



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки Материаловедение и технологии материалов
Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Создание износостойких покрытий, наплавленных в пучке релятивистских электронов УДК 669.15-194:621.793:533.9

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ81	Шмаков Василий Валерьевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
н.с. ИФПМ СО РАН	Перовская Марина Владимировна	к.т.н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОМ	Ваулина Ольга Юрьевна	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСНГ	Якимова Татьяна Борисовна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ООД	Романцов Игорь Иванович	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
22.04.01 Материаловедение и технологии материалов	Овечкин Борис Борисович	к.т.н.		

Планируемые результаты обучения по ООП 22.04.01

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P1	Осуществлять сбор и критический анализ информации, включая научные публикации, патенты, маркетинговые исследования в области материаловедения и технологии материалов
P2	Управлять научно-исследовательским и производственным проектом, включая критический анализ проблемных ситуаций, оценки потенциала коллектива и самооценки
P3	Способен представлять и защищать результаты своей работы и деятельности коллектива, включая планы научно-исследовательских работ, производственных проектов, научные публикации и доклады с использованием современных коммуникативных технологий, в том числе на иностранном языке.
P4	Руководить коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
P5	Ориентироваться в современных технологиях новых материалов с учетом экономичности, требований готовой продукции и интеллектуального потенциала предприятия, производства или научной группы
P6	Внедрять в производство технологии получения керамических, металлических наноматериалов и изделий, включая эксплуатацию соответствующего оборудования.
P7	Эксплуатировать оборудование и обрабатывать экспериментальные результаты с целью изучения структуры и свойств материалов, диагностики их эксплуатационных характеристик
P8	Разрабатывать новые и модернизировать существующие технологии получения керамических, металлических материалов и изделий, в том числе наноматериалов

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки (специальность) Материаловедение и технологии материалов
 Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

Б.Б. Овечкин

(Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ81	Шмакову Василию Валерьевичу

Тема работы:

Создание износостойких покрытий, наплавленных в пучке релятивистских электронов

Утверждена приказом директора ИШНПТ	Приказ №52-52/с от 21.02.2020
-------------------------------------	-------------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</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. 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"> - освещенность рабочего места, соответствует требуемой СНиП II-05-95; - неудачная планировка помещения; - недостаточность естественного освещения; - шум отсутствует, так как шлифование, распечатка
---	--

	<p>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>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</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>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
Раздел	Консультант
<i>Финансовый менеджмент</i>	<i>Т. Б. Якимова, доцент ОСНГ, к.э.н.</i>
<i>Социальная ответственность</i>	<i>И. И. Романцов, доцент ООД, к.т.н.</i>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
Литературный обзор	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	02.03.2020
--	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
н.с. ИФПМ СО РАН	Перовская Марина Владимировна	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ81	Шмаков Василий Валерьевич		

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	9
1.1 Сравнительный анализ методов обработки поверхностей с использованием концентрированных источников энергии	10
1.1.1 Обработка токами высокой частоты.....	10
1.1.2 Лазерные технологии.....	11
1.1.3 Обработка поверхности электронным пучком.....	12
1.1.4 Сфокусированный пучок, выведенный в атмосферу	12
1.2 Устройство ускорителя релятивистских электронов	16
1.3 Наплавка в пучке релятивистских электронов	20
1.4 Модифицирование в поверхностном слое металлов наплавкой в пучке релятивистских электронов	21
1.5 Абразивное изнашивание.....	25
1.6 Коррозия	26
1.7 Постановка задачи.....	28
2 Материалы и методы исследования.....	30
3 Результаты и их обсуждение.....	31
3.1 Результаты эксперимента наплавкой карбида вольфрама.....	31
3.2 Результаты эксперимента наплавкой модифицированной смесью	36
4 Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение	43
4.1 Техничко-экономическое обоснование научно-исследовательской работы	45
4.2 Потенциальные потребители результатов исследования	45
4.3 SWOT-анализ.....	46
4.4 Планирование комплекса работ по проведению НТИ.....	50
4.5 Построение графика работ.....	54
4.6 Расчет бюджета затрат на НТИ.....	56
4.6.1 Материальные затраты.....	56
4.6.2 Амортизационные отчисления.....	57
4.6.3 Затраты на заработную плату.....	58
4.6.4 Расчет бюджета затрат НТИ.....	59
5 Социальная ответственность	63
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	64
5.2 Производственная безопасность.....	65
5.3 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	67
5.4 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя.....	71

5.5 Экологическая безопасность.....	75
5.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	76
5.7 Выводы по разделу.....	79
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	80
Список публикаций студента	81
Список использованных источников.....	82
Приложение А.....	86

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 103 с., 20 рис., 15 табл., 32 источника, 1 прил.

Ключевые слова: Электронно-лучевая наплавка, порошки карбида вольфрама, 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, исследование структуры

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

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

Степень внедрения: основы формирования 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

ВВЕДЕНИЕ

В связи с повышением скорости действия машин и механизмов, более высокой энергоемкостью современных производственных процессов и предъявлением к оборудованию все более высоких требований в сочетании с необходимостью экономии средств при его производстве, эксплуатации и ремонте, конструкционные материалы должны обладать целым комплексом свойств.

Металлические детали, подверженные трению, кручению, изгибу и т. д. должны обладать высокой твердостью, но они должны обладать этим свойством только на поверхности, так как избыток твердости внутри детали нежелателен. Детали подвергаются поверхностному упрочнению для достижения этих свойств металла; только поверхностный слой закаляется до определенной температуры с быстрым последующим охлаждением, а сердцевина детали сохраняет свои первоначальные свойства.

Одним из решений данной проблемы может быть применение специальных мер, обеспечивающих повышение коррозионной стойкости, износостойкости и других важных свойств поверхности материалов, в числе которых широко используются методы наплавки и напыления с применением концентрированных источников энергии. Благодаря ряду преимуществ перед другими потоками концентрированной энергии, электронно-лучевая сварка и наплавка с низкоэнергетическими пучками являются одними из наиболее перспективных способов нанесения покрытия.

1 Обзор литературы

1.1 Сравнительный анализ методов обработки поверхностей с использованием концентрированных источников энергии

В качестве источников концентрированной энергии для исследования были взяты лазер и лазерное излучение, электронный пучок, который наносили на поверхности с подложками из улучшенной стали. Слои, таким образом, подвергались испытаниям на твердость, микроструктуру, износостойкость. В результате чего: экспериментальными попытками и окончательными испытаниями было установлено, что для небольших деталей также возможно рассматривать эти процессы для замены осаждения более твердых слоев, более дорогих. Поверхностное упрочнение с помощью лазера и электронного пучка может быть технически и экономически эффективным с помощью ощутимые практические результаты и высокая производительность труда. Использование лазерного излучения более эффективно, чем электронный луч. Кроме того, в случае поверхностного отверждения с концентрированными источниками энергии, легированные стали дают лучшие результаты по сравнению с углеродистыми [1].

1.1.1 Обработка токами высокой частоты

Поверхностное упрочнение стальных заготовок с концентрированными источниками энергии характеризуется высокими скоростями нагревания (десятки тысяч градусов в секунду). В этих условиях нагревание стали проводится до температуры плавления для завершения процесса аустенитизации. Во время использования лазерных или плазменных источников нагрева максимальные значения температур наблюдаются на поверхности собственно материала [2].

Во время процесса обработки ТВЧ металлическая деталь помещается в электромагнитное поле внутри медной трубки, изогнутой по форме детали, и индуцируются переменные токи высокой частоты. Токи выталкиваются на поверхность детали магнитным током, индуцируемым внутри. Поскольку индуцированные токи имеют чрезвычайно высокую плотность на нагреваемой поверхности детали, поверхностный слой нагревается быстро [3].

Индукционное упрочнение ТВЧ характеризуется двумя параметрами: глубиной и твердостью обрабатываемого слоя детали. Для получения тонкого слоя в закаленном изделии используются индукционные нагреватели (аппараты ТВЧ) мощностью от 40 кВА до 160 кВА с частотой 20-40 кГц или 40-70 кГц. Если требуются более глубокие слои, то используется диапазон частот от 6 до 20 кГц [4].

Существуют и другие способы упрочнения, но поверхностное упрочнение металлов с помощью высокочастотных токов имеет следующие преимущества:

- высокая твердость,
- высокая эффективность,
- любая глубина затвердевшего слоя изделия,
- разнообразие конфигураций изделия,
- возможна полностью автоматизированная закалка.

Обработка ТВЧ оказалась очень эффективной. Это экономичный и высокопроизводительный способ термической обработки металла, обеспечивающий высокую прочность и долговечность детали [5].

1.1.2 Лазерные технологии

Лазерный генератор производит лазерный луч, который фокусируется на поверхности нагрева. В зависимости от физических свойств обрабатываемых поверхностей и их характеристик из лазерного луча можно добиться обработки поверхности двумя способами:

- путем твердофазных превращений;
- путем жидкофазных превращений (витрификации), когда плотности мощности равны более 12 ... 13 кВт / см² [6].

В обоих случаях нет необходимости использовать внешнее охлаждение, тепло быстро рассеивается в объеме образца и соответственно в окружающей среде. Лазерный цикл нагрева имеет резкую форму, с резким наклоном, как для нагрева, так и для охлаждения [7].

