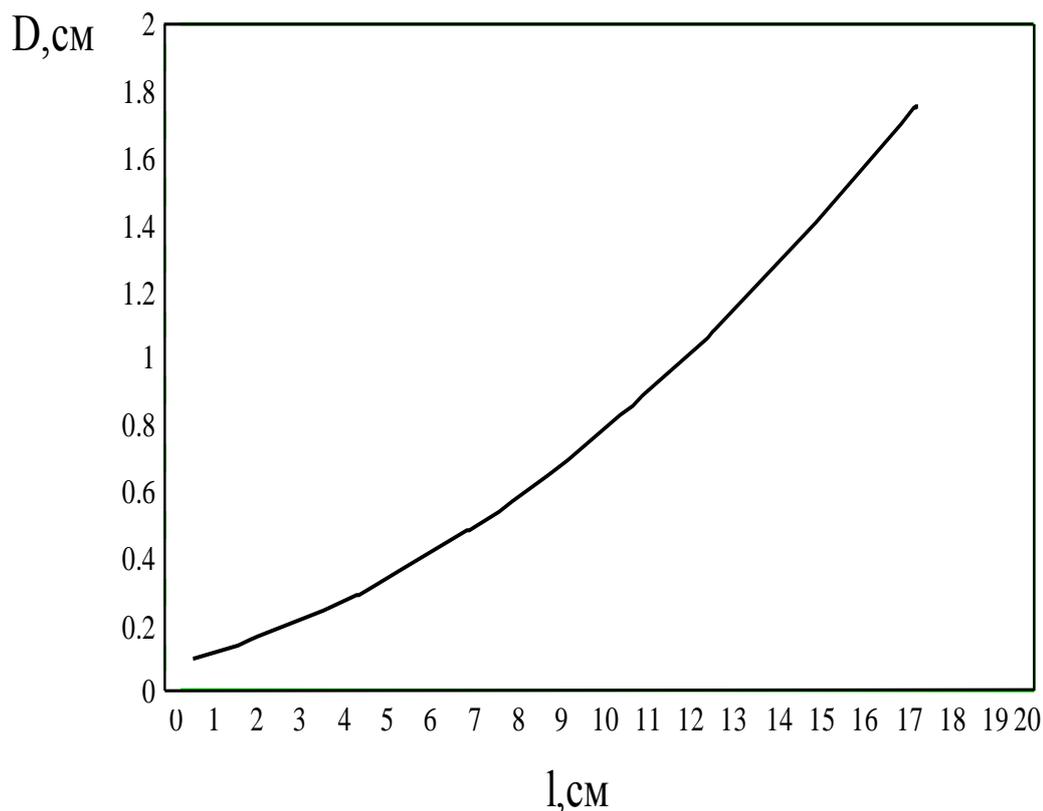


Рисунок 1.3 – Зависимость диаметра пучка от расстояния до выпуска при ускоряющем напряжении 1,4 МэВ

Суть метода в следующем. Потому как легирование выполняется в атмосферном воздухе, не потребуется развития заблаговременного покрытия. Легирующие порошки высыпаются гладким слоем непосредственно на поверхность плоских образцов, заранее подчищенных с целью снятия окисной пленки. Образцы перемещаются под пучком электронов с предварительно заданной скоростью. Промежуток от пластины до места выхода излучения.

### 1.3 Наплавка в пучке релятивистских электронов

Один с наиболее результативных способов упрочнения поверхности является наплавка в пучке релятивистских электронов [5-6]. Подобная методика реализуется с применением разрабатываемых в ИЯФ СО РАН электрических ускорителей [7].

Поток релятивистских электронов, выпущенных в атмосферу, представляется главным источником энергии, способности коего для использования пока что малоизучены. Ускорители электронов, сформированные в ИЯФ СО РАН, гарантируют глубокое проникание электронов в металлы, а кроме того высокую скорость обрабатывания поверхности. Коэффициент передачи мощности пучка материалу составляет примерно 90 %, производительность пучка имеет возможность достигать 100 кВт. Возможно расплавление фактически любых материалов. Глубина проплавления колеблется в диапазоне от 0,1 до 10 мм. Легко и просто реализуется сканирование пучка в атмосфере, обеспечивающее обрабатывание полос различной ширины на изделиях. Поддерживаются условия обрабатывания изделий обладающих крупными габаритами и их быстрая замена. Возникающая при наплавке электронным пучком ванная расплава «подпирается» атмосферным давлением, что предотвращает ранее закипание ванны, отмечаемое при наплавке в вакуумных условиях, гарантируется возможность использования флюса, очищающего поверхность наплавляемого порошка и подложки от оксидных и иных загрязнений. Отсутствует потребности в специализированных устройствах с целью внедрения легирующих добавок, они наносятся на поверхность напрямую перед обрабатыванием. Упрочненные слои, как правило, обладают мелкозернистое строение и по всей глубине содержат легирующие компоненты. Свойственно полное отсутствие трещин, раковин, микропор и неметаллических включений. Аналогов в стране и за границей не имеется.

Установлено, что энергия нерелятивистских электронов впитывается только тонким неглубоким слоем ( $< 1$  мкм), впоследствии чего переходит за счет теплопроводности, что ведет к повышению градиента температур в поверхностном слое и к его перегреву вплоть до вскипания, сдерживая возможную плотность мощности.

Так, при оплавлении углеродистых сталей на глубину примерно 1 мм нерелятивистскими электронами максимальная плотность мощности в электронном луче составляет  $1,2 \cdot 10^4$  Вт/см<sup>2</sup>, наименьшее время облучения – 0,18 сек [8]. Ограничение плотности мощности по верхнему лимиту, а длительности облучения по нижнему, что ведет к уменьшению производительности процесса. Проплавление пучком релятивистских электронов, которые ускорены до энергии, при которой протяженность их полного пробега в материале приблизительно равна толщине требуемого слоя расплавления или несколько значительнее ее, предоставляет возможность действовать при высоких плотностях мощности облучения, однако при исключении закипания материала.

В пучке релятивистских электронов упрощенный пласт продукта разогревается в всю толщину вследствие непосредственного энерговыделения тормозящих электронов без теплопереноса с поверхности. При этом толщина слоя выделения энергии электронов значительно увеличивается (в железе с 57 мкм вплоть до 5,7 мм при повышении энергии электронов с 200 кэВ до 10 МэВ). Наибольшее количество тепла выделяется на дистанции от плоскости, примерно  $\sim 1/3$  длины пробега электронов. При этом прослеживается неровное энерговыделение и разная кинетика нагрева различных структурных образующих (к примеру, матрицы и карбидов). Данные характерные черты используются при упрочнении сплавов.

Значимым плюсом способа является возможность осуществлять наплавку (легирование) при атмосферном давлении, необходимо развитие заблаговременного напыления, как в случае вакуумного электроннолучевого

переплава. Легирующие порошки, как правило, попросту высыпаются на поверхность металла.

