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

Институт Электронного образования
Специальность Оборудование и технологии сварочного производства
Кафедра Оборудование и технологии сварочного производства

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ/РАБОТА

Тема работы
Особенности формирования структуры наплавленного металла и ЗТВ конструкционной стали в условиях вне вакуумной электронно-лучевой наплавки

УДК 669.15-194.56:533.9

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-4602	Матюшкин А.В.		30.05.2016 г.

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гнюсов С.Ф.	д.т.н., профессор		30.05.2016 г.

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Петухов О.Н.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гуляев М.В.	доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. Кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОТСП	Киселев А.С.	к.т.н., доцент		

Томск – 2016 г.

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

Институт электронного образования
Направление подготовки (специальность) оборудования и технология сварочного производства
Кафедра оборудования и технология сварочного производства

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой ОТСП
_____ _____ Киселев А.С.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Дипломная работа

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

Студенту:

Группа	ФИО
З-4602	Матюшкин Анатолий Владимирович

Тема работы:

Особенности формирования структуры наплавленного металла и ЗТВ конструкционной стали в условиях вне вакуумной электронно-лучевой наплавки	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	3051/С от 20.04.2016 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2016 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе *(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.).*	Комплект образцов из стали 40Х с наплавленным на них слоем порошка стали 10Р6М5 при помощи вне вакуумной электронно-лучевой наплавки, за один и два прохода.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов *(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования;*	1. Аналитический обзор литературы по теме исследования 2. Постановка задачи исследования 3. Объекты и методы исследования 4. Результаты работы 5. Обсуждение результатов выполненной работы

содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	6. Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение 7. Социальная ответственность 8.Заключение
Перечень графического материала *(с точным указанием обязательных чертежей)*	1. Название, цель и задачи работы 2. Материалы и методы исследования 3. Структура поперечного сечения образцов 40Х с наплавленным покрытием 4. Микроструктура в зоне термического влияния основного металла сталь 40Х после наплавки стали 10Р6М5 в один проход 5. Микроструктура в зоне термического влияния основного металла стали 40Х после наплавки стали 10Р6М5 в два прохода 6. Изменение микротвердости по толщине покрытий на стали 40Х после одного и двух проходов электронного пучка 7. Выводы
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы *(с указанием разделов)*	
Раздел	**Консультант**
1. Аналитический обзор литературы по теме исследования 2. Постановка задачи исследования 3. Объект и методы исследования 4. Результаты работы 5. Обсуждение результатов выполненной работы 8.Заключение	Гнюсов Сергей Федорович
6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Петухов Олег Николаевич
7. Социальная ответственность	Гуляев Милий Всеволодович

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	11.01.2016 г.

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гнюсов С.Ф.	д.т.н., проф.		11.01.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-4602	Матюшкин А.В.		11.01.2016

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

Институт _____Электронного образования_____
Направление подготовки 150202 Оборудование и технология сварочного производства__
Уровень образования ____Высшее_____
Кафедра _____Оборудование и технология сварочного производства_____
Период выполнения (весенний семестр 2016 учебного года)_____

Форма представления работы:

Дипломная работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2016 г.

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
12.02.2016	1. Аналитический обзор литературы по теме исследования	10
11.03.2016	2. Постановка задачи исследования	10
29.04.2016	3. Объект и методы исследования	10
25.05.2016	4. Результаты работы	10
25.05.2016	5. Обсуждение результатов выполненной работы	20
05.05.2016	6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
17.05.2016	7 Социальная ответственность	10
25.05.2016	8 Заключение	10
03.06.2016	9 Демонстрационные слайды	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гнюсов С.Ф.	д.т.н., профессор		11.01.2016

СОГЛАСОВАНО:

Зав. Кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОТСП	Киселев А.С.	к.т.н., доцент		11.01.2016

Реферат

Выпускная квалификационная работа –76 страниц, 8 рисунков, 10 таблиц, 40 использованных источников.

Ключевые слова: наплавочный материал на основе порошка быстрорежущий стали 10Р6М5, вне вакуумная электронно-лучевая наплавка, зона термического влияния, микротвердость.

Целью данной работы является изучить особенность формирования структуры и свойств переходной зоны между наплавленным покрытием и основным металлом (сталь 40Х), зоны термического влияния в зависимости от числа проходов релятивистского электронного пучка выведенного в атмосферу.

Предметом исследования является изучение структуры и свойств переходной зоны между наплавленным покрытием и основным металлом и ЗТВ, поскольку от этого зависит работоспособность всего покрытия.

В процессе работы исследовалась микроструктура, микротвердость наплавленных покрытий, полученные за один и два прохода. Для достижения цели были произведены следующие мероприятия:

- обзор литературы по теме, постановка задача и цель исследования;

- подготовлены образцы с наплавкой из стали 10Р6М5, за один и два прохода;

- анализ структуры наплавленного металла в зависимости от количества проходов;

- анализ зоны термического влияния, построен профиль микротвердости;

- анализ микротвердости области наплавленного металла и зоны термического влияния материала подложки;

по проделанной работе сделаны соответствующие выводы.

Определения, обозначения, сокращения и нормативные ссылки

В настоящей работе применены следующие термины с соответствующими определениями.

Аустенит – твёрдый раствор внедренного углерода и других элементов в гране-центрированную кубическую решетку.

Феррит – твёрдый раствор внедренного углерода и других элементов в объемно-центрированную кубическую решетку.

Перлит – эфтектоидная смесь, состоящая из двух фаз – феррита и цементита.

Бейнит – метастабильная смесь феррита и цементита, полученная в результате распада аустенита при температурах ниже перлитного превращения, но выше температуры начала образования мартенсита.

Мартенсит - основная структурная составляющая закалённой стали; представляет собой упорядоченный пересыщенный твердый раствор углерода в α – железзе такой же концентрации, как у исходного аустенита.

В настоящей работе применены следующие обозначения и сокращения:

• ЗТВ - зона термического влияния;

• ХТО - химико-термическая обработка;

• КПЭ - концентрированные потоки энергии;

• α – феррит;

• γ – аустенит.

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

• ГОСТ 12.1.003-83 – Шум. Общие требования безопасности;

• ОСП-72/87 – Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений;

• НРБ-99/2009 – Нормы радиационной безопасности;

• СН 245-71 – Санитарные нормы проектирования промышленных зданий;

• СанПиН 2.2.1/2.1.1.567-96 - Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов.

Оглавление

Введение 9
1 Литературный обзор 11
1.1 Современные композиционные материалы для упрочнения 11
1.1.1 Твердые сплавы 11
1.1.2 Высоколегированные стали и высокохромистые чугуны 13
1.2 Быстрорежущая сталь 10Р6М5 14
1.3 Конструкционная сталь 40Х 18
1.4 Методы упрочнения 20
1.4.1 Лазерная обработка 20
1.4.2 Электронно – лучевая обработка 21
1.4.3 Плазменное поверхностное упрочнение деталей 22
1.5 Современные способы упрочнения поверхности наплавкой 23
1.6 Вакуумная электронно-лучевая наплавка 26
1.7 Вне вакуумная электронно-лучевая наплавка. Постановка задачи 27
2 Материалы и методики исследования 31
3 Экспериментальная часть 33
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 42
4.1 Описание главных, основных и вспомогательных функций, выполняемых объектом 42
4.2 Определение значимости выполняемых функций объектом 43
4.3 Определение значимости функций 47
4.4 Анализ стоимости функций, выполняемых объектом исследования 49
4.5 Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ 49
4.6 Оптимизация функций выполняемых объектом 51
5 Социальная ответственность 54
5.1. Производственная безопасность 54
5.1.1. Анализ выявленных вредных факторов 54
5.1.2. Анализ выявленных опасных факторов 59

5.2. Экологическая безопасность 64
5.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях 65
5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности 70
Выводы 71
Список используемой литературы 73

Введение

В настоящее время детали механизмов и машин в зависимости их назначения изготавливаются из различных марок экономно легированных конструкционных сталей (например, сталь 40Х). Наиболее часто основным выходом их из строя является износ. Поэтому в большинстве случаев рабочие поверхности данных деталей требуют создания упрочненных слоев значительной толщины (от нескольких сотен микрон до 1 - 5 мм). Данные покрытия должны одновременно удовлетворять ряду требований: это износостойкость, жаропрочность, коррозионная стойкость и т.д., т.е. быть бифункциональными [1].

Для восстановления и изготовления новых деталей в настоящее время используют различные методы упрочнения. Это химико-термическая обработка (ХТО), наплавка с использование концентрированных потоков энергии (КПЭ), (имплантация, электронно-лучевая наплавка, плазменная наплавка). Широкое распространение в последнее время получили методы КПЭ для создания многофункциональных покрытий. В частности и ним относятся метод электронно-лучевой наплавки (вакуумная и вне вакуумная).

Эффективным источником с высокой объемной и поверхностной плотностью энергии является поток высокоэнергетичных электронов выведенных в атмосферу. Промышленные ускорители электронов с выводом мощного релятивистского электронного пучка в атмосферу разработаны и производятся в институте ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН. Пучок фокусируется и выпускается в атмосферу через отверстие малого диаметра [2].

Для одновременного удовлетворения данных бифункциональных свойств, при большом количестве теплосмен (нагрев - охлаждение), наиболее подходит наплавочный материал на основе быстрорежущий стали [3]. Работ по исследованию структуры и свойств покрытий на основе быстрорежущей стали и зон термического влияния, формирующихся на основном металле, выполненных многослойной электронно-лучевой наплавкой на открытом

воздухе крайне недостаточно. Это особенно касается изучения структуры и свойств переходной зоны между наплавленным покрытием и основным металлом и ЗТВ, поскольку от этого зависит работоспособность всего покрытия.

Цель работы – изучить особенность формирования структуры и свойств переходной зоны между наплавленным покрытием и основным металлом (сталь 40Х), зоны термического влияния в зависимости от числа проходов релятивистского электронного пучка выведенного в атмосферу.

1 Литературный обзор

1.1 Современные композиционные материалы для упрочнения

1.1.1 Твердые сплавы

Твёрдые сплавы — твёрдые и износостойкие металлокерамические материалы, полученные методами порошковой металлургии, способные сохранять эти свойства при 900—1150 °С. В основном изготовляются из высокотвёрдых и тугоплавких материалов на основе карбидов вольфрама, титана, тантала, хрома, связанные кобальтовой или никелевой металлической связкой, при различном содержании компонентов.

Твёрдые сплавы различают по металлам карбидов, в них присутствующих: вольфрамовые — ВК2, ВК3,ВК3М, ВК4В, ВК6М, ВК6, ВК6В, ВК8, ВК8В, ВК10, ВК15, ВК20, ВК25; титано-вольфрамовые — Т30К4, Т15К6, Т14К8, Т5К10, Т5К12В; титано-тантало-вольфрамовые — ТТ7К12, ТТ11К8Б; безвольфрамовые ТНМ20, ТНМ25, ТНМ30.

Твёрдые сплавы, применяемые для обработки металлов резанием: ВК6, ВКЗМ, ВК6М, ВК60М, ВК8, ВК10ХОМ, Т30К4, Т15К6, Т14К8, Т5К10, ТТ7К12, ТТ20К9.

Твёрдые сплавы, применяемые для бесстружковой обработки металлов и древесины, быстроизнашивающихся деталей машин, приборов и приспособлений: ВКЗ, ВКЗМ, ВК6, ВК6М, ВК8, ВК15, ВК20, ВК10КС. ВК20КС.

Твёрдые сплавы, применяемые для оснащения горного инструмента: ВК6В, ВК4В, ВК8ВК, ВК8, ВК10КС, ВК8В,ВК11ВК,ВК15.

Твердый сплав с размером частиц карбида вольфрама 0,5-2мкм, и массовой долей вещества связки 6-8% кобальта имел самое высокое сопротивление против комбинированного ударно-абразивного износа. Если энергии удара выше то, несомненно, карбид вольфрама с большими размерами частиц и более высоким содержанием связующего вещества обеспечивает самую низкую скорость износа [4-5].

Величина ударно-абразивного износа твердого сплава значительным образом регулируется посредством содержания связующего вещества и размера частиц карбида вольфрама. Для обеспечения достаточной пластичности твердый сплав содержит определенное количество связующего вещества, в то же время это благоприятно для внедрения частиц абразива между зерен карбида вольфрама. Зерна среднего размера необходимы для защиты механически контактного слоя через механическую блокировку.

Толщина механически смешанного слоя над упрочненным слоем ниже его не превышает одного, двух размеров карбидных зерен соответственно.

Испытания по образованию лунки посредством шара доказало, что является эффективным способом для исследования стойкости к абразивному износу, и изучения механизмов абразивного изнашивания возникающих в твердых сплавах на основе карбида вольфрама [4]. Все образцы показали связь между абразивным износом и твердостью (стойкость напрямую зависит от сопротивления материала к изнашиванию абразивными частицами).

При условиях низкого нагружения было выявлено, что стойкость к абразивному износу твердых сплавов на основе карбида вольфрама была более взаимосвязана с твёрдостью частиц, чем с вязкостью разрушения. Высокая стойкость к абразивному износу взаимосвязана с частым присутствием η-фазы которая имеет более высокую твердость по сравнению с основным составом твердого сплава[4].