1.1.3 Обработка поверхности электронным пучком

Электрон как элементарная частица также характеризуется тем, что он имеет массу. Если электронный пучок ориентирован в сторону металлической поверхности, кинетическая энергия превращается в тепловую энергию, нагревая материал [8].

Электронный пучок, создаваемый конкретной установкой (основным узлом которой является электронная пушка) фокусируется на обрабатываемой детали (в вакуумном пространстве).

При использовании электронного пучка упрочнение поверхности можно производить с помощью и без плавления мишени происходит следующее:

- с плотностью мощности 10^3 - 10^4 Вт / см² и продолжительность действия 1-3 секунды, нагрев материала происходит в твердотельной области;

- при плотностях мощности 10^6 - 10^7 Вт / см² и продолжительность действия 10^{-2} - 10^{-1} секунд, после электронно-лучевой термической обработки металл плавится, а затем очень сильно нагревается, быстрое охлаждение вместе с затвердеванием [9].

1.1.4 Сфокусированный пучок, выведенный в атмосферу

Во вневакуумной электронно-лучевой наплавке используется по существу то же оборудование, что и в вакуумной, но луч пропускается через

ряд отдельно нагнетаемых ступеней давления, чтобы позволить лучу проецироваться в атмосферу, не вызывая чрезмерной утечки газа в генератор луча. Этот процесс дает следующие преимущества:

- однопроходный наплавленный слой при атмосферном давлении;
- вакуумная камера не требуется;
- время процесса минимальное;
- стоимость корпуса установки и насосного оборудования значительно снижена по сравнению с вакуумным оборудованием;
- характеристики наплавленного слоя аналогичны тем, которые получаются при вакуумной наплавке, т. е. низкие искажения и высокое качество слоя [10].

Кроме того, при этом процессе электронный пучок генерируется в высоковакуумном генераторе. Отличие от вакуумного метода, главным образом, заключается в том, что для данного метода сформированный луч "направляется" в свободную атмосферу, проходя через несколько тонких сопел, которые разделяют различные ступени давления.

Вследствие столкновений электронов с частицами атмосферы электронный пучок постепенно расширяется при увеличении рабочего расстояния (сопло-заготовка). Однако в пределах рекомендуемого расстояния плотность энергии луча все еще достаточно высока, чтобы произвести процесс сварки.

Что касается применения, то этот метод отличается от процесса сварки в вакууме, избегая любой вакуумной камеры для обработки заготовок. Заготовку можно перемещать на X/Y столе или с помощью робота под электронным лучом. В зависимости от применения, генератор также может быть перемещен [11].

В настоящий момент реализуется европейский проект Eureka EU86. Продолжается строительство мощной вневакуумной установки мощностью 150 кВт, которая, как ожидается, обеспечит наплавленный слой на стали толщиной 100 мм с аналогичными характеристиками наплавки в вакууме

электронно-лучевой сваркой. Оборудование уже проектировало интенсивные лучи с уровнями мощности до 100 кВт в атмосферу, и начальные испытания, даже при 60 кВт, достигли более 50 мм проникновения в сталь в плоском положении. Ожидается, что текущие опытно-конструкторские работы, использование импульсных Пучков и другие усовершенствования оборудования существенно улучшат производительность наплавочного оборудования [12].

В таблице 1.1 представлено сравнение видов поверхностной обработки различными концентрированными источниками энергии с указанием стоимости оборудования в расчёте на единицу передаваемой мощности. Видно, что наиболее экономичным является передача мощности по средствам электронного пучка (наплавки), самым же дорогостоящий метод обработки – лазерный, что объясняется дороговизной оборудования.

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 х к.п.д. источника = к.п.д. процесса	Стоимость оборудования в расчёте на единицу передаваемой мощности
	кВт	кВт/см ²	мм		USD/кВт
Электрическая дуга (наплавка)	200	10	~0	0,8x0,5=0,4	500
Т.в.ч.	500	1,5	3	0,8x0,75=0,6	800
Лазер	10	10 ⁸	10 ⁻³	0,4x0,4=0,16	15000
Электронная пушка	500	10 ⁷	0,1	0,8x0,9=0,7	1500
Релятивистский электронный пучок	100	0,5x10 ⁷	0,7	0,7*0,9=0,63	10000

1.2 Устройство ускорителя релятивистских электронов

Обычные ускорители частиц, основанные на радиочастоте поля, являются довольно сложными и дорогостоящими устройствами. В поисках были предложены и реализованы более простые и экономически эффективные решения – компактные ускорительные схемы с лазерным приводом за последние несколько десятилетий. Эти установки, используя беспрецедентную напряженность поля мощных коротких лазерных импульсов, может стать практичной альтернативой сотням метров в длину обычные ускорители частиц. Лазерно-управляемые ускорителями включают лазерно-плазменные ускорители, диэлектрический лазер ускорители и ускорители свободного пространства.

С развитием сильнополюсных ТГц-импульсных источников за последние десять лет открылся новый маршрут для эффективного ускорения заряженных частиц. Энергия ТГц увеличивается на много порядков и приближается к 1 МДж. Пиковое электрическое напряжение до 100 мВ см^{-1} поле было продемонстрировано на более высоких, несколько десятков ТГц частотах. Эффективная генерация ТГц была достигнута за счет оптическая ректификация в органических кристаллах, ниобате лития и полупроводниках. Управляемые ТГц ускорители электронов могут предложить значительные преимущества по сравнению с другими ускорителями электронов. ТГц импульсы имеют длину волны около на два порядка больше, чем у видимых или окосветовых импульсов. Это позволяет значительно увеличить длину взаимодействия и количество частиц, по сравнению с лазерным приводом. Кроме того, благодаря их пикосекундному периоду можно добиться более точной фазовой синхронизации между частицами и ускоряющимся ТГц-полем. В последние годы ТГц-управляемая электронная манипуляция, электронная пушка, диэлектрический ускоритель, ускорение в полости, генерация рентгеновского излучения и были предложены и смоделированы линейные ускорители. ТГц-управляемое ускорение электронов в вакууме и в

экспериментально исследован волновод. Высокоэнергетические источники ТГц также могут быть пригодны для постускорения и монохроматизации генерируемых лазером протонов, а также для непосредственного возбуждения низкоэнергетического протона источник в плазме [13].

Установка для реализации предложенного способа показана на рисунке 1.1. Пучок электронов, генерируемый ускорителем 1, выходит из вакуумной системы ускорителя в устройство 2 для вывода электронного пучка и движется вдоль своей оси, показанной на рисунке 2 пунктирной линией. Проходя через отверстия в диафрагмах 4, которые разделяют ступени накачки, луч попадает в области повышения давления газа, а после прохождения через отверстие в медной диафрагме 5 он попадает в атмосферный воздух или защитный газ. Воздух или газ непрерывно поступают в насосную ступень устройства 2 через эти отверстия в диафрагмах. Затем его откачивают непрерывно работающими насосами 3. Попадая в атмосферный воздух или газ, из-за рассеяния электронный пучок начинает постепенно увеличиваться в диаметре. Но поскольку длина полного пути релятивистских электронов в воздухе составляет ~ 1 метр или более, на расстоянии до 100-500 миллиметров от выходного отверстия в диафрагме 5 луч остается достаточно сконцентрированным для плавления порошка покрытия. Проходя через зазор между полюсами электромагнита 8, электронный пучок подвергается воздействию магнитного поля и отклоняется им в направлении, перпендикулярном направлению линий магнитного поля и направлению движения электронов пучка. В этом случае угол отклонения оси пучка от исходного направления тем больше, чем больше напряженность магнитного поля. И когда напряженность магнитного поля изменяется в соответствии с периодическим законом, угол отклонения луча также изменяется в соответствии с периодическим законом. В результате луч сканирует в направлении, перпендикулярном направлению движения тележки 6, с частотой f , равной частоте изменения тока, питающего электромагнит 8.