#### 1.4 Модифицирование в поверхностном слое металлов наплавкой в пучке релятивистских электронов

В работе [7] пучок релятивистских электронов с энергией, изменяемой в пределах 0,8 – 1,2 МэВ, выводили в атмосферный воздух и направляли в поверхность плоских образцов, передвигающихся под ускорителем. В первой серии экспериментов облучали металлические пластины с заранее нанесенным на их поверхность способом плазменного напыления слоем порошкового покрытия шириной до 1 мм. В следствии на поверхностях образцов получались дорожки оплавления шириной примерно 4-5 мм и шириной в пределах от 0,6 до 1,5 мм в зависимости от мощности пучка. Оплавленный слой обладает мелкозернистую структуру дендритного строения. В нём отсутствуют видимые следы окислов и микропоры, которые находились в большом количестве в напыленном слое до оплавления.

Во второй серии исследований реализовывали наплавку порошковых покрытий в этих же условиях, однако уже без заблаговременного плазменного напыления. Металлические порошки насыпали гладким слоем толщиной 0,5 миллиметров или 1 мм на плоскость стальных пластин. В момент облучения с поверхности образца выделялось скопление газов, однако сноса либо воспламенения порошков не совершалось. Свойственно фактически абсолютное отсутствие пузырьков и раковин в наплавленных валиках. Авторы [7] связывают это с выделением газов по промежуткам среди частиц порошка при нагреве электронным пучком еще до момента расплавления, а кроме того с активной десорбцией газов с облучаемой поверхности и распылением окисных пленок за счет бомбардировки вторичными электронами.

При способе электроннолучевого воздействия производительность составляла 2 м<sup>2</sup>/ч. Энергозатраты ускорителя в пределах 4 – 6 кВт·ч/м<sup>2</sup>. При

лазерном расплавлении покрытий на глубину 1 мм с применением луча мощностью около 10 кВт производительность составляет 0,2 м<sup>2</sup>/ч при энергозатратах луча 50 кВт·ч/м<sup>2</sup>. С учетом КПД лазера полные энергозатраты составляют 1000 кВт·ч/м<sup>2</sup>. Более высокая скорость обработки, возможность обработки изделий в атмосфере воздуха, незначительные энергозатраты по сравнению с другими методами, а также хорошее качество полученного слоя являются несомненными достоинствами данного метода.

В работах [9] на ускорителе релятивистских электронов облучали стальные пластины с заранее нанесенными на них плазменным покрытием толщиной 0,3-1,2 миллиметров. Для напыления применяли металлические легированные порошки, издаваемые НПО «Тулачермет» и их раствор с порошком карбида хрома. Пучок электронов с энергией 1,2 МэВ устремлялся на поверхность образца вертикально ей сверху вниз. Образцы передвигались в горизонтальном положении со скоростью 400 м/с. Ширина полосы оплавленного металла отвечала диаметру пучка и составляла 3-5 мм.

Микроструктура материала подвергнутого обработке слоя очень разнится от начальной структуры. Для многих образцов она тонкодисперсная и обладает дендритное строение. В облученных покрытиях значительно убавляется содержание окислов и микропор, отмечаемых прежде. Микротвердость оплавленных покрытий несколько ниже твердости начального напыленного слоя. Это можно пояснить смещением металла покрытия с наиболее мягким металлом подложки в процессе их сплавления. Вследствии сплавления прочность сцепления покрытия с подложкой, составлявшая прежде 0,1-0,2 МПа, делается пропорциональной с прочностью материала подложки.

В опытах по оплавлению покрытий толщиной порядка 1 мм [9], использовались скорости 400-720 м/ч при удельных энергозатратах пучка около 7-9 кВт·ч/м<sup>2</sup>. Скорость перемещения пластины с порошком увеличивалась до 2500 м/с при энергозатратах 4 – 6 кВт·ч/кг наплавленного

порошка и производительности наплавки  $2 - 6 \text{ м}^2/\text{ч}$ . Для примера приводятся сведения о том, что наиболее достижимая эффективность электродуговой наплавки и оплавления является примерно  $100 \text{ м/ч}$ . Согласно расчетам при применении ленточного пучка мощностью  $1000 \text{ кВт}$  и энергии  $0,25 - 0,3 \text{ МэВ}$  эффективность обрабатывания покрытий толщиной  $0,1 \text{ миллиметров}$  может составить  $0,25 \text{ м}^2/\text{с}$ , а скорость оплавления –  $700 \text{ кг порошка в час}$ . Подразумевается формирование промышленных ускорителей с мощностью в пучке более  $10 \text{ МВт}$ . Их использование даст возможность реализовать наплавку покрытий на прокат напрямую на прокатных станах.

В работе [10] изучена возможность упрочнения рабочих частей почвообрабатывающих и иных сельхозмашин электронно-лучевой наплавкой. Как правило, для этих целей применяют индукционную наплавку под флюсом, обладающую рядом минусов, таких как: небольшая скорость ( $\sim 50 \text{ сек}$  на одну лапу культиватора); небольшой выбор наплавочных материалов из-за невысокой температуры плавления подложки; пережог и разупрочнение стали рабочей кромки изделия.

Наплавку совершали на промышленном ускорителе релятивистских электронов. Использовали порошки вида сормайт, не разбитые на фракции, что сокращает их себестоимость. Флюсы и защитные газы не применялись. Во избежание трещин заготовки перед наплавкой возбуждали до температур  $400-450^\circ\text{C}$ .

Толщина переплавленного слоя составляет  $1 \text{ миллиметр}$ , углубление расплава в поверхность изделия достигает  $0,4 \text{ мм}$ . Тем не менее, невзирая на разбавление порошка металлом подложки, твердость покрытий фактически не отличается от твердости начальных наплавочных веществ [11]. Это обуславливается тем, что, в отличие от индукционной наплавки, при которой в металле подложки совершается неприятный рост зерна, уменьшающий прочность изделия, здесь этого не прослеживается, а наоборот, совершается размельчение зерна и упрочнение материала изделия в зоне теплового

воздействия. Формируется хорошее распределение микротвердости по сечению с градиционным возрастанием, от металла изделия к поверхности наплавленного слоя без внезапного скачка в стыке с подложкой.

Испытания на износостойкость продемонстрировали, что при равном расходе наплавочного порошка слой абразивостойкого слоя при электронно-лучевой наплавке доходит 1 мм, а при индукционной наплавке 0,4-0,5 миллиметров, подобным способом, износостойкость изделия возрастает в 1,5-2 раза.

В соответствии с приведенным в [10] вычислениям, прогнозируемый финансовый результат при наплавке на электронном ускорителе только одного изделия (лапы культиватора) такой, что в течение 5 лет он окупит стоимость ускорителя.