При ручной дуговой наплавке износостойких покрытий учитывались 3 основных фактора, таких как связующий материал (низкоуглеродистая феррито-перлитная или аустенитная нержавеющая сталь) содержание карбида вольфрама (WC), размер зерна (WC) [5].

Твердость упрочненного слоя и сопротивление износу при содержании карбида вольфрама (WC) меньше 40% при ручной дуговой наплавке электродами с сердечником из нержавеющей сварочной проволоки, ниже, по сравнению с упрочненным слоем нанесенным электродами с

сердечником из низкоуглеродистой стали, при равном содержании карбида вольфрама в обмазке электрода.

Содержание 13-20% массовой доли карбида вольфрама (WC) в наплавленном слое, нанесенным трубчатым электродом из низкоуглеродистой стали с порошком карбида вольфрама, позволяет уменьшить скорость износа на половину. Дальнейшее увеличение содержания карбида вольфрама (WC) является невыгодным [5].

Содержание частиц карбида вольфрама (WC) в упрочненном слое менее 42% массовой доли, выполненные электродами с сердечником из нержавеющей стали является невыгодным, а содержание (WC) ниже 13% массовой доли даже убыточным.

Ручная дуговая наплавка износостойких покрытий с среднем размером частиц карбида вольфрама (WC) 135 мкм имела самую низкую скорость износа среди изучаемых материалов в диапазоне размеров от 23 мкм до 458 мкм.

При формировании износостойких покрытий ручной дуговой наплавкой требуется много усилий для обеспечения однородного распределения частиц (WC), снижения их растворения и образования непрочных вредных фаз, что напрямую зависит от квалификации сварщика и режимов наплавки[5].

1.1.2 Высоколегированные стали и высокохромистые чугуны

В [6] были рассмотрены экспериментальные исследования, касающиеся характеристик царапанья и истирания ферритно-мартенситных двухфазных микроструктур низколегированной стали, подвергнутых термообработке для получения различных структур. Эффект упрочнения ферритно-мартенситной структурой на устойчивость к истиранию зависит от рабочего режима при одинаковой твёрдости. При малом нагружении на образцы с режимом термообработки, преобладающие относительно грубые зернистые мартенситные участки, показали более высокую твердость по

Моосу и устойчивость к истиранию, в то время как образцы с режимом термообработки при более высокой температуре с однородным мелкозернистым мартенситом демонстрируют худшие показатели. Твердость по Моосу образцов с режимом термообработки с мелкозернистыми мартенситными участками находится на среднем уровне. Однако, при условиях высокого нагружения, все двухфазные структуры показывают средние уровни твёрдости по Моосу, под воздействием мартенситной доли. Изменение строения микроструктуры посредством адаптации режимов термообработки является выгодным параметром для получения материалов с меньшей макро твёрдостью при сохранение твёрдости по Моосу и устойчивости к истиранию. Двухфазные стали с мелкозернистыми мартенситными участками являются лучшей микроструктурой для износостойкой стали в условиях умеренного нагружения, тогда как при агрессивных режимах работы двухфазные стали с мелкозернистыми мартенситными структурами более предпочтительны [6].

1.2 Быстрорежущая сталь 10Р6М5

Под быстрорежущими понимаются стали, из которых изготавливаются режущие инструменты, работающие при высоких скоростях резания. Быстрорежущая сталь в первую очередь должна обладать высокой горячей твердостью и прочно стойкостью.

При обработке резанием тело обрабатываемого изделия истирает заднюю поверхность инструмента, а стружка переднюю, сбегая по ней. Продолжительность работы инструмента зависит от того, как быстро изнашивается рабочая поверхность, а это в свою очередь зависит от износостойкости быстрорежущей стали в нагретом состоянии и от степени нагрева [7].

Температура разогрева зависит от условий резания. Чем производительнее работает инструмент, тем больше он снимает стружки в единицу времени; чем выше сопротивление материала резанию, тем сильнее

идет разогрев режущей крошки. Если под действием этих температур сталь инструмента не размягчается, инструмент долгое время сохраняет износостойкость и режущие свойства.

Износостойкость режущего инструмента характеризуется твердостью в нагретом состоянии. Следовательно, сталь для режущего инструмента должна иметь высокую твердость при повышенных температурах. У быстрорежущей стали высокая твердость сохраняется при нагреве до 500-600◦С.

Следует отметить высокая твердость инструментальной стали необходима во всех случаях, но для быстрорежущего инструмента требуется высокая твердость не только в холодном состоянии, но и при повышенных температурах. Нагрев всегда вызывает снижении твердости, но если при этом не происходит структурных изменений, то либо снижение твердости обратимо, т.е. при изменении температуры к исходной восстанавливается и прежняя твердость. Сопротивление стали необходимым структурным изменениям при повышенных температурах называется красностойкостью [7].

Чтобы сталь устойчиво сохраняла твердость при нагреве, требуется её легирование элементами, которые затрудняют процесс коагуляции карбидов.

При добавлении в сплав карбидообразующих элементов в таком количестве, что он образует специальный карбид, то красностойкость скачкообразно возрастает. Специальный карбид, выделяясь из мартенсита, коагулирует при более высоких температурах, чем карбид железа, и так как для этого требуется не только диффузия углерода, но и диффузия легирующих элементов. Практически заметная коагуляция карбидов вольфрама, молибдена, хрома или других элементов происходит при температуре выше 500◦С.

И таким образом, красностойкость создается легированием стали (W, Cr, Mo, V) в таком количестве, при котором они связывают почти весь углерод в специальные карбиды.

Все быстрорежущие стали выделяются буквой Р, цифры после этой буквы показывают содержание основного легированного элемента – вольфрама. Хрома во всех сталях содержится около 4%, а углерода с содержанием ванадия (см. таблицу 1.1) [3].

Таблица 1.1 - химический состав стали 10Р6М5 [3].

C,%	Cr,%	W,%	Mo,%	V,%	Si,%	Mn,%	Ni,%	S,%	O_2,%	Fe
1	4	6,5	5	1,5	<0,5	<0,55	<0,4	<0,03	<0,03	Основа

Повышение углерода на 0.2%, по сравнению с принятым в сталях с умеренной теплостойкостью, при условии, что содержание V сохраняется до 2%, не изменяет температуры начала α→γ - превращения. Оно сопровождается ростом количества карбида Me_6C и более легкорастворимого карбида $Me_{23}C_6$ и увеличением в них концентрации углерода. Сталь при нагреве для закалки α→γ - переходе получает аустенит более насыщенный углеродом. Это способствует усилению дисперсионного твердения при отпуске, повышая вторичную твердость до 65-66 HRC и несколько меньшую теплостойкость 625-630^{o}C. При этом износостойкость возрастает в результате повышения твердости отпущенного мартенсита [7].

Сталь с содержанием 1% углерода по структурному признаку становиться эвтектоидной. При нагреве выше линии A_1 область α фазы выключается и металлическая основа уже при 840-860^{o}C полностью получает аустенитную структуру.

Насыщение углеродом и легирующими элементами происходит равномернее в отдельных объемах, и аустенит получает более однородную концентрацию. Дисперсионное твердение при отпуске стали с таким твердым раствором протекает в более узком интервале, вследствие чего на кривой изменения твердости сталей с содержанием углерода 1% наблюдается более резкий максимум, чем у сталей с содержанием углерода 0,7-0,9%.

Более интенсивное выделение карбидов приводит к падению прочности и вязкости. Оно сильнее у вольфрамовых сталей и гораздо меньше

у вольфрамомолибденовых сталей. Вследствие вышесказанного механические свойства вольфрамомолибденовых сталей с содержание углерода 1% значительно выше, чем вольфрамовых. Следовательно, необходимо повышать содержание углерода в вольфрамомолибденовых сталях [8].

Однако увеличение концентрации углерода выше 1-1,1% не целесообразно. В этом случае излишне растет количество карбидной фазы, снижается вязкость и прочность, но и образуются карбиды M_3C, снижающие теплостойкость и МС, ухудшающие шлифуемость.

В результате повышения содержания углерода до 0,95-1,05% наряду с указанным небольшим возрастанием теплостойкости, улучшается устойчивость стали в области обратимого разупрочнения при нагреве, и увеличивается износостойкость. В связи с этим повышается стойкость инструментов при резании с меньшей скоростью, это, главным образом, зенкеры, развертки, метчики, сверла, которые работают в условиях повышенного износа или должны сохранять более высокую размерную стойкость, а также при резании более твердых металлов (220-250 НВ). Стойкость таких инструментов возрастает в 1,5-1,8 раза.

Прочность и вязкость сталей в зависимости от динамических нагрузок при резании можно легко варьировать изменением твердости в пределах 65,5-66,5 HRC и температуры закалки [8].

Заметный рост зерна этих сталей при температурах на 25-30^{o}C более низких, чем сталей с содержанием 0,7-0,9% углерода. Температуры закалки должна быть соответственно ниже.

Обезуглероживание стали 10Р6М5 менее интенсивно, чем у сталей с содержанием 0,7-0,9% углерода. Это связанно с тем, что потеря углерода в поверхностном слое полнее возмещается диффузией углерода из сердцевины. Устойчивость остаточного аустенита против отпуска немного возрастает. Для стали 10Р6М5 после закалки следует проводить трехкратный отпуск [8].

1.3 Конструкционная сталь 40Х

Прочность соединения наплавленного и основного металла влияют на свойства при эксплуатации данного изделия из-за структурных превращений, произошедших в ЗТВ. Размеры, строение ЗТВ, зависят от теплофизических свойств материала, химического состава, мощности источника теплоты, концентрации, скорости наплавки и многих других факторов. Химический состав стали 40Х приведён в таблице 1.2 [7].

Таблица 1.2 - Химический состав стали 40Х (% вес.) [7].

C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	S	P
				не более			
0,36-0,44	0,17-0,37	0,5-0,87	0,8-1,12	0,30	0,30	0,035	0,035

Сталь 40Х относится к конструкционным улучшаемым, они используются после закалки и высокого отпуска (улучшения). Закалка от 860^{o}С в масле и высокому отпуску при 500^{o}С. После данной обработки сталь приобретает структуру сорбит отпуска. Сталь 40Х работает при многократно прикладываемых нагрузках, имеет малую чувствительность к концентраторам напряжений, достаточный запас вязкости, высокий предел текучести и придел выносливости.

Лучшее сочетание прочности и пластичности достигается после улучшения, если сечение данного изделия соответствует критическому диаметру (95% мартенсита) для данной стали.

Механические свойства стали, закаливаемость зависят от содержания в ней углерода. Прокаливаемость зависит от содержания легирующих элементов. В условиях полной прокаливаемости, от характера легированности, механические свойства мало зависят. Исключением из правил является наличие молибдена и никеля, которые повышают сопротивление стали к хрупкому разрушению. Но не следует стремится к использованию сталей с излишне высокой прокаливаемостью, потому что

необходимое высокое содержание хрома, кремния и марганца будет способствовать повышению склонности к хрупкому разрушению [8].

Глубокопрокаливающиеся легированные стали применяются для массивных деталей большой толщиной стенки или большим диаметром. Если детали работают на кручение (изгиб), распределение напряжений по сечению происходит неравномерно: максимальными они будут на поверхности детали, а в центре или середине будут равны нулю. Эти детали не нуждаются в сквозной прокаливаемости. В данном случае для надёжного обеспечения прочности детали закаленный слой (с структурой 95% мартенсит) должен находиться на глубине не менее ½ радиуса от поверхности. Детали, работающие на растяжение (ответственные болты, шатуны, торсионные валы), должны быть обеспечены сквозной прокаливаемостью по всему сечению детали (в центре 95% мартенсит).

При выборе стали стоит учитывать, что легирующие элементы повышают устойчивость мартенсита при отпуске, поэтому для легированных сталей, чтобы получить заданную твердость и прочность при улучшении подвергают отпуску при боле высоких температурах. Что позволяет в более полной мере снять закалочные напряжения, и получить лучшее сочетание вязкости и прочности.

В таблице 1.3 приведены режимы термообработки, и механические свойства стали 40Х [8].

Таблица 1.3 Термическая обработка и механические свойства стали 40Х, прокаливающиеся в сечениях до 25-35мм [8].

Сталь	Режим термической обработки		σ_B	$\sigma_{0.2}$	δ	ψ	$a_н$, МДж/см^2	Порог хладноломкости, ^{o}С	
	$t_{зак}$, ^{o}С,среда	$T_{отп}$, ^{o}С,среда	МПа		%			t_B	t_H
40Х	860, м.	500, в.м.	980	780	10	45	59	0	-100

Примечание: в.- вода, м.-масло, t_B- температура, выше которой излом полностью вязкий, t_H- температура, ниже которой излом полностью хрупкий.

Легированные конструкционные стали имеют повышенную анизотропию свойств, т.е. свойства имеют различия от направления деформации при прокатке или ковке. Уменьшение анизотропии свойств получают металлургическими способами (уменьшением в сталях не металлических включений, сульфидов, изменением условий пластической деформации).

Сталь 40Х является малолегированной и обеспечивает прокаливаемость в больших сечениях, чем соответствующие углеродистые стали.