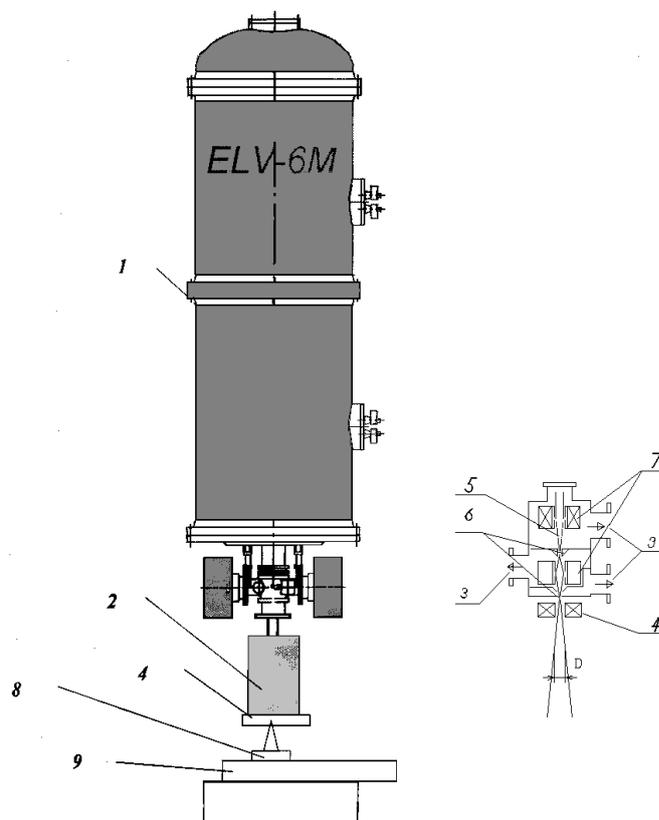


Рисунок 1.1-1 - ускоритель электронов, 2-вытяжное устройство, 3-7-конструктивные элементы вытяжного устройства, 8-перерабатываемый продукт, 9-подвижный стол-манипулятор. Схема вытяжного устройства: 3-вакуумные насосные линии, 4-электромагнитное сканирующее устройство, 5-лучевая огибающая, 6-диафрагмы, разделяющие насосные камеры с различными уровнями вакуума, 7-магнитные линзы

Когда электромагнит 8 работает, создаваемое им поле рассеяния может достигать диафрагмы 5, если нет магнитного экрана 10. В этом случае луч подвергается воздействию магнитного поля, уже находящегося в отверстии в медной диафрагме 5, и начинает сканировать, прежде чем покинуть это отверстие. В этом случае сканирующий электронный пучок расплавляет края отверстия и увеличивает его размер в направлении

сканирования, превращая круглое отверстие в эллипс. Через увеличивающееся отверстие в диафрагме 5 увеличивается поток воздуха или газа в вакуумную систему установки, что делает необходимым установку более мощных насосов 3 для откачки воздуха. Чтобы избежать этого, между электромагнитом 8 и диафрагмой 5 установлен тонкий ферромагнитный экран 10, препятствующий проникновению магнитного поля в диафрагму 5. В качестве ферромагнитного экрана 10 можно использовать стальную пластину с отверстием в ней для прохождения луча. Экран 10 особенно необходим при работе с пучком электронов с относительно низкими (до 1 МэВ) энергиями, которые сильно отклоняются даже в слабых магнитных полях. При использовании магнитного сканирования луч «рисует» на поверхности ряд прямых участков пути оплавления, параллельных друг другу, расположенных под углом к направлению движения. Шаг размещения сегментов t определяется скоростью движения продукта. Чтобы обеспечить непрерывность нанесения покрытия, шаг t берется меньше диаметра луча, рисунок 1.2. В этом случае пути оплавления сливаются в сплошную полосу, ширина которой равна амплитуде сканирования луча.

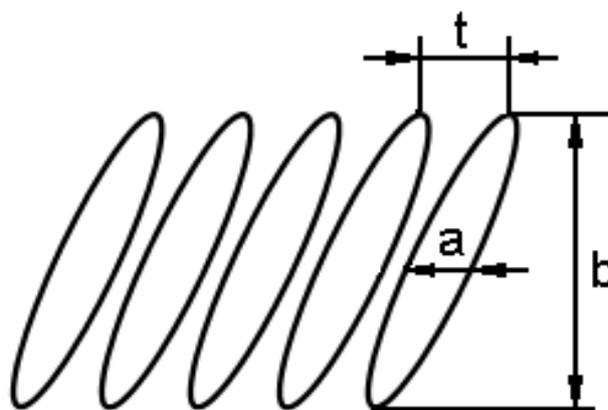


Рисунок 1.2 – Полоса оплавления на поверхности металла при сканировании пучка

1.3 Наплавка в пучке релятивистских электронов

Очень эффективным методом поверхностного упрочнения является всплытие в пучке релятивистских электронов [14-15]. Данная технология реализована с использованием электронных ускорителей, разработанных в ИЯФ СО РАН [16].

Поток релятивистских электронов, выбрасываемых в атмосферу, является основным источником энергии, и его возможности для применения плохо изучены. Можно расплавить практически любой материал. Глубина проникновения варьируется от 0,1 до 10 мм. Сканирование луча в атмосфере легко осуществить, что обеспечивает обработку полос различной ширины на изделиях. Предложены условия для обработки крупногабаритных изделий с их быстрой заменой. Ванна с расплавом, образовавшаяся при электронно-лучевом осаждении, подпирается атмосферным давлением. Это предотвращает более раннее кипение ванны, которое наблюдается при всплытии в условиях вакуума, и обеспечивает возможность использования флюса, который очищает поверхность вспененного порошка и подложки от оксидов и других загрязнений. Никаких специальных приспособлений для введения легирующих добавок не требуется - они наносятся на поверхность непосредственно перед обработкой. Закаленные слои обычно имеют мелкозернистую структуру и содержат легирующие элементы по всей глубине.

Таким образом, когда нерелятивистские электроны сплавляют углеродные стали на глубину 1 мм, максимальная плотность мощности в электронном пучке составляет $1,2 \times 10^4$ Вт / см², а минимальное время облучения составляет 0,18 с. Ограничение плотности мощности на верхнем пределе и длительности облучения на нижнем пределе приводит к снижению производительности процесса. Слияние пучка релятивистских электронов, ускоренных до энергии, при которой длина их полного пути в материале

приблизительно равна толщине требуемого слоя плавления или немного больше его, позволяет работать при высокой мощности облучения плотности, но за исключением кипения материала [17].

В пучке релятивистских электронов поверхностный слой продукта нагревается до всей его толщины в результате прямого выделения энергии ингибирующих электронов без переноса тепла с поверхности. В то же время толщина слоя энерговыделения электронов значительно увеличивается. Максимальное количество тепла выделяется на расстоянии от поверхности, которое составляет $\sim 1/3$ длины пути электрона. В то же время наблюдается неравномерное выделение энергии и разная кинетика нагрева различных структурных компонентов, таких как матрицы и карбиды. Эти особенности используются при упрочнении сплавов.

1.4 Модифицирование в поверхностном слое металлов наплавкой в пучке релятивистских электронов

В работе [18] пучок релятивистских электронов с энергией, регулируемой в пределах 0,8 - 1,2 МэВ, выводили в атмосферный воздух и направляли на поверхность плоских образцов, перемещавшихся под ускорителем. В первой серии опытов облучали стальные пластины с предварительно нанесенным на их поверхность методом плазменного напыления слоем порошкового покрытия толщиной до 1 мм. В результате на поверхности образцов были получены пути оплавления шириной 4–5 мм и толщиной 0,6–1,5 мм в зависимости от мощности пучка. Сплавленный слой имеет мелкозернистую дендритную структуру. Нет видимых следов оксидов и микропор, которые содержались в большом количестве в напыленном слое перед расплавлением.

В использованном методе облучения электронным пучком производительность достигала $2 \text{ м}^2/\text{час}$. Энергопотребление ускорителя составило $4\text{--}6 \text{ кВтч}/\text{м}^2$. При лазерном оплавлении покрытий на глубину 1 мм с использованием пучка 10 кВт производительность составляет всего 0,2

м²/час при расходе энергии пучка 50 кВт/м². С учетом эффективности лазера общее энергопотребление достигает 1000 кВтч/м². Высокая скорость обработки, способность обрабатывать продукты в воздухе, низкое энергопотребление по сравнению с другими методами и хорошее качество расплавленного слоя являются несомненными преимуществами метода.

В [19] релятивистский ускоритель электронов облучал стальные пластины с предварительно нанесенным плазменным покрытием толщиной от 0,3 до 1,2 мм. Для этого использовались порошки из легированного металла производства НПО Тулачермет и их смесь с порошком карбида хрома. Пучок электронов с энергией 1,2 МэВ был направлен перпендикулярно поверхности образца сверху вниз. Образцы перемещались горизонтально со скоростью 400 м/с. Ширина полосы плавленного металла соответствовала диаметру балки и составляла 3-5 мм.

Микроструктура обрабатываемого материала слоя резко отличается от исходной. Для большинства образцов он мелкодисперсный и имеет дендритную структуру. В облученных покрытиях содержание оксидов и микропор, наблюдаемое ранее, резко уменьшается. Микротвердость расплавленных покрытий несколько ниже, чем твердость исходного напыленного слоя. Это связано с перемешиванием металла покрытия с более мягким металлом подложки при их сплавлении. В результате плавления прочность сцепления покрытия с подложкой, которая ранее составляла 0,1 - 0,2 МПа, становится соизмеримой с прочностью материала подложки.

В экспериментах по плавлению покрытий толщиной около 1 мм [20] были достигнуты скорости 400 - 720 м/час при удельном расходе энергии пучка 7 - 9 кВтч/м². Скорость перемещения плиты с порошком возросла до 2500 м/с при энергопотреблении 4-6 кВтч/кг напыленного порошка и производительности наплавки 2-6 м²/ч. Для сравнения приведены данные, что максимально достижимая производительность наплавки и оплавления электрической дуги составляет около 100 м/ч. Согласно расчетам, при использовании ленточной балки мощностью 1000 кВт и энергией 0,25 - 0,3

МэВ, мощность обработки покрытий толщиной 0,1 мм может составлять 0,25 м 2/с, а скорость плавления составляет 700 кг порошка в час. Планируется создание промышленных ускорителей с мощностью пучка более 10 МВт. Их применение позволит наносить покрытия на металлопрокат непосредственно на прокатных станах.