Серьезный период изучений проведен в совместной работе с Институтом Науки и Технологические процессы г. Поханг, Кндр. Исследованы металлографические характерные черты закаленной области на трубчатых образцах из углеродистых сталей диаметром 8-200 миллиметров. Изготавливалась наплавка на титан, алюминий, медь, низколегированные и нержавеющие стали. Проведены многосторонние опыты легирования поверхностного слоя титановых сплавов. В качестве легирующих добавок применяли порошки карбидов, нитридов и боридов титана в смеси с флюсом. Напыления имели неоднородную структуру, состоящую из твердых включений фаз титана и мартенситной матрицы. Объемная доля включений составила примерно 30-50% и гарантировала увеличение твердости в 3-5 раз, а износостойкости в 6-15 раз по сопоставлению с основным металлом.

В работах [12-13] достаточно подробно исследованы механизмы упрочнения поверхности технического титана и титанового сплава Ti – 6Al – 4V фирмы OREMET Co при наплавке порошков TiC, TiN, TiB<sub>2</sub> и их смесей. В качестве флюсов использовали CaF<sub>2</sub>. Это позволяло защитить покрытие на титановой основе от окисления в условиях атмосферного воздуха. Таким

методом получили равномерное покрытие толщиной до 2 мм, литейные трещины, раковин, обладающие абсолютной адгезией к основе. При этом производительность нанесения покрытий достигала 8 м<sup>2</sup>/ч. Эффект упрочнения оказался связанным с образованием твердых включений TiC, TiN, TiB, TiB<sub>2</sub>, (Ti<sub>x</sub>Al<sub>1-x</sub>)N, Ti(C<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub>) мартенситной или обогащенной азотом α – Ti матрице.

Начиная с 1986 по 1997 г.г. ИЯФ СО РАН вместе с ИФПМ СО РАН проделывался полный цикл работ по наплавке порошков тугоплавких соединений на углеродистые стали. Изучено воздействие режимов электроннолучевого влияния на развитие структуры и свойств поверхностных слоев при легировании карбидами бора, вольфрама и смесями данных сочетаний. Выявлено, что степень упрочнения находится в зависимости от состава легирующей порошковой смеси. Максимальные значения твердости и износостойкости добиваются при установленных критических соотношениях компонентов и отвечают формированию неоднородных структур, состоящих из твердых включений и вязкой матрицы. Кроме того вспомогательное повышение дисперсности структуры и увеличение свойств получено при внедрении модификаторов FeV, TiB<sub>2</sub> и Ni, а также применении флюсов. Выбраны подходящие флюсующие добавки, позволяющие исключить образования пор и окисления основных и легирующих элементов.

Эта методика наплавки применена с целью упрочнения поверхности плит и пластин из низколегированной стали, которые при тестировании стальным ударником продемонстрировали увеличение противоударной стойкости. В соответствии с проведенным испытанием, служебные свойства возросли на 10-25%, а в отдельных вариантах вплоть до 50%.

Рассмотрим более досконально итоги исследований, приведенные в [14]. Авторами данных трудов получены композиционные материалы, состоящие из высоколегированного слоя и низколегированной пластичной

основы. Как правило, в качестве подложки применяются доступные стали. Покртия характеризуются высокой дисперсностью структуры, большой толщиной и неимением трещин и микропор.

Получены закономерности модифицирования структуры и свойств поверхностных слоев, наплавленных способами электронно-лучевой наплавки, от состава легирующих порошковых смесей, содержащих карбиды титана, вольфрама и боров и параметров облучения. Выявлено, что глубина оплавленного слоя увеличивается с повышением скорости передвижения образца под пучком и подготовительном обогреве образца.

При применении для наплавки порошковых смесей на базе систем Cr-C-B и Cr-W-C-B создается обширный диапазон структур от доэвтектической к заэвтектической. При применении смесей рационального состава создается заэвтектической структура, подобная структуре твердого сплава, обеспечивающая достижение наибольших значений твердости, износостойкости и противоударной стойкости наплавленного слоя.

Основной упрочняющей фазой в структуре такого рода является карбоборид  $Me_{23}(C,B)_6$  на основе хрома или вольфрама. Максимальные значения твердости и износостойкости наплавки не схожи. Определяющую важность представляют размеры и распределение частиц фазовых включений. Развитие немалого количества крупных включений меняет механизм изнашивания – частицы фаз не истираются, а выкрашиваются.

Изучена возможность перемены структуры наплавленных слоев за счет внедрения модификаторов с дальнейшей тепловой обработки. Незначительные добавки FeV, FeTi и TiB<sub>2</sub> в порошковую легирующую смесь содействуют формированию ультрадисперсной структуры, обладающей высокой износостойкостью. Твердость слоёв увеличивается после отпуска и распада пересыщенных твердых растворов. Для слоев, легированных в дорожном не требуется.

## 1.5 Абразивное изнашивание

Износостойкость представляется одной из существенных характеристик прибора и отдельных деталей машин и механизмов. В стандартных условиях труда оборудования и приборов при шлифующем изнашивании вероятны различные схемы внешнесилового воздействия абразива, анализ которых согласно предметному показателю трудно и методически бессмысленно [15].

Различие видов абразива и методов силового взаимодействия обуславливает разновидности абразивного изнашивания: изнашивание при трении скольжения по монолиту абразива; при трении отдельными частицами незакрепленного абразива, находящегося между поверхностями трения скольжения; при передвижении деталей в незакрепленной абразивной массе, при качении по монолиту и незакрепленному абразиву; при ударе по различным видам абразива; при воздействии частиц абразива, движущихся в потоке атмосферы и жидкости.

Невзирая на отличие по наружному силовому взаимодействию абразивных частиц с поверхностью контакта, между данными разновидностями абразивного изнашивания отслеживается целостность. Для каждого из них присуще прямое введение частицы в поверхность контакта и последующее перемещение по ней (при трении) либо дальше в глубину металла (при ударе по абразиву и трении качения).

Уровень силового влияния абразивной частицы на поверхность изнашивания имеет возможность являться разным, тем не менее, характер силового нагружения и кинематика поведения частицы в различных условиях абразивного изнашивания имеют установленное подобие, что обуславливает целостность рельефа, основных закономерностей, критериев износостойкости и путей уменьшения износа.

Рельеф в области изнашивания при трении скольжения имеет четко проявленные отпечатки риска, как результат микрорезания либо

пластического отгесания металла. Глубина рисок, их тип, протяженность, частота размещения, наличие вмятин и выкрашивания – все данные характеристики при различных видах абразивного изнашивания пребывают в зависимости от соответствия свойств абразивной частицы и металла.

Возможность абразивной частицы вводиться в плоскость изнашивания на начальном этапе взаимодействия объясняет поражение ее с помощью формирования лунок; в ином – при передвижении частицы по плоскости трения скольжения – посредством микрорезания, пластического деформирования, выкрашивания.