Хром не оказывает большого влияния на разупрочнение при отпуске, однако он увеличивает склонность стали к отпускной хрупкости. И поэтому изделие из стали 40Х после высокого отпуска стоит охлаждать в масле или воде, не допускается их охлаждение после отпуска вместе с печью. Легирование хромом не увеличивает склонность стали к росту аустенитного зерна [9]. Изначально сталь 40Х поставляется в отожженном состояние со структурой феррит плюс перлит.

1.4 Методы упрочнения

В настоящее время в машиностроение в деталях высоконагруженных машин существуют проблемы быстрого износа рабочих поверхностей шестерен, валов и т.д. Для увеличения срока эксплуатации, экономии средств на проведение ремонтов, во время изготовления (ремонта) детали которые существенно увеличивают срок службы машин и механизмов, рабочая поверхность упрочняется разными способами в, том числе, путём обработки источниками КПЭ.

1.4.1 Лазерная обработка

Сущность метода лазерного упрочнения является быстрый нагрев до высоких температур (температура плавления) поверхностного слоя металла с последующим быстрым охлаждением путём отвода тепла в основной массив

изделия, который в процессе упрочнения остаётся практически холодным [11-13].

Возможно нагревать изделия до необходимого повышения температуры и более стандартными методами - в термической или индукционной печи. Но эти методы зачастую являются непригодными из-за неоднородности нагрева. Кроме того, в крупногабаритных деталях очень часто необходимо подвергнуть закалке только часть поверхности, а не всю деталь целиком. Поверхностную термообработку лазерным лучом можно выполнить с оплавлением и без оплавления поверхностного слоя. Чаще всего используют обработку без оплавления с сохранением исходной шероховатости. Глубина упрочняемого слоя металла определяется величиной допустимого линейного износа.

Возможна обработка дорожками перекрывающимися и неперекрывающимися. При наложении перекрывающимися дорожками происходит нагрев предыдущей упрочненной зоны, что может привести к отпуску и снижению твердости. При обработке неперекрывающимися дорожками зазор между ними составляет 10-30 % от площади обрабатываемой поверхности, износостойкость увеличивается в 2-3 раза [11-13].

1.4.2 Электронно – лучевая обработка

При этом методе обработка нагрев поверхности производится мощным пучком электронов в вакууме. Недостатком данного способа является, мощное ионизирующее излучение из-за чего требуется защита оператора, что препятствует широкому распространению данного способа поверхностного упрочнения [10-13].

Данный способ имеет преимущество по сравнению с лазерной обработкой:

1. меньшая стоимость;
2. более высокий КПД;

3. более высокая мощность.

1.4.3 Плазменное поверхностное упрочнение деталей

Один из наиболее перспективных видов поверхностного упрочнения является обработка плазменной дугой, данная технология интенсивно разрабатывается в России, так и за рубежом. Использование низкотемпературной плазмы эффективно не только для переплава сплавов и металлов; напыления жаропрочных, коррозионностойких и износостойких покрытий, резки, сварки различных материалов но и для поверхностного упрочнения различных изделий [14-16].

Упрочнение поверхности плазмой находит широкое применение как в условиях единичного и мелкосерийного (в том числе и ремонтного), так и массово и крупносерийного производства. Сущность заключается в, термических, фазовых и структурных превращениях, происходящих при быстром и концентрированном нагреве поверхности детали плазменной струёй (дугой) и последующем теплоотводе в массив детали.

Есть несколько способов поверхностного плазменного упрочнения: без оплавления поверхности, с оплавлением поверхности, с зазором между упрочненными зонами и без зазора (с перекрытием), а так же химико-термическая плазменная обработка. Плазменное упрочнение поверхности без оплавления распространено для стальных деталей, так как обеспечивает неизменным качество поверхности (величины шероховатости), достигнутой предшествующей механической обработки.

Упрочнение с оплавлением поверхности чугунных и стальных изделий, когда необходимо получить особые эксплуатационные свойства. Например, обработка черновых валков прокатных станов горячей прокатки, к шероховатости поверхности которых не предъявляются высокие требования качества. При обработке чугунных изделий на поверхности образуется слой с высокой износостойкостью [15-21].

Упрочнение плазменной дугой без перекрытия предыдущего обработанного участка приводит к равномерному распределению твёрдости на участке, обработанном плазменной дугой. А если плазменное упрочнение производится с перекрытием предыдущего упрочненного участка, образуются зоны неравномерной твердости из-за отпуска в местах перекрытия.

Возможна и химико-термическая обработка, определяется она родом газа для образования плазменной дуги, например азотирование. При данном способе в качестве плазмообразующего газа используют смесь аргона с азотом.

Существует и технология комплексного упрочнения, включающая в себя предварительную или последующую объемную термическую обработку и плазменное упрочнение: закалку в ТВЧ и плазменную обработку [20-24].

1.5 Современные способы упрочнения поверхности наплавкой

В ремонте деталей хорошо зарекомендовали себя различные способы наплавки, часто используемые при ремонте вышедших из строя машин и механизмов. Существует множество способов нанесения покрытий на поверхность, таких как.

1. Электродуговая наплавка может производиться под слоем флюса, в атмосфере защитных газов и открытой дугой. Наплавка под слоем флюса производится в тех случаях, если поверхность детали сильно изношена. Она имеет высокую производительность и однородность наплавленного металла. Но так же приводит к негативным изменениям в основном металле из-за высоких тепловложений [24-26].

Электродуговая наплавка в среде защитных газов, в основном используют CO_2, применяют для восстановления различных деталей, и имеет ряд преимуществ таких как: наплавка слоя не больших толщин, хорошая видимость сварочной ванны и зоны горения дуги, дешевизна защитного газа и.т.д. В качестве наплавлямого материала широко используют ленточный

электрод, электродную проволоку. Для наплавки износостойких покрытий используют порошковую проволоку [23-27].

Основным видом недостатка при наплавке в среде CO_2 является сильное разбрызгивание металла сварочной ванны.

При электродуговой наплавке открытой дугой имеются следующие преимущества перед способами наплавки под слоем флюса и в среде защитного газа, - отпадает необходимость в специальной защиты сварочной ванны. Это происходит из-за применения специальных материалов таких, как порошковые проволоки, в состав которой входят защитные шлако- и газообразующие вещества.

2. Электроконтактная наплавка, ее сущность заключается в том, что при одновременном деформировании наплавляемого слоя и поверхностного слоя детали, нагретыые в месте деформации до пластического состояния короткими импульсами тока. Имеет ряд преимуществ перед электродуговой наплавкой: увеличение производительности труда, уменьшение зоны термического влияния, улучшение условий труда и уменьшение энергозатрат при наплавке, экономию расхода металла на припуск при механической обработке, в качестве наплавляемого материала можно использовать ленту, проволоку, порошки [28].

3. Вибродуговая наплавка. Процесс основан на использовании теплоты кратковременной дуги, возникающей в момент разрыва цепи между вибрирующим с постоянной амплитудой и частотой электродом и наплавляемой поверхностью. По сравнению со способом восстановления электродуговой наплавкой она имеет ряд преимуществ, она имеет меньшую зону термического влияния и значения деформаций, позволяет получить тонкие слои наплавляемого металла (0,5-1 мм) [29].

4. Плазменная наплавка. При этом методе используют теплоту струи плазмы, представляющую собой струю сильно разогретого ионизированного газа разогретого до температуры 15000-20000^{o}C. Она образуется путем вдувания в электрическую дугу плазмообразующего газа и обжатия струи

соплом с водоохлаждением. Так же может использоваться поток другого газа, окружающий струю плазмы для защиты сварочной ванны от окружающей атмосферы. В качестве присадочного материала используют металлический порошок или проволоку. Порошок нашел широкое применение, в значительной мере увеличивает износостойкость и продлевает срок службы восстановленной детали [29,30].

5. Газовую наплавку производят путём расплавления порошкового наплавочного материала или пруткового в газокислородном пламени горелки. Она находит широкое применение при восстановлении и упрочнение деталей твердым порошком самофлюсующихся материалов. Преимущество этого способа восстановления деталей – возможность получения равномерных по толщине гладких слоёв наплавленного металла и минимальный припуск на механическую обработку [31].

6. Лазерная наплавка. Этот способ восстановления изношенных деталей производят при помощи светового лазерного луча получаемого при использовании оптического квантового генератора. В виду узкой направленности лазерного луча и высокой плотности выделяемой энергии в зоне его воздействия на металл, возможность наплавлять любые материалы. Сущность данного способа состоит в том, что при нанесении порошковой смеси на восстанавливаемую поверхность и в последующей её обработки лазерным излучением. Локальная фокусировка лазерного излучения позволяет проводить наплавку в труднодоступных местах и при этом исходная структура почти не изменяется, таким образом, удается достичь высокой износостойкости, предела усталости.

Достоинства данного метода скорость наплавки и локальность, так как уменьшают перегрев металла и в следствии искажение её формы. Высокая производительность, низкая энергоёмкость и малые потери наплавляемого материала делают очень перспективным способом восстановления деталей [32-34].

1.6 Вакуумная электронно-лучевая наплавка

Вопросы вакуумной наплавки в пучке электронов с использованием порошковых материалов рассматривались работами многих авторов.

В институте физики прочности и материаловедения (ИФПМ) СО РАН разработана высокоэффективная технология электронно-лучевой наплавки в вакууме, позволяющая создавать высококачественные покрытия с мелкозернистой структурой и минимальной пористостью (менее 1%).

В качестве метода формирования упрочненного слоя эффективной является технология электронно-лучевой наплавки (ЭЛН) в вакууме. ЭЛН обладает рядом преимуществ отличающих её от других методов нанесения покрытий:

1) благодаря вакуумной среде, в которой проходит наплавка, осуществляется рафинирование наплавленного металла;

2) возможность плавной и точной регулировки мощности электронного луча в широких пределах позволяет проводить наплавку с минимальным проплавлением основного металла, сохраняя неизменный химический состав наплавленного металла;

3) простота технической реализации сканирования электронного луча позволяет задавать необходимые размеры наплавочной ванны путем изменения длины развертки электронного луча и наряду с плавной регулировкой мощности легко управлять технологическими параметрами процесса наплавки;

4) небольшие размеры ванны расплава, концентрированный ввод энергии до 10^5 Вт/см^2 и значительный перегрев ванны в зоне действия электронного луча способствует растворению твердых частиц в сварочной ванне, а минимальное время её существования за счет быстрого теплоотвода и большей скорости охлаждения (до 10^4 К/с) расплавленного металла формируют пересыщенный раствор легирующих элементов в матрице [34-38].

Для ЭЛН в вакууме пригодны порошки дисперсностью 100−350 мкм. При дисперсности меньше 100 мкм порошки не достаточно сыпучи в вакууме, разлетаются под влиянием паров ванны и поэтому трудно обеспечить их подачу непосредственно в ванну расплава. Для расплавления порошков больше 350 мкм требуется больше энергии, что приводит к дополнительно проплавлению основного металла, увеличению остаточных напряжений и росту зерна в покрытии [10-18].

Особого внимания заслуживает электронно-лучевая наплавка методом релятивиского пучка электронов выведенного в атмосферу.

1.7 Вне вакуумная электронно-лучевая наплавка. Постановка задачи

Особого внимания заслуживает электронно-лучевая наплавка методом релятивиского пучка электронов выведенного в атмосферу. Ускорители электронов, созданные в Институте ядерной физики (ИЯФ) СО РАН, обеспечивают глубокое проникновение электронов в металлы с высокую скорость обработки поверхности (1....5 см/с). Глубина проплавления колеблется от 0,1 до 10 мм. Электромагнитная развертка может отклонять пучок на угол 45^{o} от вертикали, что обеспечивает обработку полос разной ширины на изделиях. Расстояние от выпускного отверстия пучка до обрабатываемого изделия обычно не превышает 150 мм. Наиболее частое расстояние, используемое при закалке и наплавке - 90 мм. Легирующие элементы или химические соединения (карбиды, оксиды, бориды и т.д.) в виде смеси с флюсом наноситься на поверхность непосредственно перед обработкой [8].

Новым методом повышения твердости поверхности является поверхностная наплавка и легирование на воздухе в пучке высокоэнергетических релятивистских электронов. При этом линейная производительность обработки достигает 0,20 м/с, а при сканировании электронного луча - 20 $см^2$/с [10-18].

Для получения наплавленных поверхностных слоев с высокими эксплуатационными характеристиками основным является выбор наплавляемых легирующих компонентов. Для наплавки образцов, стойких против абразивного изнашивания, в качестве материалов широко применяют сплавы на основе карбидов WC, B_4C, TiC, TaC, CrC, содержащие Cr, C и B, что позволяет формировать на поверхности гетерогенную структуру, обладающую за счет выделения карбидов и карбоборидов особенно высокой твердостью и износостойкостью. В случае лазерного легирования железа и сталей порошками карбидов и смесями ВК3, ВК5 и Т15К6, наибольшая стойкость и износостойкость наблюдается при выделении твердых тугоплавких соединений WC, TiC, VC, CrC, CrB_2. При электронно-лучевой вакуумной наплавке и легировании наилучшими свойствами обладают слои с заэвтектической структурой, содержащие выделение карбидной фазы Me_6C, Me_2C, MeC, Me_7C. К получению такой структуры стараются применять такие же материалы при вне вакуумной электронно-лучевой наплавке [10-18].