В [21] изучалась возможность упрочнения рабочих органов почвообрабатывающей и других сельскохозяйственных машин методом электронно-лучевой наплавки. Обычно для этой цели используется индукционная сварка под флюсом, что имеет ряд недостатков: низкая скорость (~ 50 секунд на одном футовом культиваторе); ограниченный ассортимент облицовочных материалов из-за низкотемпературного плавления подложки; выгорание и ослабление стали рабочей кромки.

Наплавка осуществлялась на промышленном ускорителе релятивистских электронов. Использовались порошки типа сормита, которые не были разделены на фракции, что снижает их стоимость. Флюсы и защитные газы не использовались. Для предотвращения трещин заготовку перед наплавкой нагревали до температур 400-450 ° С.

Толщина переплавленного слоя достигает 1 мм, глубина расплава в поверхности изделия составляет 0,4 мм. Однако, несмотря на разбавление порошка металлом подложки, твердость покрытий не сильно отличается от твердости исходных наплавочных материалов [22]. Это связано с тем, что, в отличие от индукционной сварки, при которой на металлической подложке происходит нежелательный рост зерна, снижается прочность изделия, здесь не наблюдается, наоборот, измельчения зерна и упрочнения материала в зоне термического влияния. Создает благоприятное распределение микротвердости по поперечному сечению с постепенным увеличением его от металла изделия до поверхности осажденного слоя без резкого скачка на стыке с подложкой.

Как показали испытания на износостойкость, при одинаковом расходе наплавочного порошка толщина износостойкого слоя для электронно-

лучевой наплавки составляет 1 мм, а для индукционной наплавки 0,4 - 0,5 мм, т.е. износостойкость изделия увеличивается на 1,5 - 2 раза.

Согласно расчетам, приведенным в [13], ожидаемый экономический эффект от нанесения только одного продукта (лапки культиватора) на электронный ускоритель таков, что он окупит стоимость ускорителя в течение 5 лет.

В [24-25] подробно изучены механизмы упрочнения поверхностного слоя технического титана и титанового сплава Ti-6Al-4V с помощью OREMET Co при наплавке порошков TiC, TiN, TiB₂ и их смесей. CaF₂ использовали в качестве флюса для защиты покрытия на основе титана от окисления в атмосферных условиях. Способ позволил получить равномерное покрытие толщиной до 2 мм, отливку трещин, оболочек, имеющих абсолютную адгезию к основанию. В то же время производительность покрытия составила 8 м²/час. Эффект упрочнения был связан с образованием твердых включений матрицы TiC, TiN, TiB, TiB₂, (Ti_xAl_{1-x}) N, Ti (C_xN_{1-x}) или обогащенного азотом α-Ti.

Разработанная технология наплавки используется для упрочнения поверхности плит и плит из низколегированной стали, которые при испытаниях со стальным ударником показали увеличение ударопрочности. Согласно результатам испытаний, эксплуатационные характеристики увеличились на 10-25%, а в некоторых случаях на 50%.

Рассмотрим более подробно результаты исследования, представленные в [26]. Авторы этих работ получили композиционные материалы, состоящие из высоколегированного слоя и низколегированной мягкой основы, которые можно использовать в качестве недорогой стали. Покрытия характеризуются высокой дисперсностью структуры, большой толщиной, отсутствием трещин и микропор.

Основной фазой отверждения в этой структуре является карборит Me₂₃(C,B)₆ на основе хрома. Максимальные значения твердости и износостойкости наплавки не совпадают. Размер и распределение частиц

фазовых включений играют важную роль. Образование большого количества крупных включений меняет механизм износа – частицы фазы не изнашиваются, а окрашиваются.

Кроме того, исследована возможность изменения структуры напыленных слоев путем введения модификаторов и последующей термообработки. Небольшие добавки FeV, FeTi и TiB₂ в порошковой легирующей смеси способствуют образованию ультрадисперсной структуры с повышенной износостойкостью. Твердость слоев возрастает после выделения и разложения пересыщенных твердых растворов. Для слоев, легированных на проезжей части, не требуется.

1.5 Абразивное изнашивание

Рабочие части шлифовального оборудования в основном подвержены механическому износу. В настоящее время ни отечественная, ни зарубежная промышленность не имеют более или менее общих терминологических определений и подходов к проблеме механического износа [27].

Механический износ характеризуется уменьшением размеров и формы изделий за счет одновременного действия двух основных сил:

- Разрыв (или микрообработка) или резка (или микрорезание) поверхности металла минеральными зёрнами неправильной (острой) формы, твердость которых превышает твердость сплава, движущегося по поверхности изделия. В обычной терминологии такой механизм износа называется абразивным износом.

- Растрескивание (микротрещина) поверхности металлов и образование канавок (микрошлифование) частиц, вызванное попаданием частей обрабатываемых материалов на поверхность под наклонными углами (близкими к 90°). В обычной терминологии такой механизм износа называется ударным износом.

Соответственно, исходя из характера вышеупомянутых типов износа, можно сказать, что основными критериями для оценки интенсивности абразивного износа являются твердость, режущая способность минеральных частиц и скорость их движения, и таким критерием для ударного износа должно быть энергия удара, которая также зависит от трех факторов - массы частиц, их твердости и скорости.

Если частицы являются хрупкими из-за хрупкости материала или его трещины пористости, они разрушаются во время удара, тем самым снижая кинетику удара и не вызывая серьезной деформации металлического продукта, распространяясь вдоль поверхности продукта и вызывая эффект истирания. Если частицы твердые, для разрушения поверхности продукта используется много кинетической энергии, что наносит ему максимальный ущерб. Наиболее экстремальный случай столкновения металлического изделия с металлическим предметом имеет специфическое название - его называют упругим ударом, который, как правило, вызывает аварийную ситуацию, если вес деталей большой.

Способность абразивной частицы внедряться в поверхность износа на первой стадии взаимодействия вызывает ее повреждение в результате образования отверстий; на втором этапе, когда частица движется вдоль поверхности трения скольжения, путем микрорезания, пластической деформации и окраски.

1.6 Коррозия

Коррозия металлов - это самопроизвольное разрушение металлических материалов вследствие их химического или электрохимического взаимодействия с окружающей агрессивной средой. Термин «коррозия» (лат. Corroder - коррозия) имеет не столько научный, сколько технический смысл. Было бы правильнее использовать термин «окисление», поскольку в процессе коррозии положительная степень окисления металла часто увеличивается. Причиной коррозии металлов

является их термодинамическая нестабильность. В результате почти все металлы в природе находятся в окисленном состоянии из-за контакта с кислородом в воздушной или водной среде.

Коррозия может развиваться в присутствии жидкостей или газов. Это может произойти при любой температуре, хотя обычно скорость коррозии увеличивается с увеличением температуры. Коррозия, связанная с жидкостями, часто вызывается примесями или микроэлементами, содержащимися в жидкости. Примером этого может служить присутствие хлора, который способствует образованию соляной кислоты, или серы, которая образует серную кислоту.

По механизму потока существует два типа коррозии - химическая и электрохимическая коррозия.

Электрохимическая коррозия - это взаимодействие металла с агрессивной средой (раствором или расплавом электролита), при котором ионизация атомов металла и восстановление окислительного компонента агрессивной среды происходят более чем за один акт, и их скорость зависит от электродный потенциал.

Химическая коррозия - самопроизвольное взаимодействие металла с агрессивной средой, при котором окисление металла и восстановление окисляющих компонентов агрессивной среды происходят в одном действии.

Здесь окисление осуществляется по химическому механизму. Скорость этого процесса подчиняется законам химической кинетики и не зависит от изменений потенциала металла [28].

Коррозионно-стойкие стали с соответствующей легировкой и термической обработкой обладают высокой коррозионной стойкостью при комнатной и повышенной температурах до 800 ° C в атмосферных и газовых средах, а также в чистых и водных растворах кислот и щелочей, жидкометаллических сред и т.д. Характерной разницей между этими сталями является пониженное содержание углерода, обычно не превышающее 0,12%, что оказывает решающее влияние на их устойчивость к межкристаллитной

коррозии (МКЦ). Благодаря этим свойствам они используются при изготовлении трубопроводов и устройств для химической и нефтяной промышленности.

Хром относится к легкоопасным металлам и является легирующим элементом, который эффективно повышает коррозионную стойкость железа благодаря переходу сплава в пассивное состояние. Резкое увеличение коррозионной стойкости наблюдается при содержании 12 - 13% Cr в сплавах. Когда содержание хрома увеличивается до 18% или до 25-28%, происходит дальнейшее увеличение коррозионной стойкости сплавов, но их механические свойства снижаются, особенно ударная вязкость. Если содержание хрома превышает 16-18%, сварка становится сложной

Сталь обладает лучшей устойчивостью к коррозии, только если все содержание хрома в стали учитывается твердым раствором.

Для повышения сопротивления межкристаллитной коррозии и шлифованию зерна сталь легируют титаном в количестве, по меньшей мере, в пять раз превышающем содержание углерода. Чтобы уменьшить склонность к межкристаллитной коррозии, в сталь вводят титан или ниобий. Количество легирующих добавок определяется в зависимости от содержания углерода в стали. Титан кроме увеличения коррозионной стойкости также положительно влияет на прочность сплава.