Один из критериев износостойкости для всех видов абразивного изнашивания твердость поверхности изнашивания. Твердость устанавливает вероятность формирования второго периода микрорезания при перемещении частицы согласно поверхности. В общности этого аспекта обнаруживается единый аспект к исследованию путей снижения износа.

На втором этапе воздействия абразива, при передвижении частиц по плоскости изнашивания, в свою очередь отслеживается определенное единство сориентированное передвижение частицы.

Единство в механизме различных видов абразивного изнашивания установлено сходством самого абразива: формы и размеров частиц, их стабильности и твердости, минералогические свойства структуры, способности поражать металл и расположенности к разрушению в момент первичного шага взаимодействия.

Способность абразивных частиц изнашивать металл при некотором их размере во всех альтернативах не больше безразмерного показателя, равного единице. Данное сходство присуще для изнашивания при трении скольжения по закрепленному абразиву, по слою незакрепленного абразива и при изнашивании воздушно-абразивным потоком.

На втором этапе влияния частицы абразива – при передвижении по плоскости при трении скольжения по ней, помимо этого раскрывается

единство в данных действиях. Это косвенно подтверждается аналогией в закономерностях абразивного изнашивания разных видов.

## 1.6 Коррозия

Коррозией металлов называется самопроизвольное разрушение металлических материалов из-за химического либо электрохимического взаимодействия их с окружающей коррозионной средой. Термин «коррозия» (лат. *corroder* – разъедание) обладает не столь научное, сколько инженерное значение. Точнее было бы использовать термин «окисление», так как в ходе коррозии положительная степень окисления металла чаще всего увеличивается. Причина коррозии металлов – их термодинамическая неустойчивость. Из-за этого практически всегда металлы в природе из-за контакта с кислородом воздушной атмосферы либо водной среды пребывают в окисленном состоянии.

По механизму протекания различают два типа коррозии – химическую и электрохимическую коррозию.

Электрохимическая коррозия – взаимодействие металла с коррозионной средой (веществом либо расплавом электролита), при котором ионизация атомов металла и восстановление окислительной компоненты коррозионной среды протекают не в одном акте и их скорость находится в зависимости от электродного потенциала.

Химическая коррозия – самопроизвольное взаимодействие металла с коррозионной средой, при котором окисление металла и восстановление окислительной компоненты коррозионной среды протекают в одном акте.

В этом случае окисление протекает по химическому механизму. Скорость данного процесса подчиняется законам химической кинетики и не зависит от изменения потенциала металла.

Коррозионно-прочные стали рядом подходящем легировании и термообработки имеют высочайшей коррозионной стойкостью рядом домашних и высоких вплоть до 800 °С температурах как в атмосферной и

газовой среде, так и в чистых и водных растворах кислот и щелочей, жидкометаллических средах и так далее. Отличие данных сталей – пониженное содержание углерода, как правило не превышающее 0,12%, оказывающее решающее воздействие на устойчивость их к межкристаллитной коррозии (МКК). Благодаря этим свойствам их применяют при производстве трубопроводов и агрегатов для химической и нефтяной промышленности.

Хром принадлежит к легкопассивирующимся металлам и представляется легирующим компонентом, качественно повышающим коррозионную стойкость железа, из-за перевода сплава в пассивное состояние. Резкое увеличение коррозионной стойкости прослеживается при содержании в сплавах 12-13 % Cr. Такое количество хрома является минимальным для сплавов, которые должны иметь высокую коррозионную стойкость в атмосферных условиях, а также в окислительных средах. При повышении содержания хрома до 18 %, или до 25 – 28% прослеживается последующее увеличение коррозионной стойкости сплавов, однако механические свойства их уменьшаются, в особенности ударная вязкость. При содержании хрома больше 16-18% усложняется сварка.

Стали, обладают лучшей стойкостью против коррозии только при условии, что все содержание хрома в стали, приходится на долю твердого раствора.

С целью увеличения сопротивления межкристаллитной коррозии и измельчения зерна сталь легируют титаном в количестве не меньше пятикратного содержания углерода. Титан связывает углерод и ликвидирует возможность создания карбидов хрома, а следовательно, обеднение хромом феррита. С целью снижения предрасположенности к интеркристаллитной коррозии в состав сталей вводят титан (реже ниобий) в количестве  $(0,5 - 0,7C)$ , где  $C$  – содержание углерода в стали, % (12X18H10T, 12X18H12T). В данном случае возникнет карбид  $MC$  ( $TiC$ ,  $NbC$ ), объединяющий весь

углерод, а хром остается в растворе. Титан также увеличивает длительную прочность.

С целью усовершенствования механических свойств коррозионно-стойких сталей в них дополнительно вводят никель, который расширяет аустенитную область, увеличивает прочность и пластичность. Характерным представителем подобных сталей является 12Х18Н10Т. Однако хромо-никелевые стали дорогостоящие. В связи с этим, в отдельных случаях для изделий, работающих в слабоагрессивных средах, никель заменяют марганцем.

### 1.7 Постановка задачи

Нанесение покрытий широко применяется для защиты от разных видов внешних влияний – износа, коррозии, высоких температур, постоянных и динамических нагрузений и др. Особую значимость представляют покрытия, сочетающие в себе ряд качеств, к примеру, износостойкость и коррозионную стойкость, то есть способные сопротивляться износу в агрессивной среде. Подобные покрытия могут быть получены методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки в ускорителе релятивистских электронов. Метод получения и результаты исследований аналогичных покрытий описаны в работах [16-20].

Для достижения комплекса высоких свойств важен вопрос подбора составов смесей для наплавки и соотношения составляющих их компонентов. Длительное время считалось, что наибольшая устойчивость против абразивного износа с небольшим ударным нагружением добивается при электродуговой наплавке дорогим карбидом вольфрама. Затем для этой же цели были предложены значительно более доступные по цене высокохромистые сплавы со значительным содержанием углерода и бора [21].

Хотя до сих пор не очевидно, какое подходящее количество указанных компонентов следует внедрять в зону электро-дуговой наплавки

(на этом счет имеются противоречивые точки зрения), позитивное воздействие системы Cr-C-B связывают с образованием твердых карбоборидных включений в структуре, не уступающих по твердости карбиду вольфрама а также со сдвигом по диаграмме состояний Fe-C в сторону наиболее легированных компонентами внедрения углеродом и бором структур – с переходом от доэвтектической к заэвтектической структуре. Достигаемые степени твердости и износостойкости определяются строением, объемной долей, распределением карбоборидов, к тому же, возможно формирование нескольких их типов.