Исходя из литературного обзора, в настоящее время широко исследуются возможности использования КПЭ для упрочнения рабочих поверхностей деталей механизмов и машин. К КПЭ относятся: электронно-лучевая вакуумная и вне вакуумная, лазерная и плазменная наплавка, но особое внимание уделяется вне вакуумной электронно-лучевой наплавке. Это связано с тем, что данный способ позволяет модифицировать рабочие поверхности изделий, создавая в наплавочном слое неравновесные структуры которые способствуют увеличению износостойкости к абразивным частицам. Соответствующий метод основан на высокоскоростной закалке наплавочных слоев из жидкого состояния со скоростью охлаждения от ~ 10^4 до ~ 10^9 К/с. При воздействии вне вакуумной наплавки в наплавочных покрытиях в течении тысячных долей секунды происходит сложный комплекс структурных и фазовых превращений.

В качестве наплавочного материала широко начинают использовать композиционные покрытия на основе мартенситных, мартенситно-

аустенитных и аустенитных сталей. В качестве упрочняющей фазы применяют карбиды, бориды или карбобориды металлов. Широко себя зарекомендовала в качестве композиционного покрытия быстрорежущая сталь. При реализуемых в условиях электронно-лучевой наплавке скоростях нагрева и охлаждения в данной стали возможно сохранить некоторое количество остаточного аустенита и растворить большое количество упрочняющей фазы в твердом растворе. Многопроходная наплавка позволит частично обеспечить старение ранее наплавленных слоев (выделение дисперсных упрочняющих частиц), что может существенно увеличить их износостойкость [10-18].

В тоже время остается открытым вопрос о границе сплавления наплавленного слоя с основным металлом и формируемой ЗТВ в нем. С учетом того, что наплавку проводят на среднеуглеродистые легированные стали, которые подвергаются перед нанесением покрытий упрочняющей термической обработке, стоит остро вопрос об изучении этого объёма материала. От этого в конечном итоге будет зависеть работоспособность всего покрытия и конструкции или узла как целого. Формирование хрупких фаз на границе раздела или подкалка самой зоны термического влияния может привести к отслоению и разрушению покрытия уже на первом этапе работы конструкции. Исходя из сказанного целью работы является изучение особенностей формирования структуры и свойств переходной зоны между наплавленным покрытием и основным металлом (сталь 40Х), зоны термического влияния в зависимости от числа проходов релятивистского электронного пучка выведенного в атмосферу.

Для достижения поставленной цели в работе необходимо решить следующие задачи.

1. Провести наплавки композиционных покрытий на основе стали 10Р6М5 с помощью вне вакуумной электронно-лучевой установки (ЭЛВ-6) в один и два прохода.

2. Изучить структуру и фазовый состав упрочненного слоя, переходной зоны между покрытием и подложкой, ЗТВ в зависимости от числа проходов электронного пучка.

3. Построить распределение микротвердости по толщине покрытия и ЗТВ для всех исследуемых образцов.

4. Сделать анализ полученных результатов.

5. Дать рекомендации по возможному использованию данного метода нанесения покрытий на термоупрочняемые среднеуглеродистые конструкционные стали.

2 Материалы и методики исследования

В качестве наплавочного материала использовали порошок стали 10Р6М5 дисперсностью до 100 мкм. В качестве флюса в порошок быстрорежущей стали добавлялся MgF_2 в количестве 20%. Наплавку проводили на пластины размером 100×50×17 мм, изготовленные из стали 40Х и стали. Число оплавлений электронным пучком с насыпкой новых слоёв порошка варьировалось от 1 до 2. Перед каждым последующим проходом шлаковая корка полностью удалялась.

В качестве метода нанесения покрытий использовался ускоритель высокоэнергетичных (мощностью до 100 кВт) релятивистских электронов выведенных в атмосферу (НИИ ЯФ СО РАН (г. Новосибирск)), рисунок 2.1. Для увеличения площади обработки пучок сканировали с помощью электромагнитного сканирующего устройства в направлении, поперечном к направлению перемещения изделия. Ширина сканирования была ~5 см, частота сканирования составляла 20 - 50 Гц. Изделие, с помещённым на его поверхности слоем порошка (плотность насыпки 0,45 г/см^3), проходит под сканирующим пучком со скоростью 1 см/с. Смесь порошков одновременно прогревалась по всей его толщине с захватом некоторого слоя основы.

Структуру наплавленных покрытий исследовали с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX51 с комплектом прикладных программ SIAMS 700. Фазовый состав покрытий исследовали с помощью рентгеноструктурного анализа (РСА) на рентгеновском дифрактометре ДРОН - УМ1 в фильтрованном СоКα излучении. Для количественного фазового анализа использовали значения интегральной интенсивности дифракционных линий (111) γ - фазы и (110) α - фазы. Химический состав покрытий определялся с использованием оптико-эмиссионного спектрометра PMI–MASTER Sort.

Микротвердость (HV) покрытий и основного металла (подложки) измеряли на приборе ПМТ - 3 (ГОСТ 9450 - 76) с шагом по глубине 100 мкм при нагрузке 0.981 Н и 0.49 Н. Измерения проводили по двум дорожкам со

смещением уколов в дорожках на 50 мкм, что позволило построить распределение микротвердости по глубине покрытия через 50 мкм.

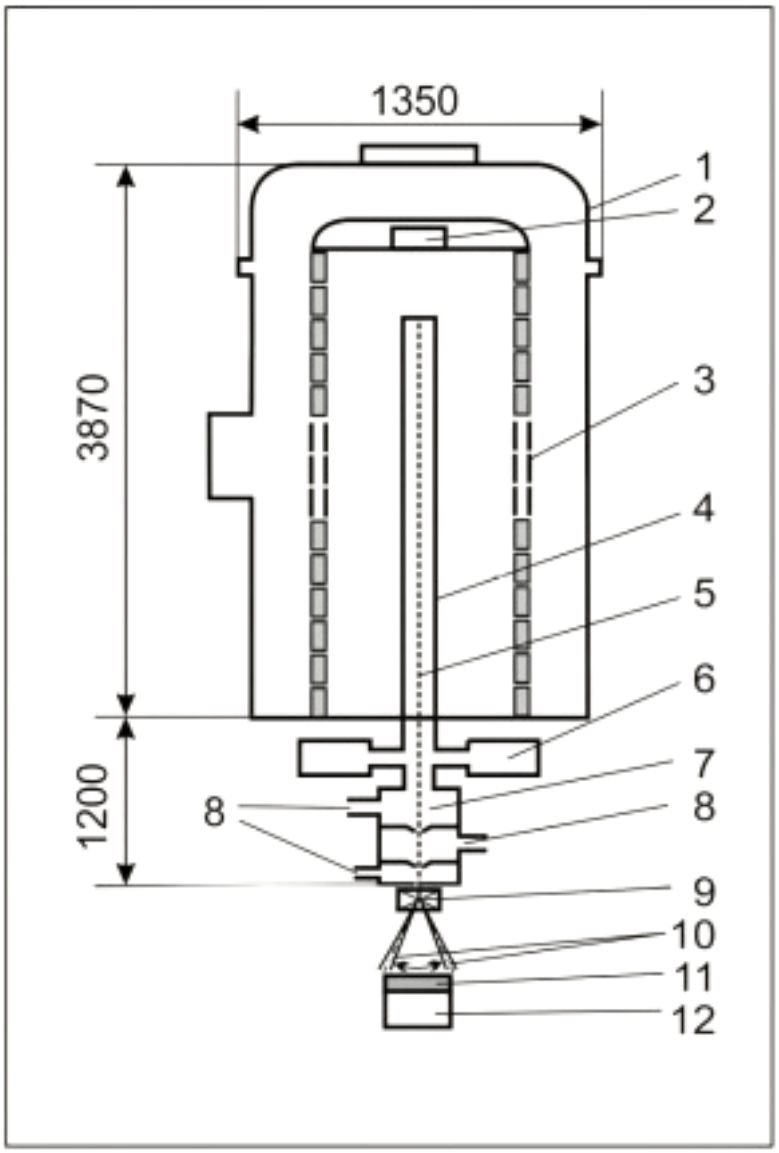


Рисунок 2.1 – Схема ускорителя электронов, обеспечивающего вывод пучка электронов в воздушную атмосферу: 1 – корпус ускорителя; 2 – блок управления инжектором; 3 – высоковольтный блок; 4 – ускорительная трубка; 5 – пучок электронов; 6 – высоковакуумные насосы; 7 – устройство выпуска электронного пучка в атмосферу; 8 – вакуумные затворы; 9 – полюса электромагнитной развертки; 10 – размах колебаний пучка электронов; 11 – наплавленный слой; 12 - заготовка

3 Экспериментальная часть

В зависимости от количества нанесённых слоёв наблюдаются изменения в толщине проплавления основного металла. В ходе первой и второй обработок электронным пучком происходит подплавление основного металла на общую глубину 1500 мкм.

В таблице 3.1 представлены результаты расчета химического состава покрытия в зависимости от количества нанесённых слоёв. В качестве исходных данных для расчета был взят химический состав порошка стали 10Р6М5 и его вес, помещенный на поверхность основы. В таблице 3.2 представлены данные химического состава покрытия, полученного с использованием оптико-эмиссионного спектрометра PMI–MASTER Sort.

Таблица 3.1 - Химический состав покрытий (расчет) в зависимости от количества нанесённых слоёв

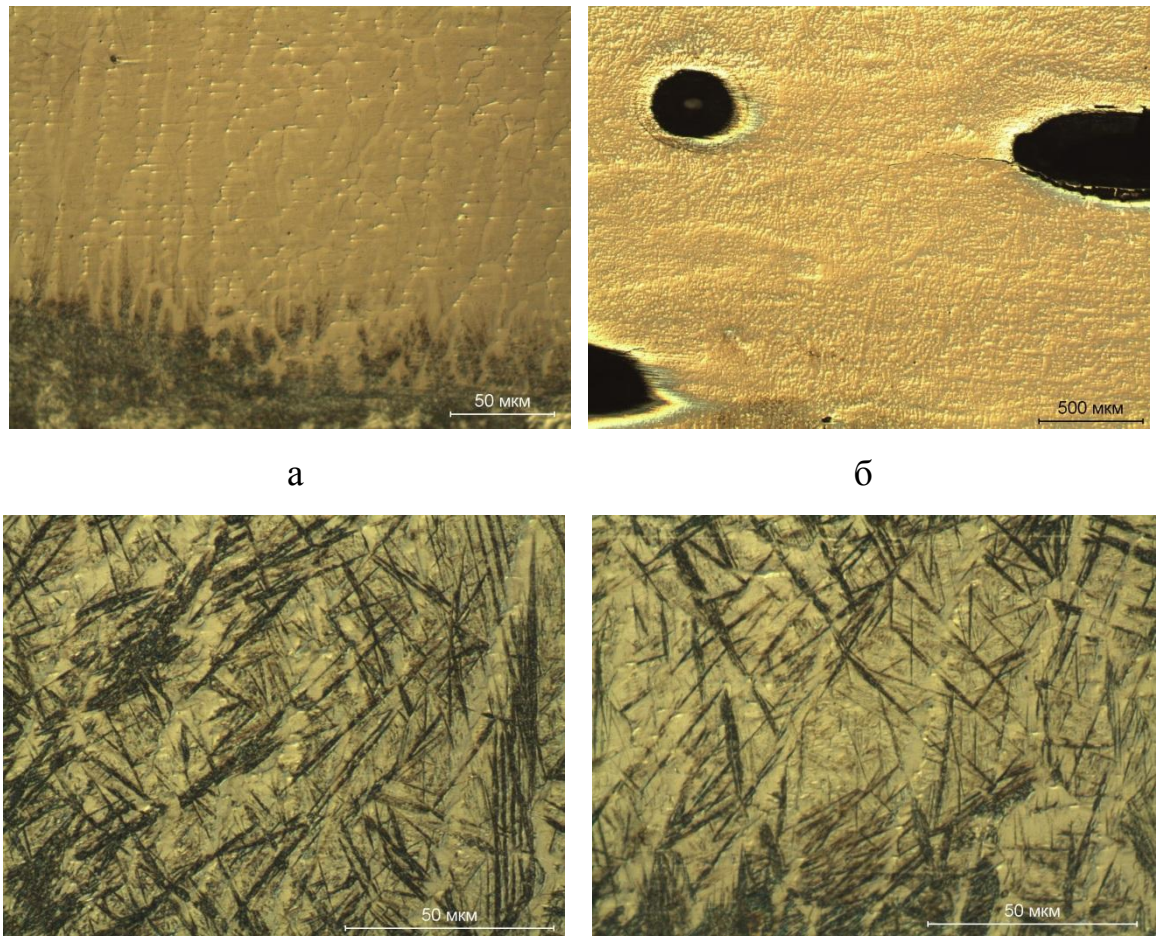
Число слоев	W, %	Mo, %	Cr, %	V, %	C, %	Fe
1	2.18	1.8	1.45	0.7	0.3	остальное
2	2.18	1.82	1.45	0.73	0.3	остальное

Таблица 3.2 - Химический состав покрытий, полученный с помощью оптико-эмиссионного спектрометра PMI–MASTER Sort, в зависимости от количества нанесённых слоёв

Число слоев	W, %	Mo, %	Cr, %	V, %	C, %	Fe
1	1.84	1.65	1.15	0.6	0.3	остальное
2	2.94	2.67	1.5	0.8	0.4	остальное

Анализ приведенных данных в таблице 3.1 и 3.2 свидетельствует, что результаты расчета химического состава покрытия, полученного с помощью оптико-эмиссионного спектрометра PMI–MASTER Sort, практически совпадают и отличаются от исходного состава стали 10Р6М5. Это связано с подплавлением основы и, следовательно, уменьшением концентрации легирующих элементов в покрытии.