Для улучшения механических свойств коррозионно-стойких сталей в них дополнительно вводится никель, что расширяет аустенитную область, повышает прочность и пластичность. Однако хромоникелевая сталь стоит дороже. В связи с этим в некоторых случаях для продуктов, работающих в умеренно агрессивных средах, никель заменяется марганцем [29].

1.7 Постановка задачи

Известно, что наплавка карбидом вольфрама сопровождается ростом склонности к трещинообразованию и отколам наплавленного слоя. Данную проблему можно решить путем введения дополнительных легирующих

элементов, например никеля, который способствует образованию аустенитной структуры и обладающей повышенной прочностью. Известно, что структура, состоящая из твердых включений в вязкой матрице более устойчива к разрушению [30].

Цель работы: Изучить закономерности формирования износостойких покрытий методом наплавки карбидов вольфрама в пучке релятивистских электронов, найти оптимальные составы наплавочных смесей, режимы наплавки.

2 Материалы и методы исследования

Первоначально низкоуглеродистая сталь была покрыта порошком карбида вольфрама WC. Слой порошка толщиной 1 мм наносили на поверхность образца перед обработкой. Энергия электронов U составляла 1,4 МэВ, ток пучка I изменялся в пределах 27-51 мА, а скорость обработки V составляла 2,5; 1,6; 1,0 м/с. Во второй серии экспериментов при той же энергии электронов для наплавки использовали смесь порошков WC+Ni+TiC при их относительном содержании 6:3:1. Ток луча I был равен 40 мА, а скорость обработки V – 2,0; 1,8; 1,65; 1,55; 1,45 см/с. Для защиты от воздействия окружающей среды флюс MgF_2 вводили в смеси для наплавки в обоих случаях. Для увеличения площади осаждаемой поверхности луч сканировали с шириной магнитного сканирования $l = 5$ см. Во время облучения расплавленный поверхностный слой поглощал порошки легирующих компонентов, которые полностью растворялись в расплаве и кристаллизовались в виде новых соединений при затвердевании.

Структура покрытий изучалась с помощью металлографического микроскопа «Neophot» на полированных участках, протравленных раствором кислоты: 20 мл HNO_3 и 100 мл HCl . Для проведения структурных исследований при наплавке смесью WC+Ni+TiC поперечные шлифы наплавленных слоев травили 4%-ным раствором HNO_3 . Фазовый состав покрытий определяли методом рентгенофазового анализа на дифрактометре ДРОН-2М. Измеряли распределение микротвердости на приборе ПМТ-3 и нашли его среднее значение в покрытии H^{cp}_{μ} . Проводили испытания на абразивную износостойкость по ГОСТ 23.208-79.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ81	Шмаков Василий Валерьевич

Школа	ИШНПТ	Отделение	ОМ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	22.04.01 «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>	- ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов»; - Минимальный размер оплаты труда, установленный в 2020 году - 12 130 руб.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	- Страховые взносы во внебюджетные фонды 30,2%;

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 НИ.
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	- Планирование комплекса работ по проведению НИ; -Расчет бюджета затрат на НИ.
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	- Оценка эффективности НИ; - Определение научно-технического уровня проекта.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Матрица SWOT</i>
2. <i>График проведения и бюджет НИ</i>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСНГ	Якимова Татьяна Борисовна	к.э.н.		02.03.20

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ81	Шмаков Василий Валерьевич		02.02.20

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 _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
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	0,1	5	4	5	0,5	0,4	0,5

предварительного покрытия							
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
Итого	1				4,83	4,35	4,6
Экономические критерии оценки эффективности							
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
Итого	1				4,7	4,1	4,5

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. таблицу 4.2), которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Таблица 4.2 – SWOT-анализ проекта

Сильные стороны НТИ	Возможности во внешней среде
С1. Высокая скорость процесса	В1. Высокий спрос на ремонтные работы, которые могут быть выполнены данным методом В2. Конкуренспособная цена ремонтных работ, выполняемых нашим методом В3. Увеличение количества производств, на которых применяют наплавку В4. Подорожание вакуумных установок
С2. Простота введения легирующих элементов	
С3. Не требуется формирования предварительного покрытия	
С4. Не требуется создание вакуума	
С5. Высокое качество наплавленного слоя	
Слабые стороны НТИ	Угрозы внешней среды
Сл1. Опасность неравномерного распределения легирующих элементов	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
Сл2. Сложность наплавки на детали сложной формы	
Сл3. Требуется высокая квалификация рабочего персонала	
Сл4. Сложность наплавки на тонкостенные детали	
Сл5. Низкий КПД установки	

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 таблице 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 таблицы 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 скорость 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 таблице 4.4 представлены корреляции слабых сторон проекта и возможностей его реализации.

Таблица 4.4 – Слабые стороны проекта и возможности

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

Из таблицы 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 таблице 4.5 представлены корреляции сильных сторон проекта и угроз его реализации.

Таблица 4.5 – Сильные стороны проекта и угрозы

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

Из таблицы 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 таблице 4.6 представлены корреляции сильных сторон проекта и угроз его реализации.

Таблица 4.6 – Слабые стороны проекта и угрозы

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

Из таблицы 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 НТИ

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 НТИ + руководитель	1
Подбор и изучение литературы	Исполнитель НТИ	15
Приготовление смесей для наплавки	Руководитель	8
Электронно-лучевая наплавка покрытия	Руководитель	2

Изготовление образцов	Исполнитель НТИ + руководитель	3
Шлифовка и полировка образцов	Исполнитель НТИ	5
Исследование микроструктуры	Исполнитель НТИ	6
Абразивный износ	Исполнитель НТИ	5
Измерение микротвердости	Исполнитель НТИ	3
Обработка результатов эксперимента	Исполнитель НТИ	4
Оформление отчета по работе	Исполнитель НТИ	6

На выполнение НТИ 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 трудоёмкость выполнения i -ой работы, чел.-дн.;

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

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

Для установления продолжительности работы в рабочих днях используем формулу:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i},$$

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

$t_{ожі}$ □ 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:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

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

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

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

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

где $T_{\text{кал}}$ – 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 НТИ

№ работ	Вид работ	Исполнители	T_{ki} , 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 НТИ

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.
1	Заготовки (Ст3)	кг	0,5	45	22,5
2	Порошок	кг	0,1	1325	132,5
3	Алмазная паста	кг	0,2	785	157
4	Спирт технический	л	0,5	84	42
5	Резиновый ролик	шт	2	50	100
6	Кварцевый песок	кг	2	19	38
7	Вата	упаковка (50 г)	2	25	50
8	Наждачная бумага	лист	10	20	200
	Итого				742

Источник: прайс-листы организаций, поставляющих представленный товар

Для выполнения НТИ 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:

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

где, Ц – цена оборудования;

t – время использования оборудования в НТИ, час;

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

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

Таблица 4.10 – Расчет величины амортизационных отчислений

Тип оборудования	Стоимость, руб.	Срок эксплуатации, лет	Срок использования в НТИ, 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]; $A_{np} = \frac{A_{год}}{365} \cdot t_i \cdot K_{tc}$, где A_{np} - амортизационные отчисления за срок реализации проекта, t_i - срок использования оборудования в НТИ [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 НТИ.

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 период выполнения НИИ, день	14	48
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 30,2 %.

4.6.4 Расчет бюджета затрат НИИ

В таблице 4.12 представлена смета бюджета затрат на НИИ.

Таблица 4.12– Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Порядок расчета
Материальные затраты НИИ	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	21 186,5	$(осн.З.П. + доп.З.П.) \cdot 0,302$ $(62 637,6 + 7 516,5) \cdot 0,302$
Затраты на научные и производственные командировки	-	-
Контрагентские расходы	-	-
Накладные расходы	13 875,9	$(сумма пунктов 1-7) \cdot 0,16$ $(742 + 5 479 + 62 637,6 + 7 516,5 + 19 011,8 + 0 + 0) \cdot 0,16 =$

		97 036,9*0,16
Бюджет затрат НТИ	111 961,5	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 НТИ и исполнитель НТИ. Общий бюджет НТИ составил 111 961,5 рубль.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ81	Шмаков Василий Валерьевич

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	ОМ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	22.04.01 Материаловедение и технологии материалов

Тема ВКР:

Создание износостойких покрытий, наплавленных в пучке релятивистских электронов	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p><i>Объектом исследования является создание износостойких покрытий, наплавленных в пучке релятивистских электронов. В работе используются образцы, полученные методом вневакуумной электродуговой наплавки.</i></p> <p><i>Описание рабочего места: кабинет 48м², 4 светильника, система центрального отопления, естественная вентиляция, дополнительный прогрев в холодное время года, стол, стул, ПК.</i></p> <p><i>Область применения: результаты могут быть использованы при упрочнении деталей машин и механизмов, работающих в условиях абразивного изнашивания или агрессивных сред.</i></p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	<p><i>Правовое обеспечение и организационные мероприятия согласно ГОСТ 12.4.299-2015 и ТК РФ от 30.12.2001 N 197-ФЗ: режим рабочего времени, отдыха, технического перерыва.</i></p> <p><i>Законодательные и нормативные документы по теме:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <i>ГОСТ 12.0.003-2015;</i> <i>СанПиН 2.2.4.548-96;</i> <i>СП 52.13330.2016 СНиП 23-05-95;</i> <i>СанПиН 2.2.4.3359-16;</i> <i>СН 2.2.4/2.1.8.566-96;</i> <i>ГОСТ 22269-76;</i> <i>СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03;</i> <i>ГОСТ 12.1.038-82.</i>
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<p><i>Выявить вредные факторы в лаборатории (при проведении научного исследования): электрические и магнитные поля ПК; показатели микроклимата: освещенность, шум, вибрации.</i></p> <p><i>Выявить вредные вещества: кислоты, дисперсные частицы металлов.</i></p> <p><i>Разработать мероприятия по их предотвращению: проектирование и расчет освещения.</i></p> <p><i>Рассмотреть:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <i>- влияние психофизиологических факторов: монотонность труда, физические и эмоциональные перегрузки, умственное перенапряжение;</i> <i>- предлагаемые средства защиты для работы в химической лаборатории: коллективная защита (вытяжные шкафы, вентиляция); индивидуальные средства защиты (перчатки, спецодежда, респираторы, маски, очки).</i> <p><i>Выявить опасные факторы, относящиеся к оборудованию: электрический ток, короткое замыкание, механические повреждения.</i></p>
3. Экологическая безопасность:	<p><i>Рассмотреть:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <i>- необходимость мероприятий по утилизации испытанных образцов;</i> <i>- необходимость мероприятий по утилизации электроники, макулатуры, батареек, люминесцентных ламп.</i>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<p><i>Определить перечень наиболее возможных ЧС: пожар.</i></p> <p><i>Наиболее актуальная ЧС – возникновение пожара;</i></p> <p><i>Рассмотреть профилактические мероприятия, требования к безопасности и меры по ликвидации последствий ЧС:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <i>- использование огнетушителей, силовых щитов для возможности мгновенного обесточивания.</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	02.03.20
--	----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ООД	Романцов Игорь Иванович	к. т. н.		02.03.20

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ81	Шмаков Василий Валерьевич		02.03.20

5 Социальная ответственность

В основных положениях экономического и социального развития наряду с интенсификацией работ по созданию высокоэффективного оборудования и материалов, новых технологических процессов немалую роль отводят вопросам охраны труда, улучшению условий труда.

Первой составной частью безопасности жизнедеятельности является техника безопасности труда. Основным содержанием мероприятий по технике безопасности является профилактика травматизма, т.е. предупреждение несчастных случаев на производстве. Главным направлением в обеспечении безопасности труда является создание высокомеханизированного производства, работа на котором не представляла бы опасности для здоровья человека и организации производства, которая не вызывала бы физического утомления. Важным фактором в возникновении несчастных случаев на производстве является действие на организм человека различных факторов окружающей среды (температура, влажность, загрязненность газами, пылью, вредными парами), уровень освещенности рабочих мест, наличие и интенсивность электромагнитных полей и ионизирующих излучений, шума и т.д.

Второй значительной частью безопасности жизнедеятельности является производственная санитария, основу которой составляет обеспечение санитарно-гигиенических условий труда, предупреждение профзаболеваний и отравлений.

Третьей частью, рассматриваемых статей в безопасности жизнедеятельности, составляет противопожарная техника безопасности. Загорание, пожары и в особенности воспламенения, сопровождающиеся взрывами, приводят к несчастным случаям. Поэтому необходимо строгое соблюдение противопожарного режима на предприятии, а также защита

зданий и сооружений, машин, оборудования и т.д. от возгорания и распространения огня.

Наибольшее место в противопожарной безопасности отводится профилактике. Задача пожарной профилактики состоит в изучении наиболее эффективных методов и средств по их предупреждению, а в случае возникновения пожара - в ликвидации его в кратчайший срок с минимальным ущербом.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Согласно ТК РФ, N 197 - ФЗ каждый работник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- получение достоверной информации от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- обучение безопасным методам и приемам труда за счет средств работодателя;
- личное участие или участие через своих представителей в рассмотрении вопросов, связанных с обеспечением безопасных условий

труда на его рабочем месте, и в расследовании происшедшего с ним несчастного случая на производстве или профессионального заболевания;

- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;

- гарантии и компенсации, установленные в соответствии с настоящим Кодексом, коллективным договором, соглашением, локальным нормативным актом, трудовым договором, если он занят на работах с вредными и (или) опасными условиями труда.

- повышенные или дополнительные гарантии и компенсации за работу на работах с вредными и (или) опасными условиями труда могут устанавливаться коллективным договором, локальным нормативным актом с учетом финансово-экономического положения работодателя.

Основным объектом в производственных условиях является рабочее место, представляющее собой в общем случае пространство, в котором может находиться человек при выполнении производственного процесса. Рабочее место является основной подсистемой производственного процесса.

5.2 Производственная безопасность

Производственной санитарией называют комплекс мероприятий гигиенического, санитарно-технического и организационного характеров. Эта система мероприятий направлена на снижение влияния вредных производственных факторов на рабочих.

Для идентификации потенциальных факторов использован ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы	Этапы работ	Нормативные
---------	-------------	-------------

(ГОСТ 12.0.003-2015)	Проведение испытания	Обработка данных	Анализ результатов	документы
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [41]
2. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	-	Требования к освещению устанавливаются СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*[42]
3. Превышение уровня шума	+	-	-	СанПиН 2.2.4.3359-16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах [43]
4. Вибрации	+	-	-	СН 2.2.4/2.1.8.566-96 Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Санитарные нормы [44]
5. Вредные факторы, действующие на оператора ПК	+	+	+	ГОСТ 22269-76 Система "Человек-машина". Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования; СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы [45]
6. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	-	-	ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов (с Изменением N 1) [46]

Часть работы выполнялась с применением персонального компьютера (ПК). Факторы, действующие на оператора приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Вредные факторы, действующие на оператора ПК

Факторы, действующие на оператора ПК (ГОСТ 22269-76)		Характер воздействия
Физические	Переменное электромагнитное поле	Генерируется как системным блоком, так и монитором. Спектр излучения очень широк. Пагубное влияние на костные ткани

	Электромагнитное излучение монитора	Ухудшение зрения, повышение утомляемости, усиление аллергических реакций
	Электростатическое поле	Онкологические заболевания кожи
	Освещенность рабочей зоны	Утомляемость зрения, явление световой и темновой адаптации
Психофизиологические	Перенапряжение умственное и зрительных анализаторов, монотонность труда	Обострение сердечно-сосудистых заболеваний, ослабление умственных способностей, снижение физического тонуса

Мероприятия производственной санитарии должны привести к следующим параметрам:

- оздоровлению воздушной среды,
- стабилизации параметров микроклимата рабочей зоны,
- защите от шума,
- защите от вибраций,
- соблюдению нормативов организации освещения рабочего места,
- содержанию территории предприятия в состоянии, предусмотренном санитарными требованиями.

5.3 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Воздух, удаляемый системами вентиляции и содержащий пыль, вредные вещества, перед выбросом в атмосферу должен очищаться с тем, чтобы в атмосферном воздухе населенных пунктов не было вредных веществ, превышающих санитарные нормы, а в воздухе, поступающем внутрь помещений, концентрации не превышали величины 0.3 $q_{ПДК}$ для рабочей зоны этих помещений. Предельно допустимые концентрации вредных веществ $q_{ПДК}$ (мг/м³) установлены в ГОСТ 12.1.005 – 99.

Для улучшения воздухообмена в помещении необходимо выполнить следующие технические и санитарно-гигиенические требования:

- 1) количество приточного воздуха должно соответствовать количеству удаляемого;
- 2) приточные и вытяжные системы в помещении должны быть правильно размещены;
- 3) система вентиляции не должна вызывать перегрева или переохлаждения работающих людей;
- 4) система вентиляции не должна создавать шум, превышающий предельно допустимые уровни;
- 5) система вентиляции должна быть электро- пожаро- и взрывобезопасна, проста по устройству и эффективна.

Шлифовальный станок является источником шума и вибраций.

Шум на рабочих местах не должен превышать допустимых уровней, значения которых приведены в ГОСТ 12.1.003 – 99. Для измерительных и аналитических работ в лаборатории это значение не должно превышать 93 дБ, в данной лаборатории уровень шума не превышает 50 дБ. Уровень звука удовлетворяет гигиеническому нормативу, следовательно, на данном рабочем месте условия труда с точки зрения воздействия шума считаются безопасными. Для снижения шума можно применить следующие методы: уменьшение шума в источнике, изменение направленности излучения, акустическая обработка помещения, уменьшение шума на пути его распространения и др.

В соответствии с ГОСТ 12.1.012 – 96 установлены допустимые значения и методы оценки гигиенических характеристик вибраций, определяющих ее воздействие на человека.

Основными методами борьбы с вибрацией оборудования являются: воздействие на источник возбуждения, вибродемпфирование, динамическое гашение колебаний и др.