Особенно необходимо выделить, что подобные покрытия, помимо высокой износостойкости, будут обладать еще и существенной коррозионной стойкостью, так как часть входящих в них атомов хрома может быть в твердом растворе, не находясь связанной в карбиды (карбобориды). Это гарантирует возможность создания защитной оксидной пленки на поверхности покрытия и уменьшит скорость коррозии.

Исходя из всего сказанного, целью работы явилось исследование структуры и свойств (твердости, износостойкости, коррозионной стойкости) покрытий, наплавленных в пучке релятивистских электронов, от характера их легирования с наплавочной порошковой смеси при применении в качестве главных легирующих добавок хрома, углерода и бора, нахождение оптимальных составов наплавочных смесей и получение неоднородных структур с включениями твердой фазы, обладающих в то же время высокой износостойкостью и коррозионной стойкостью и способных заменить при наплавке дорогой карбид вольфрама.

## 2 Материалы и методы исследования

Основой для наплавки послужила листовая низкоуглеродистая сталь Ст3 обыкновенного качества, соответствующая ГОСТ 380–94, термической обработки не подвергалась.

На низкоуглеродистую сталь Ст3 (толщина листа 14 мм, ГОСТ 380–94), в пучке электронов на ускорителе ЭЛВ–6, установленном в ИЯФ СО РАН, наплавляли однослойные покрытия. На Ст3 в пучке релятивистских электронов наплавляли однослойные покрытия с использованием для наплавки порошковых смесей карбида хрома  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  с карбидом бора  $\text{B}_4\text{C}$  (плотность насыпки  $0,45 \text{ г/см}^2$ ). Для защиты от влияния окружающей среды в наплавочные смеси вводили 10% флюса  $\text{MgF}_2$ . В первом случае содержание карбида бора в смеси менялось от 9 до 35% (всего 8 составов). Использовали следующие параметры облучения. Энергия электронов равнялась 1,4 МэВ, ток пучка 22,5 мА. Расстояние от выпускного окна до поверхности образца составляло 90 мм, диаметр пучка 1,2 см. Ускоритель работал в режиме сканирования с амплитудой колебания пучка 50 мм и скоростью поступательного перемещения образца под пучком 0,67 см/с. Во втором случае содержание карбида бора оставалось постоянным, равным 30%, но при энергии электронов 1,4 МэВ и прочих равных условиях скорость обработки увеличили до 1 см/с, ток пучка меняли в пределах 22,5–30 мА, что соответствовало изменению плотности энергии излучения от 6,3 до 8,4 кДж/см<sup>2</sup>.

Структуру металла наплавки исследовали на металлографическом микроскопе «Neophot» при увеличении 500. Образцы готовили механическим шлифованием, полированием и травлением в 4%-ном растворе азотной кислоты. Рентгеноструктурный фазовый анализ производили на дифрактометре ДРОН-2М. Измеряли твердость по Роквеллу и распределение микротвердости на приборе ПМТ-3 в направлении от поверхности наплавленных слоев вглубь образца с переходом через границу сплавления

при нагрузке 50 г с шагом 40-100 мкм. Проводили испытания на абразивный износ о нежестко закрепленные абразивные частицы, подаваемые в зону трения и прижимаемые к образцу вращающимся резиновым роликом (ГОСТ 23.208-79). Коррозионную стойкость определяли путем измерения потери массы образца при выдержке в азотной кислоте. Вычисляли относительное изменение массы в процентах по формуле:

$$\Delta M = \frac{M_0 - M_1}{M_0} * 100\% \quad (2.1)$$

где  $M_0$  – масса исходного образца, кг;

$M_1$  – масса образца после растворения в кислоте через время  $t_1$ .

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4Б41	Шмаков Василий Валерьевич

<b>Инженерная школа</b>	новых производственных технологий	<b>Отделение</b>	материаловедения
<b>Уровень образования</b>	бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	- Инициатор проекта ИФПМ СО РАН; - Примерный бюджет проекта 100 тыс.руб.; - В исследовании задействовано 2 человека: руководитель проекта и исполнитель проекта.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	- Проект выполняется в соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов»; - Минимальный размер оплаты труда в 2018 году составляет 9489 руб.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	- Согласно п.3 п.п.16 ст. 149 НК РФ данная НИИР не подлежит налогообложению. На основании п. 1 ст. 58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году вводится пониженная ставка для расчета отчислений во внебюджетные фонды – 27,1% от фонда оплаты труда.

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	- Техничко-экономическое обоснование научно-исследовательской работы; - Потенциальные потребители результатов исследования; - Swot-анализ НИИР.
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	- Планирование комплекса работ по проведению НИИР; - Расчет бюджета затрат на НИИР.
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	- Оценка эффективности НИИР; - Определение научно-технического уровня проекта.

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. Матрица SWOT
2. График проведения и бюджет НИИР

**Дата выдачи задания для раздела по линейному графику**

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Старший преподаватель	Гаврикова Надежда Александровна			

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
4Б41	Шмаков Василий Валерьевич		

#### 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» имеет своей целью анализ перспектив и успешности научно-исследовательского проекта. Также в данном разделе разрабатываются механизмы управления и другие проектные решения этапа реализации проекта.

Достижение поставленной цели требует решения следующих задач:

- дать оценку коммерческому потенциалу проекта и перспективам его разработки;
- обозначить поэтапный план выполнения исследования;
- произвести расчёт бюджета исследования;
- оценить эффективность проекта по ресурсным и экономическим показателям.

В работе используется метод вневакуумной электронно-лучевой наплавки в пучке релятивистских электронов. В качестве конкурентных методов рассматриваются: 1) метод вакуумной наплавки; 2) метод лазерной наплавки.

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Скорость обработки поверхности	0,2	5	5	4	1	1	0,8
2. Простота введения легирующих элементов	0,2	5	4	5	1	0,8	1
3. Необходимость формирования предварительного покрытия	0,1	5	4	5	0,5	0,4	0,5
4. Необходимость особой атмосферы	0,1	5	3	5	0,5	0,3	0,5
5. Качество поверхности	0,1	5	4	5	0,5	0,4	0,5

6. Энергоэкономичность	0,08	4	5	4	0,32	0,4	0,32
7. Безопасность технологии	0,08	5	5	4	0,4	0,4	0,32
8. Надежность оборудования	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
9. Мощность используемого оборудования	0,05	4	4	5	0,2	0,2	0,25
10. Простота эксплуатации установки	0,04	4	5	4	0,16	0,2	0,16
<b>Итого</b>	<b>1</b>				<b>4,83</b>	<b>4,35</b>	<b>4,6</b>
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Стоимость заготовок	0,3	5	4	5	1,5	1,3	1,5
2. Расход материала	0,2	5	4	4	1	0,8	0,8
3. Расходы на создание особой атмосферы	0,1	5	3	5	0,5	0,3	0,5
4. Стоимость используемого инструмента	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
Трудоемкость процесса	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
6. З/П рабочих	0,1	4	5	4	0,4	0,5	0,4
7. Стоимость эксплуатации оборудования	0,1	4	4	5	0,4	0,4	0,5
<b>Итого</b>	<b>1</b>				<b>4,7</b>	<b>4,1</b>	<b>4,5</b>

Таким образом, анализируя итоговые баллы каждого из методов, можно определить конкурентные преимущества выбранного метода наплавки. Прежде всего, стоит отметить высокую скорость обработки и простоту введения легирующих элементов, также вневакуумная электронно-лучевая наплавка не требует формирования предварительного покрытия и не требует создания особой атмосферы для процесса.