Для всех покрытий характерно дендритное строение наплавленного металла, рисунок 3.1,а,б. Толщина упрочненного слоя с увеличением числа обработок увеличивается с 1200 до 1700 мкм. В покрытии наблюдаются отдельные крупные поры, рисунок 3.1,б.

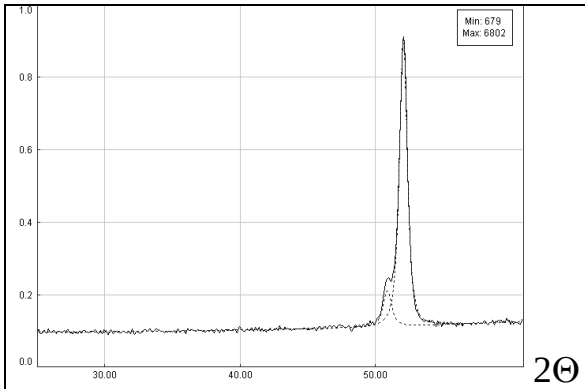


а б

в г

Рисунок 3.1 – Макро- и микроструктура покрытий стали 10Р6М5 после одной (а,в) и двух (б,г) обработок электронным пучком

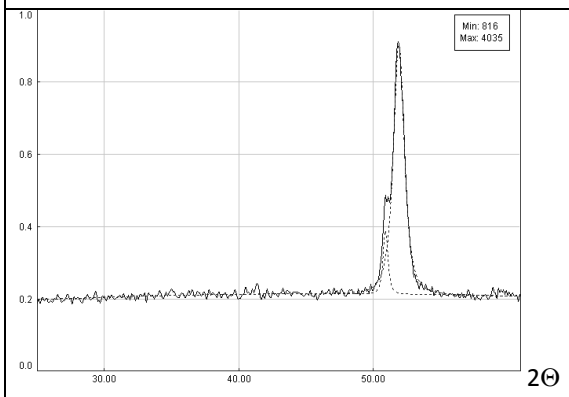
На рисунке 3.2,а,в представлены фрагменты дифрактограмм от исследуемых покрытий и результаты индицирования дифракционных максимумов, рисунок 3.2,б,г. Одновременный анализ микроструктуры (рисунок 3.1 в,г) и результатов РСА (рисунок 3.2) позволяет утверждать, что по границам зерен выделяется эвтектика, состоящая из древовидных кристаллов карбида типа М6С. В этих же областях наблюдаются равноосные дисперсные выделения частиц карбида ванадия (d = 0.5 - 1 мкм).



а

2Θ, град	d, нм	фаза (hkl)
50.85	0.20834	γ (111)
52.026	0.20395	α (110)

б



в

2Θ, град	d, нм	фаза (hkl)
50.869	0.20827	γ (111)
51.863	0.20454	α (110)

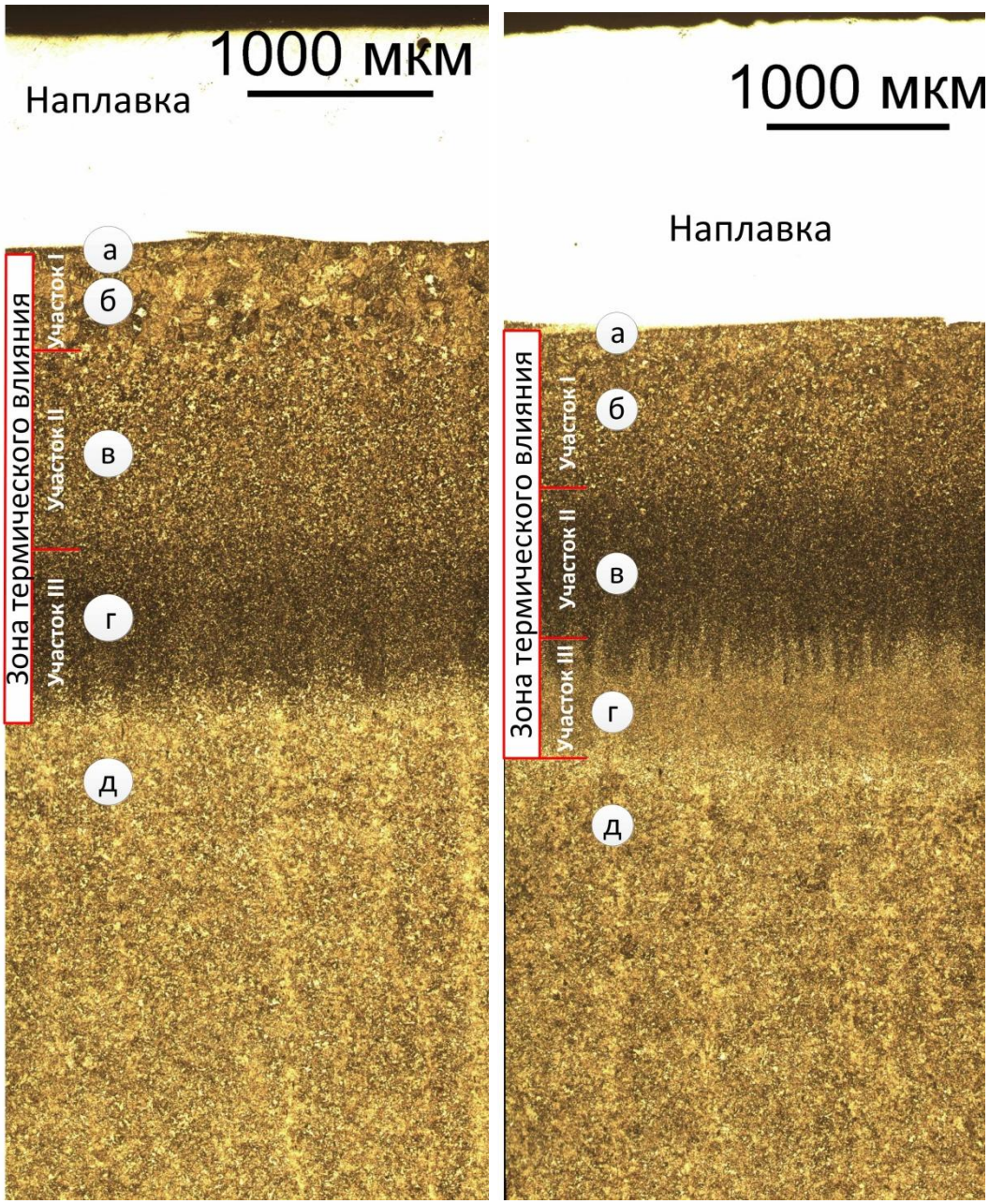
г

Рисунок 3.2 - Фрагменты дифрактограмм (а,в) от исследуемых покрытий и результаты их индицирования (б,г); а,б - одна, в,г - две обработки электронным пучком

Матрица в покрытии находится в аустенитно-мартенситном состоянии, рисунок 3.2. Количество остаточного аустенита, рассчитанное по данным РСА, для покрытий, полученных за первую и вторую обработки электронным пучком увеличивается с ~15 до ~20%.

На рисунок 3.3 представлена макроструктура поперечного сечения покрытия и основного металла после одного (а) и двух (б) проходов электронного пучка. Общая протяженность ЗТВ для обоих образцов не превышает 2,4…2,5 мм. В зоне термического влияния, помимо переходной зоны между наплавленным покрытием и основным металлом, можно выделить три участка, отличающихся макростроением, рисунок 3.3. Для образца, покрытие которого было сформировано за один проход, участок непосредственно прилегающий к переходной зоне имеет грубую мартенситно-бейнитную структуру, рисунок 3.3,а и рисунок 3.4,б. Это

связано со значительным перегревом исходного аустенитного зерна. Толщина этого участка не превышает 600 мкм.

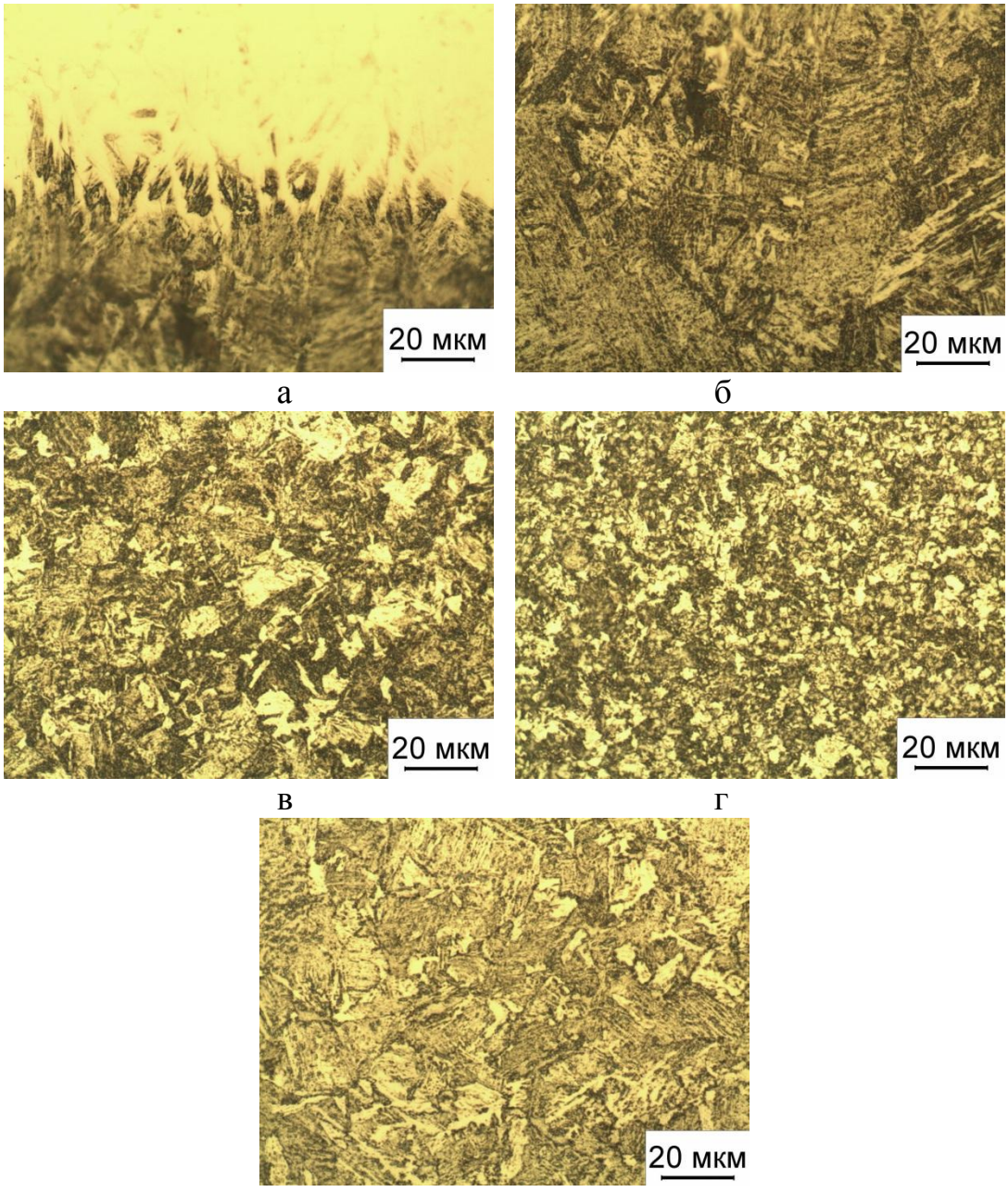


а б

Рисунок 3.3 – Структура поперечного сечения образцов 40Х с наплавленным покрытием; а – один и б – два прохода электронного пучка. Буквами на рисунке представлены участки ЗТВ и основного металла, микроструктура которых представлена на рисунках 3.5 и 3.4 соответственно

Далее формируются два участка, в которых уменьшается размер, как ферритных зерен, так и перлитных колоний. Это обусловлено для более

нагретого металла (участок 2, рисунок 3.4,в) перекристаллизацией, а для участка 3 – рекристаллизацией, рисунок 3.4,г. Толщина участка 2 составляет ~1000 мкм, а участка 3 – 700 мкм. Ниже третьего участка микроструктура не отличается от исходной стали 40Х, рисунок 3.4,д.