Применяют средства индивидуальной защиты рук от воздействия вибраций: рукавицы, перчатки, а также виброзащитные прокладки или пластины, которые снабжены креплениями в руке. Общие технические требования к средствам индивидуальной защиты рук от вибраций определены ГОСТ 12.4.002 – 97. Для работающих с вибрирующим оборудованием рекомендуется специальный режим труда.

Требования СН 2.2.4/2.1.8.566-96 устанавливают предельно допустимый уровень (ПДУ) вибрации. Это уровень фактора, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений.

Нормирование технологической вибрации как общей, так и локальной производится в зависимости от её направления в каждой октавной полосе (1,6 – 1000 Гц) со среднеквадратическими виброскоростями $(1,4 - 0,28)10^{-2}$ м/с, и логарифмическими уравнениями виброскорости (115 – 109 дБ), а также виброускорением $(85 - 0,1 \text{ м/с}^2)$. Нормирование общей технологической вибрации производится также в 1/3 октавных полосах частот (1,6 – 80 Гц).

При работе на шлифовальном станке работы с применением сухих веществ по возможности заменяются на работы с увлажненными материалами. Рабочие обеспечиваются спецодеждой, очками, респираторами.

Для ослабления влияния вибрации используются ботинки на специальной подошве, антивибрационные рукавицы.

При приготовлении шлифов применяется алмазная паста, в состав которой входит окись хрома. Окись хрома является очень токсичной. Воздействуя на органы дыхания, она вызывает раздражение слизистой оболочки носа, вызывает насморк, чихание. При воздействии на поврежденную кожу хроматы вызывают изъязвления, в начале

безболезненные, позже болезненные, достигающие больших размеров. При работе с окисью хрома нужно уделять большое внимание защите рук. Для этого предусмотрено: нанесение защитного покрытия профилактическими мазями, мытье рук 5%-ным раствором гипосульфита натрия. С целью предупреждения профессиональных заболеваний, связанных с влиянием хрома на организм, проводят предварительные и периодические медицинские осмотры.

При полировании образцов вдыхание паров реактивов может привести к отравлению, признаками которого являются головная боль, головокружение, сонливость, заболевание бронхитом. Химические реактивы необходимо хранить в специально предназначенном месте, в закрытых банках с этикетками. Остатки и отходы химических веществ перед сливом следует нейтрализовать. Категорически запрещается работать с концентрированными веществами без очков, перчаток. Полировку рекомендуется производить в вытяжном шкафу, или же предусмотреть местную вентиляцию.

Если кислота будет разлита, то ее необходимо засыпать песком, который ее впитает. После уборки песка это место засыпать известью или содой, затем залить водой и вытереть.

Хранить пищу в лаборатории запрещается во избежание отравления.

Основные нормируемые величины на рабочем месте пользователя ПК:

- 1) электрические и магнитные поля ПК (СанПиН 2.2.2.542-96):
 - поверхностный электростатический потенциал - $\leq 500\text{В}$;
 - напряженность переменного электрического поля $f=2\text{Гц}-2\text{кГц}$ - $\leq 25\text{В/м}$;
 - напряженность переменного электрического поля $f=2\text{кГц}-400\text{кГц}$ - $\leq 2.5\text{В/м}$;
 - плотность потока переменного магнитного поля $f=2\text{Гц}-2\text{кГц}$ - $\leq 250\text{нТл}$;

- плотность потока переменного магнитного поля $f=2\text{кГц}-400\text{кГц}$ - $\leq 25\text{нТл}$.

2) показатели микроклимата – для теплого периода года – температура $\leq 23-25^{\circ}\text{C}$, для холодного – $22-24^{\circ}\text{C}$, относительная влажность 40-60%, скорость движения воздуха 0.1 м/с, тепловое облучение 35-100 Вт/м² (СанПиН 2.2.4.548-96);

3) освещенность – в зоне рабочего документа на столе 300-500 лк, яркость светящихся поверхностей, находящихся в поле зрения, ≤ 200 Кд/м², коэффициент пульсации $\leq 5\%$ (СанПиН 2.2.2.542-96);

4) шум – уровень шума при постоянном применении ПК ≤ 50 дБА (ГОСТ 12.1.003-99) [20];

5) инфразвук - ≤ 75 дБ_{Лин} (СН 2.2.4/2.1.8.583-96);

6) вибрация - $\leq 65-75$ дБ (СН 2.2.4/2.1.8.566-96);

7) концентрация аэроионов – $n^+=400-50000\text{см}^{-3}$ $n^-=600-50000\text{см}^{-3}$ (СанПиН 2.2.2.542-96);

8) ионизирующее излучение (радиация) – эквивалентная доза не более 0.1 мбэр/час (СанПиН 2.2.2.542-96).

Кроме того, санитарной нормой, предписано для организационной работы и работы с ПК на одно рабочее место выделить не менее 4,5 м² площади и не менее 15 м³ объема потребляемого воздуха. В кабинете оборудовано 3 рабочих места. Соответственно, при максимальном количестве одновременно работающих в кабинете людей, на одного человека приходится 16 м² площади и 56 м³ объема потребляемого воздуха. Санитарная норма соблюдена, помещение подходит для работы по всем перечисленным выше параметрам.

5.4 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя

Одним из факторов комфортности рабочей среды является организация рабочего места. Рабочее место – это часть помещения предприятия (организации), имеющая площадь и объем, достаточный для размещения инженера и необходимого оборудования. Рабочее место должно соответствовать ГОСТ 12.2.032 – 92:

1) рабочий стол должен быть устойчивым, иметь однотонное неметаллическое покрытие, не обладающее способностью накапливать статическое электричество

2) рабочий стул должен иметь дизайн, исключающий онемение тела из-за нарушения кровообращения при продолжительной работе на рабочем месте

3) рабочее место должно соответствовать техническим требованиям и санитарным нормам.

Рекомендуются следующие цвета окраски помещений (СН 181 –70):

- потолок – белый или светлый цветной;
- стены – сплошные, светло-голубые;
- пол – темно-серый, темно-красный или коричневый.

Среди технических требований к рабочему месту инженера особенно важным является требование к освещенности, которая значительно влияет на эффективность трудового процесса. Поэтому необходимо обеспечить оптимальное сочетание общего и местного освещения.

Нормы естественного освещения установлены с учетом обязательной регулярной очистки стекол световых проемов не реже двух раз в год. Учитывая, что солнечный свет оказывает благоприятное воздействие на организм человека, необходимо максимально продолжительно использовать естественное освещение.

В соответствии с характером выполняемых работ, освещенность рабочего места по СНиП 11-4-79 должна быть 200 лк – общая освещенность и 300 лк – комбинированное освещение.

Ввиду важности данной проблемы для научной деятельности проведем расчет освещения исследовательской лаборатории.

В связи с тем, что проведение экспериментов занимает длительное время, работать в помещении лаборатории приходится как в светлое, так и в темное время суток, что неизбежно обуславливает необходимость использования искусственного освещения.

Производственно-лабораторное освещение, правильно спроектированное и выполненное, предназначено для решения следующих вопросов: оно улучшает условия зрительной работы, снижает утомление, способствует повышению производительности труда, качества выполняемой работы и снижает травматизм на рабочем месте.

Для освещения металлографической лаборатории используется общая система искусственного освещения.

Размеры лаборатории:

- ширина $A=6\text{м}$;
- длина $B=8\text{м}$;
- высота $H=3,5\text{м}$.

Пыли в помещении выделяется мало, стены и потолки бетонные побеленные, пол темный; помещение пожароопасное (категория Д).

Для освещения лаборатории используем светильники типа Л-2010 с люминесцентными лампами ЛБ и ЛД.

$$\text{Площадь помещения } S=A \cdot B=6 \cdot 8=48\text{м}^2$$

По санитарным нормам освещенности помещений находим величину минимально допустимой табличной освещенности E_T , для данного вида работ $E_T=200\text{лк}$. Полученная величина должна быть спроектирована с учетом коэффициента запаса. Описываемое помещение характеризуется малым выделением пыли, дыма и копоти, поэтому $k=1.5$.

$$\text{Тогда расчетная освещенность } E_p=E_T \cdot k=200 \cdot 1.5=300\text{лк}.$$

Приняв свес светильников $h_c=0.2\text{м}$ и высоту рабочей поверхности $h_p=0.8\text{м}$, определим высоту подвеса над рабочей поверхностью:

$$h = H - h_c - h_p = 3.5 - 0.2 - 0.8 = 2.5 \text{ м}$$

Исходя из известных параметров ламп, площади помещения лаборатории, расчетной величины освещенности, высоты подвеса по таблице удельной мощности находим удельную мощность $w = 13.6 \text{ Вт/м}^2$.

Суммарная мощность светильников:

$$P = S \cdot w = 48 \cdot 13.6 = 652.8 \text{ Вт}$$

Так как мощность одного светильника составляет 160 Вт (2 лампы по 80 Вт), то для освещения всего помещения потребуется число светильников:

$$N = P / P_{\text{лампы}} = 652.8 / 160 = 4.08$$

Примем 4 светильника.