#### 4.1 Технико-экономическое обоснование научно-исследовательской работы

В ходе данной работы было проведено исследование свойств карбидостали на основе покрытий стали Ст3 полученной методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки в пучке релятивистских электронов.

Данная научно-исследовательская работа относится к фундаментальным целенаправленным исследованиям, в которых, кроме основной цели, часто достигаются побочные результаты.

Целью экономических расчетов является планирование исследований, проведенных в рамках научно-исследовательской работы на предприятии ИФПМ СО РАН лаборатория композиционных материалов ИЯ СО РАН (г. Новосибирск), решения вопросов организации и определение сметы затрат на выполнение работы.

В связи с исследовательским характером работ финансирование осуществляется из средств, выделяемых лаборатории на проведение научно-исследовательских работ.

#### 4.2 Потенциальные потребители результатов исследования

Данный проект является инициативным и не имеет коммерческого потенциала. Проект выполнен в рамках научно-исследовательской работы для ИФПМ СО РАН. Проект обладает инновационным потенциалом, выраженным в более совершенной методике вневакуумной электронно-лучевой наплавки в пучке релятивистских электронов, поскольку данный метод более производительный и менее ресурсозатратный.

Потенциальными потребителями результатов исследования являются предприятия машиностроительной отрасли, расположенные на территории Российской Федерации, включающие в себя сельско-хозяйственные, автомобильные, железнодорожные, и т.д.

#### 4.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. Такой анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Он проводится в несколько этапов.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта (см. табл. 4.2), которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Таблица 4.2 – SWOT-анализ проекта

Сильные стороны НИР	Возможности во внешней среде
С1. Высокая скорость процесса С2. Простота введения легирующих элементов С3. Не требуется формирования предварительного покрытия С4. Не требуется создание вакуума С5. Высокое качество наплавленного слоя	В1. Высокий спрос на ремонтные работы, которые могут быть выполнены данным методом В2. Конкурентоспособная цена ремонтных работ, выполняемых нашим методом В3. Увеличение количества производств, на которых применяют наплавку В4. Подорожание вакуумных установок
Слабые стороны НИР	Угрозы внешней среды
Сл1. Опасность неравномерного распределения легирующих элементов Сл2. Сложность наплавки на детали сложной формы Сл3. Требуется высокая квалификация рабочего персонала Сл4. Сложность наплавки на тонкостенные детали Сл5. Низкий КПД установки	У1. Развитие новых технологий-альтернатив У2. Сложность введения технологии на предприятии У3. Подорожание порошковых смесей, используемых для наплавки У4. Развитие технологий, предотвращающих абразивный износ деталей У5. Прекращение, в связи с санкциями, поставок из-за рубежа запчастей для ремонта оборудования

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. В табл. 4.3 представлены корреляции сильных сторон проекта и возможностей его реализации.

Таблица 4.3 – Сильные стороны проекта и возможности

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	-	+	0	0
	B2	-	0	-	+	0

	B3	0	+	0	0	0
	B4	-	-	-	-	-

Из табл. 4.3 следует, что сильные стороны проекта коррелируют с возможностями реализации проекта по следующим параметрам:

B1C1C3

B2C4

B3C2

Из анализа сильных сторон проекта и возможностей его реализации можно сделать вывод, что возможный высокий спрос на ремонтные работы, которые могут быть выполнены данным методом, связан следующим образом:

- высокая скоростью процесса наплавки позволяет в более короткий срок, в сравнении с конкурентами, получить требуемое изделие;
- отсутствие необходимости в формировании предварительного покрытия позволит уменьшить время простоя какой-либо детали в ремонте.

Конкурентоспособная цена ремонтных работ, выполняемых нашим методом, объясняется тем, что в данном методе не требуется создание вакуумной среды для наплавки, что существенно снижает стоимость всего технологического процесса.

Увеличение количества производств, на которых применяют наплавку также коррелирует с простотой введения легирующих элементов, что позволит варьировать состав наплавляемой порошковой смеси, в зависимости от требуемых свойств конечного изделия

В свою очередь подорожание вакуумных установок никак не коррелирует с сильными сторонами процесса, но является хорошей

возможностью для развития и распространения именно вневакуумного метода наплавки.

В табл. 4.4 представлены корреляции слабых сторон проекта и возможностей его реализации.

Таблица 4.4 – Слабые стороны проекта и возможности

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	V1	+	+	0	+	0
	V2	-	-	-	-	-
	V3	-	-	-	-	-
	V4	-	-	-	-	-

Из табл. 4.4 следует, что слабые стороны проекта коррелируют с возможностями реализации проекта по следующим параметрам:

V1Сл1Сл2Сл3Сл4

Анализ слабых сторон проекта и возможностей его реализации показывает, что возможный высокий спрос на ремонтные работы, которые могут быть выполнены данным методом, связан следующим образом:

- неравномерное распределение легирующих элементов в образце в ходе ремонтных работ может сказаться на долговечности детали в худшую сторону;
- сложность наплавки на детали сложной формы и тонкостенные детали, может помешать широкому распространению нашего метода на производствах;
- для работы с установкой требуется высокая квалификация рабочего персонала, что ведёт к дополнительным расходам либо на высокую зарплату персонала, либо на его обучение.

Остальные слабые стороны либо не коррелируют с возможностями проекта, либо коррелируют в незначительной степени.

В табл. 5.4 представлены корреляции сильных сторон проекта и угроз его реализации.

Таблица 4.5 – Сильные стороны проекта и угрозы

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	+	0	0	-	+
	У2	-	-	-	-	-
	У3	-	-	-	-	-
	У4	-	-	-	-	-
	У5	-	-	-	-	-

Из табл. 4.5 следует, что сильные стороны проекта коррелируют с угрозами реализации проекта по следующим параметрам:

У1С1С5

Из анализа сильных сторон проекта и угроз его реализации можно сделать вывод, что угроза развития новых технологий-альтернатив, которые могут вытеснить данный метод с рынка, связан следующим образом:

- создание новой более современной технологии наплавки с еще большей скоростью процесса;
- разработка метода упрочнения поверхности, который превзойдет вневакуумную наплавку по качеству поверхности.