а б в г д

Рисунок 3.4 – Микроструктура в зоне термического влияния основного металла сталь 40Х после наплавки стали 10Р6М5 в один проход; структуры под буквами соответствуют участкам ЗТВ обозначенным на рисунке 3.3,а

Для образца, наплавленного за два прохода электронного луча, участок с грубой мартенситно-бейнитной структурой отсутствует, рисунок

3.3,б. Все три участка по мере удаления от зоны сплавления характеризуются увеличением дисперсности структурных составляющих, рисунок 3.5,б,в,г. Это обусловлено меньшей температурой в ЗТВ при нанесении металла покрытия во втором проходе. Необходимо отметить, что для первого участка (особенно в верхней его части), наряду с ферритными зернами, характерно наличие мартенсита и бейнита пластинчатой морфологии, рисунок 3.5,б. Протяженность 1, 2 и 3 участков равна 800, 800 и 600 мкм, рисунок 3.3,б.

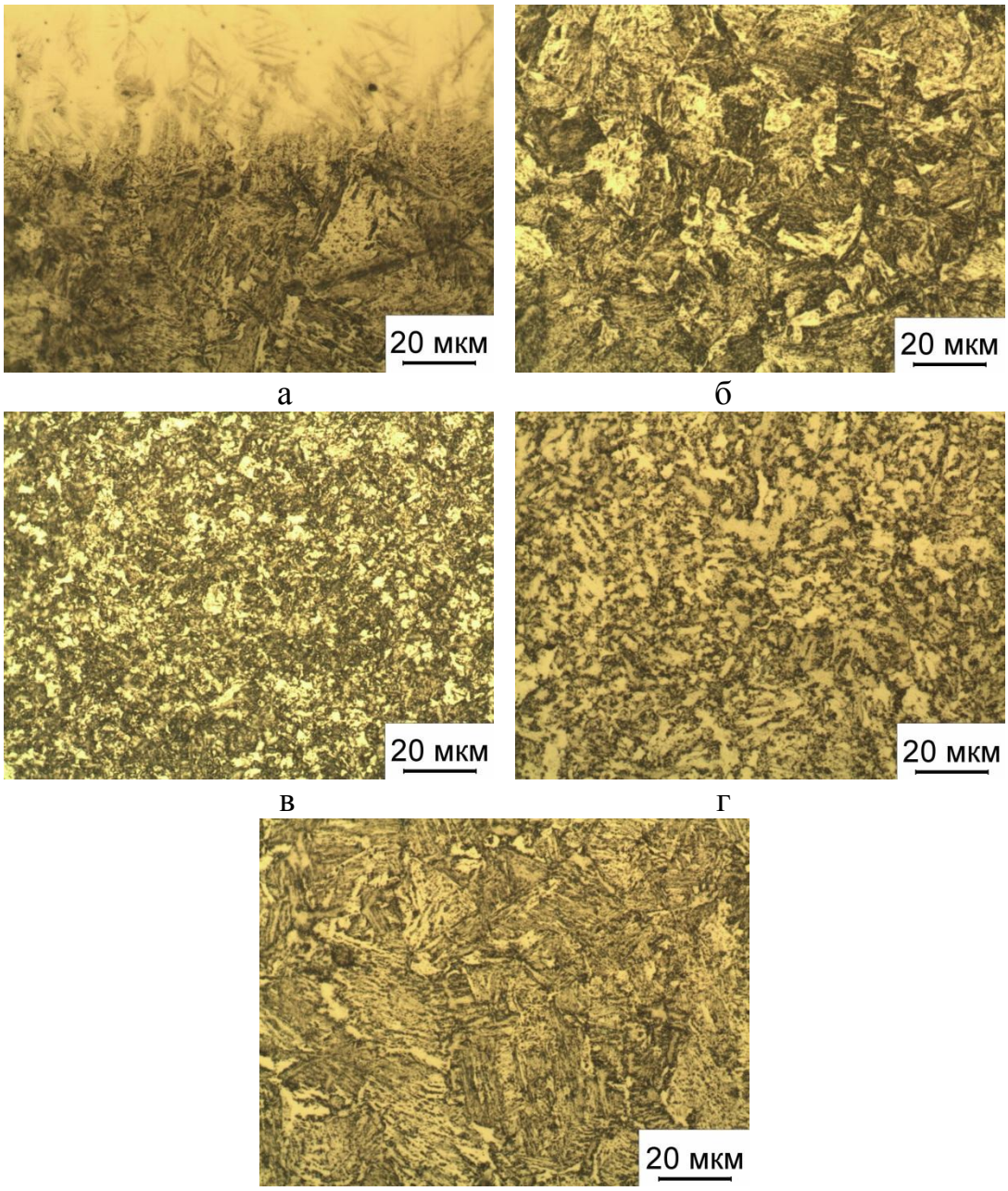
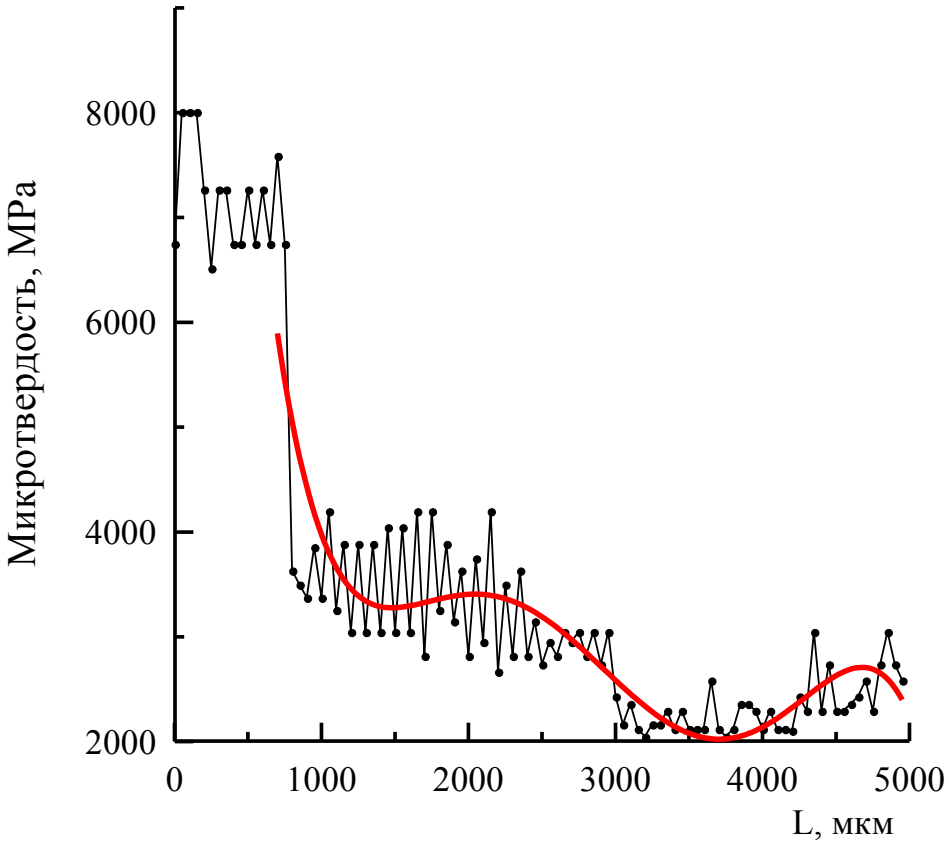


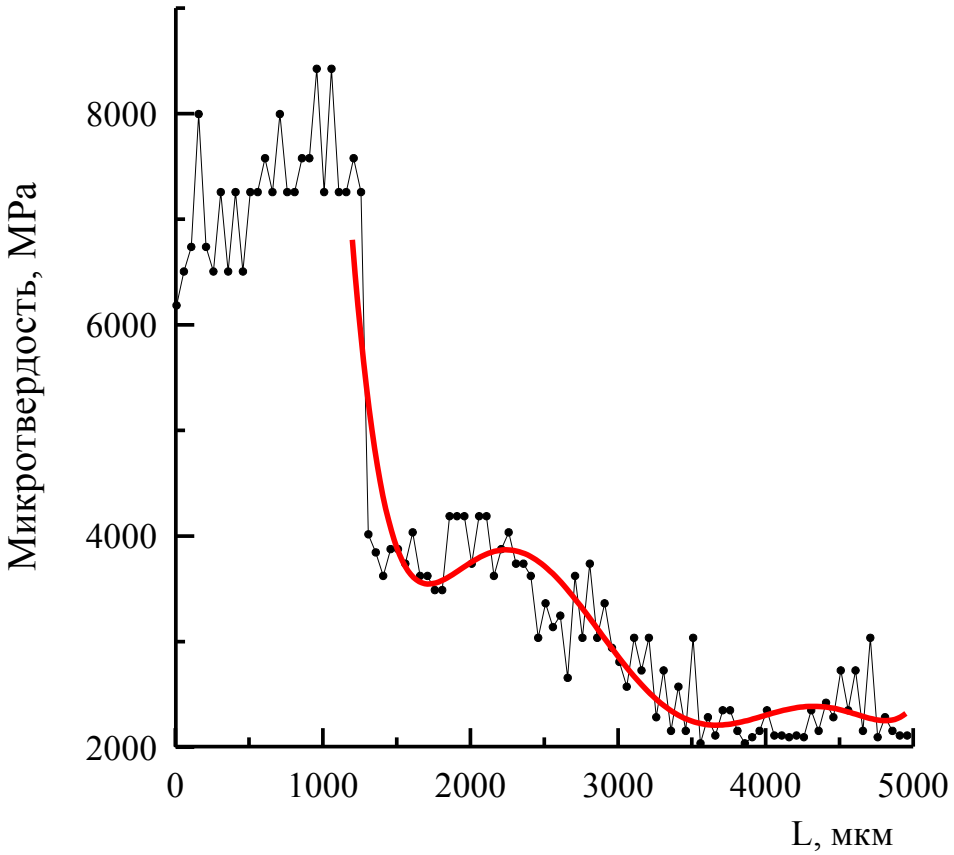
Рисунок 3.5 – Микроструктура в зоне термического влияния основного металла стали 40Х после наплавки стали 10Р6М5 в два прохода; структуры под буквами соответствуют участкам ЗТВ обозначенным на рисунке 3.3,б

Для переходной зоны между наплавленным покрытием и основным металлом для обоих образцов характерно наличие аустенитно-мартенситной структуры, рисунок 3.4,а и рисунок 3.5,а.

Анализ представленных зависимостей изменения микротвердости по толщине покрытий на стали 40Х, свидетельствует о том, что покрытие имеет среднюю величину HV на уровне 7 ГПа, рисунок 3.6. В ЗТВ для участков 1 и 2 характерно повышение микротвердости до 3,5…4 ГПа, что связано с присутствием в структуре первого участка мартенсита и бейнита, и дисперсной структуры перлита во втором участке. Далее величина микротвердости спадает до исходного значения 2-2,5 ГПа, характерного для отожженной стали 40Х. Необходимо отметить, что для второго образца, где для всей зоны термического влияния характерна более дисперсная структура (рисунок 3.5,б,в,г), разброс микротвердости менее значителен, рисунок 3.6,б.



а



б

Рисунок 3.6 - Изменение микротвердости по толщине покрытий на стали 40Х после одного (а) и двух (б) проходов электронного пучка

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Fast − анализ

В качестве предмета исследования выбран микротвердомер ПМТ-3М, так как с помощью него производились основная часть исследования и измерения микротвердости.