Определим наиболее выгодное расстояние между рядами светильников из соотношения $\lambda = L/h$, $\lambda = 1.3$:

$$L = 1.3 \cdot h = 1.3 \cdot 2.5 = 3.25 \text{ м}$$

Установим светильники в 2 ряда. Учитывая, что ширина помещения $A = 6 \text{ м}$, примем расстояние между светильниками 3 метра, а расстояние рядов до ближайших стен 1.5 метра.

Расстояние между осями светильников в ряду:

$$L = B/n = 8/2 = 4 \text{ м}$$

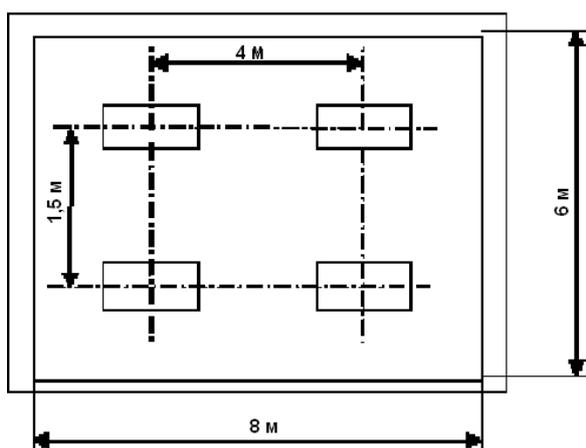


Рисунок 5.1 – Схема расположения светильников

5.5 Экологическая безопасность

Правовые основы обращения с отходами определяет Федеральный закон "Об отходах производства и потребления" от 24.06.1998 N 89-ФЗ (последняя редакция), который преследует две цели:

- предотвращение вредного воздействия отходов на здоровье человека и окружающую природную среду;
- вовлечение отходов в хозяйственный оборот в качестве дополнительных источников сырья.

Утилизация химических источников тока гальванических элементов, аккумуляторов и батарей элементов проводится с целью уменьшения количества токсичных веществ в твердых бытовых отходах. В аккумуляторах содержатся тяжелые металлы, кислоты, щёлочи, которые, попадая в воду или почву, наносят значительный ущерб окружающей среде. На данный момент в России лишь два завода утилизируют их. Один находится в Новосибирске, другой — в Челябинске.

В Томске есть несколько пунктов приема использованных батареек:

- все общежития Томского государственного университета;
- Эльдorado, пр-т. Ленина, 217;
- Ведущая Утилизирующая Компания, пр-т. Комсомольский, 70/1;
- Томская Аккумуляторная Компания, ул. Учебная, 8;
- Чистый мир, ул. Учебная, 35г;
- Экотом, ул. Елизаровых, 49;

Утилизация макулатуры и её последующая переработка приводит к сокращению загрязнения воздуха и воды, снижению количества твердых отходов, а также экономит энергию, воду и первичные ресурсы для производства бумаги.

Пункты приема макулатуры в Томске:

- «Чистый мир», ул. Нахимова, 8, стр. 21
- ООО «Пирс» ул. Трудовая, 11
- ООО «Ресурс» г. Томск, ул. Ракетная, 19

5.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В настоящее время большое внимание уделяется обеспечению жизнедеятельности предприятий в экстремальных условиях.

Чрезвычайные ситуации классифицируют:

- по сфере возникновения (экологические, техногенные и др.);
- по ведомственной сфере (строительные, транспортные);
- по характеру явлений и процессов (пожар, взрыв);
- по масштабу последствий (локальные, глобальные);
- по сложности и тяжести последствий.

Непосредственно в лаборатории могут возникнуть взрыв оборудования и пожар.

Причиной взрыва может стать разгерметизация, искра, удар молнии.

При взрыве образуется очаг взрыва, ударная волна которого способна вызвать масштабные разрушения. Также при взрыве возникает световое излучение – совокупность инфракрасного, ультрафиолетового и видимого излучений.

Пожар – это неконтролируемое горение вне специального очага, наносящее материальный ущерб и приводящее к возможным жертвам.

Причиной пожара в лаборатории может быть:

- нарушение технологического режима;
- короткое замыкание, перегрузки и большие переходные сопротивления;

- износ и коррозия оборудования и др.

Используемый технологический процесс согласно СНиП 11-2-80 относится к категории Д, т.к. использует негорючие вещества в холодном состоянии. В данном случае источником возгорания может оказаться неисправность и неправильная эксплуатация электроустановок.

В зависимости от величины предела огнестойкости строительных конструкций и пределов распространения огня по этим конструкциям здания и сооружения по огнестойкости подразделяют на пять степеней. В нашем случае имеем первую степень огнестойкости.

Опасными факторами пожара являются: высокая температура, открытый огонь и искрение, токсичные продукты горения, дым, снижение концентрации кислорода.

Для повышения пожарной безопасности необходимо проводить профилактические мероприятия, которые включают:

- повышение огнестойкости (облицовка, оштукатуривание);
- зонирование территории;
- противопожарные разрывы между зданиями с учетом огнестойкости;
- противопожарные преграды (тамбуры, шлюзы, брандмауэры);
- наличие путей эвакуации в случае пожара;
- удаление дыма из помещения в случае пожара (дымовые люки, легкобрасываемые панели).

Согласно требованиям противопожарной безопасности СНиП 2.01.02 – 85 предусмотрены средства пожаротушения: огнетушитель ручной углекислотный ОУ-5, пожарный кран с рукавом и ящик с песком. Кроме того, каждое помещение оборудовано системой противопожарной сигнализации. Пожарные извещатели преобразуют неэлектрические физические величины в электрические, которые в виде сигнала определенной формы направляются по проводам на приемную станцию.

На случай возникновения чрезвычайной ситуации должен быть предусмотрен следующий комплекс мероприятий:

- рассредоточение и эвакуация;
- укрытие людей в защитных сооружениях;
- обеспечение индивидуальными средствами защиты;
- организация медицинской помощи пострадавшим.

В чрезвычайной обстановке особенно важное значение имеют сроки эвакуации людей за пределы зон возможного поражения или разрушений. В наиболее короткие сроки эвакуацию можно провести комбинированным способом, который заключается в том, что при его применении массовый вывод населения пешим порядком сочетается с вывозом некоторых категорий населения всеми видами имеющегося транспорта.

Спасательные работы надо начинать немедленно, чтобы не дать возможности аварии разрастись до катастрофических размеров. Очень важно обеспечить общественный порядок, что даст возможность свободному прибытию формирований ГО к месту аварий.

Очень важны действия аварийно-технических формирований, которые немедленно должны отключить еще не поврежденные энергетические и коммунально-технические сети для локализации аварии.

Устойчивость работы объекта в чрезвычайных ситуациях повышается главным образом за счет проведения соответствующих организационно-технических мероприятий, которым всегда предшествует исследование устойчивости конкретного объекта. На устойчивость влияют: район расположения, внутренняя планировка и застройка, готовность персонала к условиям чрезвычайной ситуации и восстановлению объекта после ЧС, технологический процесс.

5.7 Выводы по разделу

Объектом исследования является создание износостойких покрытий, наплавленных в пучке релятивистских электронов. В работе используются образцы, полученные методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки. В данном разделе произведен расчет искусственного освещения, разработаны требования безопасности и комплекс защитных мероприятий на рабочем месте, рассмотрены вредные факторы, действующие на сотрудника лаборатории. Также этот раздел включает подразделы охраны окружающей среды и чрезвычайных ситуаций.

Рабочие места соответствуют нормам. Требования к показателям микроклимата, освещенности, уровня шума и вибраций соблюдены, они находятся в пределах допустимых значений. Для экологической безопасности вреда не несет. Утилизация отходов производства предусмотрена.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Электронно-лучевой вневакуумной наплавкой карбида вольфрама на низкоуглеродистую сталь получены слои толщиной 1,5 - 3 мм, обладающие повышенной твердостью, но низкой износостойкостью, что связано с образованием в их основе хрупких мартенситной и мартенситно-бейнитной структур при плотности энергии излучения < 7 кДж/см² и мартенситно-ферритной структуры, содержащей хрупкую мартенситную и легко изнашиваемую ферритную фазу, при $E > 7$ кДж/см².

2. Введение в наплавочную смесь никеля и карбида титана при глубине наплавленного слоя, не превышающей 2,5 мм ($E < 7$ кДж/см²), приводит к существенному приросту износостойкости при незначительном изменении твердости. Наблюдаемый эффект связан со способностью никеля стабилизировать износостойкую фазу - аустенит и с образованием множества дисперсных выделений TiC, приводящих к формированию мелкозернистой однородной структуры.

Список публикаций студента

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. Перовская М.В., Шмаков В.В., Полетика И.М., 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. Шмаков В.В., Перовская М.В., Полетика И.М., Крылова Т.А. Формирование покрытий с ультрадисперсной структурой методом электронно-лучевой 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.

4. Шмаков В.В., Перовская М.В., Полетика И.М. Создание износостойких покрытий в пучке релятивистских электронов // Современные технологии и материалы новых поколений: сборник докладов Международной конференции с элементами научной школы для молодежи. Томск, 26-30 ноября 2018. – С. 327–329.

Также по результатам работы будут изданы тезисы в сборнике Международной научно-технической молодежной конференции «Перспективные материалы конструкционного и функционального назначения». Конгресс состоится 21-25 сентября 2020 года в Национальном исследовательском Томском политехническом университете.