Остальные сильные стороны либо не коррелируют с угрозами проекта, либо коррелируют в незначительной степени.

В табл. 4.6 представлены корреляции сильных сторон проекта и угроз его реализации.

Таблица 4.6 – Слабые стороны проекта и угрозы

Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	0	+	-	+	+
	У2	-	-	+	-	+
	У3	0	-	-	-	-
	У4	-	-	-	-	-
	У5	-	-	-	-	-

Из табл. 4.6 следует, что слабые стороны проекта коррелируют с угрозами реализации проекта по следующим параметрам:

У1Сл2Сл4Сл5

У2Сл3Сл5

Анализ слабых сторон проекта и угроз его реализации показывает, что угроза развития новых технологий-альтернатив, которые могут вытеснить данный метод с рынка, связан следующим образом:

- угроза развития технологий, которые позволят производить наплавку на тонкостенные детали и детали сложной формы;
- создание альтернативной технологии наплавки с более высоким КПД.

#### 4.4 Планирование комплекса работ по проведению НИР

На этапе планирования оценивается весь объем работ и составляется полный перечень проводимых работ.

Вся работа делится на три этапа:

а) подготовительный этап

1.Получение и анализ задания

2.Подбор и изучение литературы

б) основной этап:

3.Подготовка материала для исследования

3.1. Приготовление смесей порошков для наплавки

3.2. Электронно-лучевая наплавка покрытия

3.3.Изготовление образцов

3.4.Шлифовка и полировка образцов

4.Исследование микроструктуры

5.Абразивный износ

6.Измерение микротвердости

7.Обработка результатов эксперимента

в)заключительный этап

## 8.Оформление отчета о проделанной работе

После составления перечня необходимых работ определяются исполнители операций и трудоемкость работ.

Таблица 4.7 – Перечень работ

Наименование работ	Исполнитель	Трудоемкость работ, раб.дни
Получение и анализ задания	Исполнитель НИР + руководитель	1
Подбор и изучение литературы	Исполнитель НИР	15
Приготовление смесей для наплавки	Руководитель	8
Электронно-лучевая наплавка покрытия	Руководитель	2
Изготовление образцов	Исполнитель НИР + руководитель	3
Шлифовка и полировка образцов	Исполнитель НИР	5
Исследование микроструктуры	Исполнитель НИР	6
Абразивный износ	Исполнитель НИР	5
Измерение микротвердости	Исполнитель НИР	3
Обработка результатов эксперимента	Исполнитель НИР	4
Оформление отчета по работе	Исполнитель НИР	6

На выполнение НИР необходимо 48 дней.

Для определения трудоёмкости работ используется опытно-статистический метод расчёта ожидаемого времени выполнения работ в человеко-днях по формуле:

$$t_{ож\ i} = \frac{3 \cdot t_{\min i} + 2 \cdot t_{\max i}}{5},$$

где  $t_{ож\ i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, чел.-дн.;

$t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Для установления продолжительности работы в рабочих днях используем формулу:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i},$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Для удобства построения календарного план-графика, длительность этапов в рабочих днях переводится в календарные дни и рассчитывается по следующей формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k,$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения одной работы, календ. дн.;

$T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$k$  – коэффициент календарности, предназначен для перевода рабочего времени в календарное.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$k = \frac{T_{КГ}}{T_{КГ} - T_{ВД} - T_{ПД}},$$

где  $T_{КГ}$  – количество календарных дней в году;

$T_{ВД}$  – количество выходных дней в году;

$T_{ПД}$  – количество праздничных дней в году.

Определим длительность этапов в рабочих днях и коэффициент календарности:

$$k = \frac{T_{КГ}}{T_{КГ} - T_{ВД} - T_{ПД}} = \frac{365}{365 - 108 - 10} = 1,48.$$

Длительность этапов в рабочих днях. Следует учесть, что расчетную величину продолжительности работ  $T_K$  нужно округлить до целых чисел.

#### 4.5 Построение графика работ

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ки} = T_{pi} \cdot k_{кал},$$

где  $T_{ки}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (6)$$

где  $T_{кал}$  – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году.

Все рассчитанные значения сведены в таблицу 4.8.

Таблица 4.8 – Календарный план-график проведения НИР

№ работ	Вид работ	Исполнители	$T_{\text{кп}}$ , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ												
				ян.		февр.			март			апр.				
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Получение и анализ задания	Исполнитель +руководитель	2			■										
2	Подбор и изучение литературы	Исполнитель	17			■	■	■	■							
3	Приготовление смесей для наплавки	Руководитель	9			■										
4	Электронно-лучевая наплавка покрытия	Руководитель	5				■									
5	Изготовление образцов	Исполнитель +руководитель	5							■	■					
6	Шлифовка и полировка образцов	Исполнитель	5								■	■				
7	Исследование микроструктуры	Исполнитель	6									■	■			
8	Абразивный износ	Исполнитель	6										■	■		
9	Измерение микротвердости	Исполнитель	4											■	■	
10	Обработка результатов эксперимента	Исполнитель	5												■	■
11	Оформление отчета по работе	Исполнитель	7													■

#### 4.6 Расчет бюджета затрат на НИР

Затраты представляют собой все производственные формы потребления денег и измеримых в денежном измерении материальных ценностей, которые служат непосредственной производственной целью.

##### 4.6.1 Материальные затраты

В данной научно-исследовательской работе использовались 10 подложек из стали Ст3. В качестве легирующей смеси был выбран порошок карбида вольфрама WC. Основные и вспомогательные материалы, использованные при работе, приведены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Заготовки (Ст3)	кг	0,5	45	22,5
Порошок	кг	0,1	1325	132,5
Алмазная паста	кг	0,2	785	157
Спирт технический	л	0,5	84	42
Резиновый ролик	шт	2	50	100
Кварцевый песок	кг	2	19	38
Вата	упаковка (50 г)	2	25	50
Наждачная бумага	лист	10	20	200
Итого				742

Данные о ценах взяты из следующих источников:

- Заготовки (Ст3) <https://mc.ru/prices/listovojprokat.htm>
- Алмазная паста <https://www.rinscom.com/katalog/almaznyy-instrument/pasta-almaznaya/>
- Спирт технический <http://him-eksport.ru/spirt-tehnicheskiy>
- Кварцевый песок [https://www.boom-dom.ru/cat/tableware/preparation/1928/product\\_328035?fake=oops&iassup=sup24283&iasbra=bra3939323&iasprc=prc\\_0\\_0\\_100&utm\\_source=google](https://www.boom-dom.ru/cat/tableware/preparation/1928/product_328035?fake=oops&iassup=sup24283&iasbra=bra3939323&iasprc=prc_0_0_100&utm_source=google)

[https://www.piluli.ru/product/Vata\\_medicinskaya](https://www.piluli.ru/product/Vata_medicinskaya)  
<http://www.220-volt.ru/catalog/shkurka-shlifovalnaja/>

- Вата [https://www.piluli.ru/product/Vata\\_medicinskaya](https://www.piluli.ru/product/Vata_medicinskaya)
- Наждачная бумага <http://www.220-volt.ru/catalog/shkurka-shlifovalnaja/>

Для выполнения НИР исполнители проекта располагают всем необходимым оборудованием: станок полировально-шлифовальный, микроскоп « Neophot-32», микротвердомер ПМТ-3, установка для испытание материалов на абразивное изнашивание при трении о нежесткозакрепленные абразивные частицы, компьютер и принтер.