4.1 Описание главных, основных и вспомогательных функций, выполняемых объектом

Таблица 4.1 – Классификация функций, выполняемых объектом

Наименование детали (узла, процесса)	Количество деталей на узел	Выполняемая функция	Ранг функции		
			Главная	Основная	Вспомогательная
1.Основание	1	Обеспечение устойчивости микротвердомера			X
2.Колонна	1	Обеспечивает перемещение кронштейна и тубуса		X	
3.Гайка	1	Обеспечивает передвижение кронштейна и тубуса			X
4.Зажимной винт	1	Обеспечивает крепление кронштейна			X
5.Барашек грубого движения	1	Обеспечивает грубое движение тубуса		X	
6.Барашек микрометрического движения	1	Обеспечивает микрометрическое движение тубуса		X	
7.Рукоятка	1	Обеспечивает стопорение грубого движения тубуса			X
8.Барашек	1	Определяет высоту			X

Продолжение таблицы 4.1

9.Предметный столик	1	Обеспечивает установку рассматриваемого образца		X	
10.Винт	1	Обеспечивает перемещение в двух взаимно перпендикулярных плоскостях столик			X
11.Стопорный винт	1	Обеспечивает стопорение столика			X
12.Рукоятка	1	Обеспечивает поворот столика			X
13.Призма	1	Обеспечивает исследование поверхностей цилиндрических предметов		X	
14.Пластина	1	Обеспечивает поместить предмет любой конфигурации		X	
15.Механизм нагружения (шток)	1	Обеспечивает необходимое нагружение		X	
16.Оправка с алмазной пирамидой	1	Обеспечивает нанесение укола на исследуемый объект	X		
17.Гирька	1	Обеспечивает необходимое усилие		X	
18.Рукоятка арретира	1	Обеспечивает опускание штока	X		
19.Осветитель	1	Обеспечивает освещение исследуемого предмета	X		
20.Светофильтры	1	Обеспечивают контрастность исследуемого предмета		X	
21.Трансформатор	1	Обеспечивает питание	X		
22.Винтовой окуляр-микрометр	1	Обеспечивает наблюдение исследуемого предмета	X		

4.2 Определение значимости выполняемых функций объектом

Таблица 4.2 – Матрица смежности

	Осно-вание	Колон-на	Гайка	Зажим-ной винт	Бара-шек грубо-го движе-ния	Бара-шек микро-метри-ческо-го движения	Рукоят-ка
Основание	=	>	>	>	<	<	>
Колонна	<	=	>	>	<	<	>
Гайка	<	<	=	<	<	<	<
Зажимной винт	<	<	>	=	<	<	>
Барашек грубого движения	>	>	>	>	=	<	>
Барашек микрометрического движения	>	>	>	>	>	=	>
Рукоятка	<	<	>	<	<	<	=

	Барашек	Предметный столик	Винт	Стопорный винт	Рукоятка	Призма	Пластина
Барашек	=	<	>	>	>	<	>
Предметный столик	>	=	>	>	>	<	>
Винт	<	<	=	<	<	<	>
Стопорный винт	<	<	>	=	>	<	>
Рукоятка	<	<	>	>	=	<	>
Призма	>	>	>	>	>	=	>
Пластина	<	<	>	<	<	<	=

Продолжение таблицы 4.2

	Механизм нагруженя(шток)	Оправка с алмазной пирамидой	Гирька	Рукоятка арретира	Осветитель	Светофильтры	Трансформатор	Винтовой окулярмикрометр
Механизм нагруже-ния (шток)	=	<	>	>	<	>	<	<
Оправка с алмазной пирамидой	>	=	>	>	>	>	<	<
Гирька	<	<	=	<	<	>	<	<
Рукоятка арретира	<	<	<	=	<	>	<	<
Освети-тель	>	<	>	>	=	>	<	<
Свето-фильтры	<	<	<	<	<	=	<	<
Трансформатор	>	>	>	>	>	>	=	>
Винтовой окулярмикрометр	>	>	>	>	>	>	<	=

Примечание: «<» – менее значимая; «=» – одинаковые функции по значимости; «>» – более значимая

Преобразовываем матрицы смежности в матрицы количественных соотношений функций.

Таблица 4.3 − матрица количественных соотношений функций

	Основание	Колонна	Гайка	Зажим-ной винт	Барашек грубого движения	Барашек микрометрического движения	Рукоятка	Итого	
Основание	1	1,5	1,5	1,5	0,5	0,5	1,5	8	0,16
Колонна	0,5	1	1,5	1,5	0,5	0,5	1,5	7	0,14
Гайка	0,5	0,5	1	0,5	0,5	0,5	1,5	5	0,1
Зажимной винт	0,5	0,5	1,5	1	0,5	0,5	1,5	6	0,12
Барашек грубого движения	1,5	1,5	1,5	1,5	1	0,5	1,5	9	0,18
Барашек микрометрического движения	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1	1,5	10	0,2
Рукоятка	0,5	0,5	1,5	0,5	0,5	0,5	1	5	0,1
								Σ=50	Σ=1

	Барашек	Предметный столик	Винт	Стопорный винт	Рукоятка	Призма	Пластина	Итого	
Барашек	1	0,5	1,5	1,5	1,5	0,5	1,5	8,5	0,17
Предметный столик	1,5	1	1,5	1,5	1,5	0,5	1,5	9	0,18
Винт	0,5	0,5	1	0,5	0,5	0,5	1,5	5	0,1
Стопорный винт	0,5	0,5	1,5	1	1,5	0,5	1,5	7	0,14
Рукоятка	0,5	0,5	1,5	1,5	1	0,5	1,5	7	0,14
Призма	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1	1,5	9,5	0,19
Пластина	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	4	0,08
								Σ=50	Σ=1

Примечание: 0,5 при «<»; 1,5 при «>»; 1 при «=»

	Механизм нагружения (шток)	Оправка с алмазной пирамидой	Гирька	Рукоятка арретира	Осветитель	Светофильтры	Трансформатор	Винтовой окулярмикрометр
Механизм нагруже-ния (шток)	1	0,5	1,5	1,5	0,5	1,5	0,5	0,5
Оправка с алмазной пирамидой	1,5	1	1,5	1,5	1,5	1,5	0,5	0,5
Гирька	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1,5	0,5	0,5
Рукоятка арретира	0,5	0,5	0,5	1	0,5	1,5	0,5	0,5
Осветитель	1,5	0,5	1,5	1,5	1	1,5	0,5	0,5
Светофильтры	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,5	0,5
Трансформатор	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1	1,5
Винтовой окулярмикрометр	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0,5	1

Продолжение таблицы 4.3

	Итого	
Механизм нагружения (шток)	8,5	0,14
Оправка с алмазной пирамидой	9,5	0,16
Гирька	5,5	0,09
Рукоятка арретира	5,5	0,09
Осветитель	8,5	0,14
Светофильтры	5,5	0,09
Трансформатор	11,5	0,19
Винтовой окуляр-микрометр	10,5	0,17

4.3 Определение значимости функций

Определяем значимость функций путем деления балла, полученного по каждой функции, на общую сумму баллов по всем функциям. Так, для основания 8/50=0,16; колонны 7/50=0,14; 5/50=0,1; зажимного винта 6/50=0,12; барашка грубого движения 9/50=0,18; барашка микрометрического движения 10/50=0,2; рукоятки 5/50=0,1; барашка

8,5/50=0,17; предметного столика 9/50=0,18; винта 5/50=0,1; стопорного винта 7/50=0,14; рукоятки 7/50=0,14; призмы 9,5/50=0,19; пластины 4/50=0,08; механизма нагружения (шток) 8,5/50=0,17; оправки с алмазной пирамидой 9,5/50=0,19; гирьки 5,5/50=0,11; рукоятки арретира 5,5/50=0,11; осветителя 8,5/50=0,17; светофильтров 5,5/50=0,11; трансформатора 11,5/50=0,23; винтового окуляр-микрометра 10,5/50=0,21[38].

4.4 Анализ стоимости функций, выполняемых объектом исследования

Таблица 4.4 − Определение стоимости функций, выполняемых объектом исследования

Наименование детали (узла, процесса)	Количество деталей на узел	Выполняемая функция	Норма расхода, кг	Трудоемкость детали, нормо -ч	Стоимость материала, руб.	Заработная плата, руб.	Себестоимость, руб.	Итого	
Основание	1	Обеспечение устойчивости микротвердомера	0,21	0,2	34,6	27,4	40,1	102,1	0,03
Колонна	1	Обеспечивает перемещение кронштейна и тубуса	2	1,75	80,2	80,1	88	248,3	0,07
Гайка	1	Обеспечивает передвижение кронштейна и тубуса	0,67	0,9	73,6	25,5	75,8	174,6	0,05
Зажимной винт	1	Обеспечивает крепление кронштейна	0,78	0,34	67,1	24,7	69,2	161	0,05
Барашек грубого движения	1	Обеспечивает грубое движение тубуса	0,82	0,87	70,5	27,7	76,8	175	0,55
Барашек микрометрического движения	1	Обеспечивает микрометрическое движение тубуса	0,9	0,78	74,3	29	79,9	183,2	0,057
Рукоятка	1	Обеспечивает стопорение грубого движения тубуса	0,32	0,45	50,8	22,7	55,7	129,2	0,04
Барашек	1	Определяет высоту	0,25	0,5	45,1	26,7	48,9	120,7	0,038
Предметный столик	1	Обеспечивает установку рассматриваемого образца	1	1	50,2	29,7	55,7	135,6	0,042
Винт	1	Обеспечивает перемещение в двух взаимноперпендикулярных плоскостях столик	0,45	0,76	34,5	22,8	38,3	95,6	0,03

Продолжение таблицы-4.4

Стопорынй винт	1	Обеспечивает стопорение столика	0,44	0,32	45,2	32,4	50,1	127,7	0,04
Рукоятка	1	Обеспечивает поворот столика	0,34	0,44	42,1	30,1	47,2	119,4	0,037
Призма	1	Обеспечивает исследование поверхностей цилиндрических предметов	0,78	0,56	56,2	35,8	60,7	152,7	0,048
Пластина	1	Обеспечивает поместить предмет любой конфигурации	1	0,76	54,2	44,1	59,7	158	0,049
Механизм нагружения (шток)	1	Обеспечивает необходимое нагружение	0,7	0,43	45,7	34,9	50,1	130,7	0,041
Оправка с алмазной пирамидой	1	Обеспечивает нанесение укола на исследуемый объект	0,8	0,67	67,2	45,5	72,9	185,6	0,058
Гирька	1	Обеспечивает необходимое усилие	0,45	0,62	43,3	33,8	46,7	123,8	0,039
Рукоятка арретира	1	Обеспечивает опускание штока	0,32	0,67	46,5	40,1	48,9	135,5	0,042
Осветитель	1	Обеспечивает освещение исследуемого предмета	0,8	0,9	57,5	50,2	62,5	170,2	0,053
Светофильтры	1	Обеспечивают контрастность исследуемого предмета	0,25	0,31	45,7	38,2	48,4	132,3	0,41
Трансформатор	1	Обеспечивает питание	1,57	1,2	67,9	58,9	77,7	204,5	0,064
								Σ=3165,7	Σ=1

4.5 Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ

Информация об объекте исследования, собранная в рамках предыдущих стадий, на данном этапе обобщается в виде функционально − стоимостной диаграммы (ФСД) (рис. 4.1).

Рисунок 4.1 − Функционально-стоимостная диаграмма

Анализ, приведенный выше ФСД показывает явное наличие рассогласования по функциям 5, 20, которые являются: барашек грубого сечения и светофильтры. Необходимо провести работы по ликвидации данных диспропорций[38].

4.6 Оптимизация функций выполняемых объектом

В качестве оптимизации данных функций можно выделить следующее:

1.применения принципиально новых конструкторских решений;

2. унификации сборочных единиц и деталей;

3.использование новых заготовок и материалов;

4. оптимизация параметров надежности [38].

5 Социальная ответственность

Характеристика объекта исследования

В ходе научного исследования ставились эксперименты на электронном ускорителе «ЭЛВ-6», а также множество работы было проделано с использованием ЭВМ.

При проведении экспериментов работники подвергались в основном вредному воздействию электромагнитных излучений и полей, а также воздействию и других вредных факторов, образующихся в результате взаимодействия электромагнитного излучения с предметами окружающей среды. Электромагнитное излучение, образующееся при работе электронного ускорителя относится к ионизирующему [39].

5.1. Производственная безопасность

5.1.1. Анализ выявленных вредных факторов

При работе с ускорителем к основным факторам радиационной опасности относятся (ОСП-72/87 и НРБ-99/2009):

а) пучки ускоренных электронов, выходящие из ускорителя;

б) излучение, образующееся при взаимодействии быстрых (ускоренных) электронов с объектами окружающей среды, носящее название тормозное;

в) фотонейтроны, которые возникают при взаимодействии тормозного излучения высокой энергии с ядрами веществ окружающей среды;

г) другие ионизирующие излучения, появляющихся при взаимодействии электронов и тормозного излучения с ядрами веществ объектов окружающей среды;

д) радиоактивное загрязнение атмосферы рабочей камеры ускорителя из-за активации металлов, пыли и испарения активированных материалов образцов и узлов установки под действием пучка электронов;

е) радиоактивные аэрозоли, образующиеся при облучении компонентов окружающего воздуха и охлаждающей воды;

ж) рентгеновское излучение, исходящее от высоковольтной электронной аппаратуры ускорителя.

Также при работе ускорителя помимо радиационных вредных факторов присутствуют нерадиационные вредные факторы:

а) выделения тепла от оборудования и коммуникаций;

б) озон и окислы азота, образующиеся при радиолизе воздуха под действием излучений ускорителя;

в) электромагнитные поля сверхвысоких частот, создаваемые системами питания электронных ускорителей;

г) шум, исходящий от аппаратуры ускорителя;

д) токсические вещества, выделяющиеся в результате облучения различных веществ.

Теперь рассмотрим влияние вышеперечисленных вредных факторов на организм человека.

Главное действие ионизирующих излучений на организм сводится к ионизации облучаемых тканей организма. Заряды приобретенные в результате облучения являются причиной возникновения окислительных реакций клетках организма, которые несвойственны для нормального состояния, что, в свою очередь, вызывает ответные реакции, которые неблагоприятно сказываются на здоровье человека. В облучённых тканях организма протекает ряд цепных реакций, нарушающих нормальное функциональное состояние отдельных органов и систем. В результате таких реакций в тканях организма образуются вредные для здоровья продукты — токсины, оказывающие неблагоприятное влияние [55, 56].

Пути воздействия продуктов, обладающих ионизирующим излучением, могут быть следующими: посредством внешнего и внутреннего облучения.