В бюджет данного проекта войдут затраты на амортизационные отчисления.

#### 4.6.2 Амортизационные отчисления

Для проведения научно-исследовательской работы требуются следующие виды оборудования: электронно-лучевая установка, станок полировально-шлифовальный, микроскоп « Neophot-32», микротвердомер ПМТ-3, установка для испытание материалов на абразивное изнашивание при трении о нежесткозакрепленные абразивные частицы, компьютер и принтер. Для расчета амортизации воспользуемся формулой:

$$A = \frac{Ц \cdot t}{F_{ном} \cdot n'}$$

где, Ц – цена оборудования;

t – время использования оборудования в НИР, час;

$F_{ном}$  – номинальный фонд времени использования оборудования, ч/г n – срок полезного использования оборудования, лет;

$F_{ном}$  определим, учитывая, что в неделю оборудование работает 5 дней в одну смену.  $F_{ном}=1999$  ч/год.

Таблица 4.10 – Расчет величины амортизационных отчислений

Тип оборудования	Стоимость, руб.	Срок эксплуатации, лет	Срок использован ия в НИР, кал.дн.	Амортизационные отчисления, руб.
------------------	-----------------	------------------------	------------------------------------	----------------------------------

Электронно-лучевая установка	10 000 000	10	2	5479
------------------------------	------------	----	---	------

Расчет вёлся по формулам:  $A_{год} = \frac{C}{T}$ , где  $A_{год}$  - годовая амортизация,  $C$  - стоимость оборудования,  $T$  - срок эксплуатации [лет];  $A_{np} = \frac{A_{год} \cdot t_i \cdot K_{tc}}{365}$ , где  $A_{np}$  - амортизационные отчисления за срок реализации проекта,  $t_i$  - срок использования оборудования в НИР [кал.дн.],  $K_{tc}$  - коэффициент календарности  $K_{tc} = \frac{T_f}{T_c} = \frac{247}{365} = 0,67$ , где  $T_f$  - количество рабочих дней в году,  $T_c$  - количество календарных дней в году.

#### 4.6.3 Затраты на заработную плату

В основе организации заработной платы лежит тарифная система, системы заработной платы рабочих, инженерно-технического работников и служащих; премиальные системы для различных категорий работников предприятия. Тарифная система, дифференцируя заработную плату работников по разрядам и условиям труда, учитывает главным образом качественную его сторону.

Зарботную плату рассчитывают по следующей формуле:

$$L_n = T_c \cdot T_n$$

где,  $T_c$  - тарифная ставка, руб/день;

$T_n$  - фактически отработанное время, время занятости в НИР.

Плюс районный коэффициент 30% и премия 50%.

Таблица 4.11 – Фонд заработной платы

№	Статьи	Руководитель	Исполнитель
1	Оклад, руб	19 662	9 489
2	Рабочие дни в месяце, дни	21	21
3	Тарифная ставка, руб/день	936,4	451,8
4	Фактически отработанное время за	14	48

	период выполнения НИР, день		
5	Заработная плата, руб	13 109,6	21 689,1
6	Районный коэффициент 30%	3 932,9	6 506,7
7	Премия 50%	6554,8	10 844,6
8	Фонд заработной платы, руб	23 597,3	39 040,3

Для расчета отчислений на социальные нужды использован процент для ТПУ 27,1%. Они включают в себя:

- содержание и ремонт зданий, оборудования;
- освещение и отопление;
- амортизационные отчисления;
- транспортные расходы;
- расходы на охрану труда;
- расходы на канцелярские принадлежности;
- прочие неучтенные расходы.

#### 4.6.4 Расчет бюджета затрат НИР

В таблице 4.12 представлена смета бюджета затрат на НИР.

Таблица 4.12– Расчет бюджета затрат НИР

Наименование статьи	Сумма, руб.	Порядок расчета
Материальные затраты НИР	742	Таблица 4.9
Амортизация оборудования	5 479	Таблица 4.10
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	62 637,6	Таблица 4.11
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	7 516,5	$(осн.З.П.) \cdot 0,12$ $62\ 637,6 \cdot 0,12$
Отчисления на социальные нужды	19 011,8	$(осн.З.П. + доп.З.П.) \cdot 0,271$ $(62\ 637,6 + 7\ 516,5) \cdot 0,271$
Затраты на научные и производственные командировки	-	-
Контрагентские расходы	-	-
Накладные расходы	13 875,9	$(сумма\ пунктов\ 1-7) \cdot 0,16$

		$(742+5\,479+62\,637,6+7\,516,5+19\,011,8+0+0)*0,16=97\,036,9*0,16$
Бюджет затрат НИР	109 786,8	сумма всех затрат $742+5\,479+62\,637,6+7\,516,5+19\,011,8+0+0+13\,875,9$

Таким образом, проект реализован в течение 71 календарного дня. В ходе выполнения работы задействован руководитель НИР и исполнитель НИР. Общий бюджет НИР составил 109 786,8 рублей.

## Список публикаций

1. Шмаков В.В., Крылова Т.А., Перовская М.В. Особенности структуры и механических свойств покрытий, полученных методом электронно-лучевой наплавки на воздухе // Сборник тезисов LVIII Международной конференции «Актуальные проблемы прочности», Пермь, 16-19 мая, 2017 г. – С. 181.

2. М.В. Перовская, В.В. Шмаков, И.М. Полетика, Крылова Т.А. Вневакуумная электронно-лучевая наплавка покрытий с ультрадисперсной структурой // Современные технологии и материалы новых поколений: сборник докладов Международной конференции с элементами научной школы для молодежи. Томск, 9-13 октября 2017. – С. 266–267.

3. В.В. Шмаков, М.В. Перовская, И.М. Полетика, Т.А. Крылова Формирование покрытий с ультрадисперсной структурой методом электронно-лучевая наплавки // Современные технологии и материалы новых поколений: сборник докладов Международной конференции с элементами научной школы для молодежи. Томск, 9-13 октября 2017. – С. 268–270.

Также по результатам работы будут изданы тезисы в сборнике Молодежного международного конгрессе «Современные материалы и технологии новых поколений». Конгресс состоится 26-30 ноября 2018 года в Национальном исследовательском Томском политехническом университете.