При внешнем облучении лучами ионизация происходит на облучаемой поверхности кожных и других покровов, а также и в более глубоких тканях, органах и системах при высокой проникающей способности

излучения. Период внешнего воздействия излучений (экспозиция) определяется временем облучения [39,40].

При попадании радиоактивных веществ внутрь организма путём вдыхания паров радиоактивных веществ, занесении их в пищеварительную систему или попадании в кровь происходит внутреннее облучение. Оно более опасно, потому что при непосредственном контакте с тканями даже излучения небольшой энергии и с маленькой проникающей способностью оно оказывает действие на эти ткани; при нахождении радиоактивного вещества в организме экспозиция не ограничивается временем непосредственной работы с источника, а продолжается до его полного распада или удаления из организма. При попадании внутрь некоторые радиоактивные вещества, обладающие определенными токсическими свойствами, оказывают местное или общее токсическое действие [39].

В организме радиоактивные вещества, переносятся кровеносной системой по всем органам, потом часть их выводится из организма через выделительные системы, но остальная их часть остаётся в органах и системах, оказывая на них большее воздействие. Некоторые радиоактивные вещества распределяются по всему организму относительно равномерно. Отложение различных веществ в тех или иных органах и системах определяется их физико-химическими свойствами и функциями этих систем и органов [39, 40].

Стойкие изменения в организме под воздействием ионизирующих излучений называются лучевой болезнью. Лучевая болезнь может развиться как при хроническом воздействие ионизирующих излучений, так и при кратковременном облучении весьма значительными дозами. Болезнь характеризуется изменениями со стороны центральной нервной системы (головокружение, подавленное состояние, тошнота и др.), кровеносных сосудов (кровоподтеки вследствие ломкости сосудов).

При длительных воздействиях значительных доз ионизирующего излучения могут развиться злокачественные опухоли различных органов,

которые являются отдаленными последствиями этого воздействия. К числу последних можно отнести также снижение иммунитета организма к различным инфекционным и другим заболеваниям, неблагоприятное влияние на детородную функцию и др.

Шумы и вибрации.

Параметры шума на производстве определяются ГОСТ 12.1.003-83 и санитарными нормами СНиП 23-03-2003 «Защита от шума».

Нормируемыми параметрами шума являются уровни в децибелах среднеквадратичных звуковых давлений, измеряемых по линейной характеристике шумомера в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 2000, 4000, 8000 Гц.

При вибрациях, возбуждаемых работой оборудования, которые в производственных помещениях передаются на рабочие места, нормируемыми параметрами являются среднеквадратичные величины колебательной скорости в активных полосах частот или амплитуды перемещений.

Борьбу с нежелательными вибрациями нужно осуществлять по отношению к источнику их возникновения на начальных этапах конструирования и изготовления оборудования. Снижение уровня вибраций может быть достигнуто виброгашением, которое чаще реализуется путем установки вибрирующих агрегатов на самостоятельные виброгасящие основания (фундамент). Также используют динамическое гашение колебаний, вибродемпфирование и изменение конструктивных элементов машин и строительных конструкций.

Освещение.

Главным назначением производственного освещения является поддержание в рабочей зоне освещенности, удовлетворяющей характеру производимой зрительной работы.

Во всех производственных помещениях, в которых постоянно пребывает человек, должно быть предусмотрено естественное освещение, создаваемое светом неба.

В вечернее или ночное время, а также при недостаточности естественного освещения в дневное время применяют искусственное освещение, создаваемое электрическими лампами.

СНиП 23-05-95 регламентирует нормы естественного и искусственного освещения в помещениях в зависимости от характера производимой зрительной работы, вида системы освещения, фона, контрастности объекта с фоном.

Искусственное освещение нормируется количественными (минимальная освещенность) и качественными (показатели ослепленности и дискомфорта, коэффициент пульсации освещенности) показателями.

В производственных помещениях в зависимости от характера зрительной работы показатели ослепленности должны соответствовать нормам в 20-80%. При использовании для освещения производственных помещений газоразрядных ламп, питаемых переменным током промышленной частоты в 50 Гц, глубина пульсаций не должна превышать 10-20% в зависимости от характера производимой зрительной работы.

Цветовая палитра интерьеров помещений и оборудования в сварочных цехах должна полностью соответствовать указаниям по проектированию цветовой отделки интерьеров производственных зданий промышленных предприятий.

Вентиляция.

Администрация учреждения обязана осуществлять контроль токсических и агрессивных веществ в воздушной среде производственных и других помещений ускорителя, образующиеся при его эксплуатации, а также за надёжную работу вентиляции.

Рабочая камера ускорителя должна быть оборудована приточно-вытяжной вентиляцией, которая предназначена для удаления продуктов

ионизации и токсических веществ, образующихся при осуществлении работ с открытым излучением

Необходимо предусмотреть установку резервных вентиляторов, имеющих производительность не менее 1/3 части от основных. В их конструкции должны быть устройства для автоматического их запуска при выходе из строя основных вентиляторов. Рабочее время резервных вентиляторов не превышает половины рабочего дня, за это время необходимо восстановить работу основных вентиляторов

Системы вентиляции обеспечивают снижение концентрации ионизированных и токсических веществ до допустимых величин после окончания работы ускорителя. Отсос загрязненного воздуха производиться только из рабочей камеры. В рабочих камерах необходимо обеспечивать разрежение не менее 5 мм вод. ст. Во всех случаях нужно организовать подачу воздуха из соседних помещений в рабочую камеру установки ускорителя.

Также при проектировании появляется необходимость в очистке воздуха, удаляемого из помещения ускорителя.

Допускается удаление воздуха в атмосферу без очистки, если вредные вещества рассеиваются в атмосфере до допустимых величин при наиболее неблагоприятных метеорологических условиях для района размещения ускорителя.

Пультовая и другие помещения, технологически связанные с эксплуатацией ускорителя, должны вентилироваться в соответствии с требованиями СанПиН 2.2.1/2.1.1.567-96.

5.1.2. Анализ выявленных опасных факторов

Методы защиты при работе с электронным ускорителем

При эксплуатации ускорителей электронов следует руководствоваться: ОСП-72/87 и НРБ-99/2009, а также ГОСТ 12.1.003-83 "ССБТ. Шум. Общие требования безопасности", "Санитарными правилами при работе с

источниками электромагнитных полей высоких, ультравысоких и сверхвысоких частот" N 848-70, "Санитарными нормами проектирования промышленных предприятий" (СанПиН 2.2.1/2.1.1.567-96), "Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей и Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей", СНиП 23-03-2003 «Защита от шума».

Последствия заболеваний от воздействия ионизирующих излучений требуют особого внимания к проведению оздоровительно-профилактических мероприятий. Эффективность их зависит от выполнения и соблюдения требований. Комплекс мероприятий по защите от действия ионизирующих излучений делится на два направления: меры защиты от внешнего облучения и меры профилактики от полученного внутреннего облучения[56].

В основном защита от действия внешнего облучения сводится к экранированию, которое препятствует попаданию излучений на людей, находящихся в радиусе их действия. Применяются разные поглощающие экраны; при этом соблюдается основное правило — необходимо защищать не только рабочего и рабочее место, а максимально экранировать полностью источник излучения, чтобы исключить возможность проникания излучения в зону нахождения рабочего персонала. Материалы для экранирования и толщина слоя этих экранов определяются характером ионизирующего излучения и его энергией: чем больше энергия излучения, тем плотнее и толще нужен материал [39, 40].

Для обеспечения безопасности рабочего персонала, работающего в помещении расположения ускорителя, необходимо выполнения следующих условий (соответствующих ОСП-72/87 и НРБ-99/2009):

- материалы, использующиеся для радиационной защиты должны наиболее эффективно ослаблять потоки ускоренных электронов и вторичные излучения (тормозное, нейтронное и пр.), а также обеспечивать наименьшее вторичное излучение;

- радиационная защита от ионизирующих излучений, возникающих при работе ускорителя, должна проектироваться так, чтобы суммарные дозы облучения персонала и населения не превышали величин, регламентируемых действующими нормами радиационной безопасности;

- проектирование радиационной защиты ускорителя должно производиться исходя из допустимых величин мощности эквивалентной дозы излучения в помещениях, параметров ускорителя (значения энергии электронов и силы тока, мощность дозы излучения на расстоянии 1 м от мишени ускорителя и др.) с учетом помещения под ускоритель, в зависимости от и длительности облучения;

- при изготовлении индивидуальной радиационной защиты ускорителя из тяжелых материалов (свинец, вольфрам и др.) рекомендуется облицовывать лёгкими материалами (алюминий) поверхности конструкций внутри рабочей камеры для снижения интенсивности тормозного излучения;

- при разработке радиационной защиты ускорителя, состоящей из отдельных съемных защитных блоков, нужно предусматривать невозможность его включения в случае неправильной установки таких блоков;

- все коммуникационные и технологические каналы в радиационной защите должны быть спроектированы и изготовлены таким образом, чтобы эффективность защиты в их местах была не ниже расчетной для;

- вход в рабочую камеру должен выполняться защитным, через лабиринт с защитной дверью. Он должен располагаться в местах с меньшими уровнями излучения;

- когда в рабочей камере имеется вторая дверь (как в дефектоскопической лаборатории для подачи изделий на просвечивание), необходимо предусматривать и ее защиту;

- на ускорителе должна быть предусмотрена защита от сверхвысокочастотных электромагнитных полей, а также постоянных магнитных и электрических полей;

- в конструкции блоков с источниками используемого рентгеновского излучения необходимо предусмотреть радиационную защиту и приспособления для защиты персонала;

- результаты проверки эффективности радиационной защиты регистрируются в акте приемки ускорителя в эксплуатацию.

Гигиеническая оценка

Гигиеническим критерием условий труда при воздействии ионизирующего излучения является мощность потенциальной дозы (МПД) излучения – максимальная потенциальная эффективная (эквивалентная) доза излучения, которая может быть получена при работе в течении календарного года с источниками ионизирующего излучения.

МПД для эффективной дозы и эквивалентной дозы определяется по формулам (5.1), (5.2) соответственно (согласно Р 2.2.2006 – 05).

$$МПД = 1.7 \times H^{внеш.} + 2.4 \times 10^6 \times \Sigma_{U,G} (C_{U,G} \times \varepsilon_{U,G}^{возд./перс.}), \quad (5.1)$$

где:

МПД – максимальная потенциальная эффективная доза за год, мЗв/год;

$H^{внеш.}$ – мощность амбиентной дозы внешнего излучения на рабочем месте, которая определяется в ходе радиационного контроля, мкЗв/ч;

$C_{U,G}$ – объемная активность аэрозолей, соединений радионуклида U типа соединения при ингаляции G на рабочем месте, которая определяется в ходе радиационного контроля, Бк/м^3;

$\varepsilon_{U,G}^{возд./перс.}$ – дозовый коэффициент соединения радионуклида U типа соединения при ингаляции G, регламентирован в приложении № 1 к НРБ-99/2009, Зв/Бк;

1,7 – коэффициент, который учитывает стандартное время облучения работников в течение календарного года (1700 часов в год для персонала группы «А»), размерность единиц (10^3 мкЗв/мЗв);

2.4 х 10^6 – коэффициент, который учитывает объем дыхания за год (2.4 х 10^3 $м^3$/год для персонала группы «А»), размерность единиц (10^3 мкЗв/Зв).

$$МПД^{орган} = 1.7 \times МД^{орган}, \quad (5.2)$$

где:

МПД ^{орган} – максимальная потенциальная эквивалентная доза, приходящаяся на орган на данном рабочем месте за год, мЗв/год;

МД ^{орган} – мощность амбиентной дозы внешнего облучения органа на рабочем месте, определяемая в ходе радиационного контроля, мкЗв/ч;

1.7 – коэффициент, который учитывает стандартное время облучения в течение календарного года (1700 часов в год для персонала группы «А»), размерность единиц (10^3 мкЗв/мЗв).

Согласно данным руководства гигиены труда Р 2.2.2006 – 05 приведём данные, полученные с помощью вышеприведённых формул (5.1 и 5.2) и сравним их с допускаемыми значениями потенциальной максимальной годовой дозой. Результаты вычислений представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Мощность потенциальной дозы.

Потенциальная максимальная годовая доза	Мощности потенциальной дозы при оценке условий труда персонала группы А	Допустимая МПД, мкЗв/ч
Эффективная	5 мЗв /1 700 ч = 0.003 мЗв/ч (3 мкЗв/ч);	≤5
Эквивалентная в хрусталике глаза	37.5 мЗв /1 700 ч = 0.022 мЗв/ч (22 мкЗв/ч)	≤40
Эквивалентная в коже, кистях и стопах	125 мЗв /1 700 ч = 0.075 мЗв/ч (75 мкЗв/ч)	≤125

В таблице 5.1 приведены данные мощности потенциальной дозы, которые по своим значениям меньше допустимых значений МПД. На самом деле при проведении научных исследований, работа с электронным ускорителем заняла во много раз меньше, чем 1700 часов. Поэтому и полученная МПД много меньше допустимых значений, что говорит о

минимальном вреде, полученного от ионизирующего рентгеновского излучения[39,40].

5.2. Экологическая безопасность

Согласно документации приведённой в п. 5.1.2. комплекс мероприятий по радиационной безопасности (при работе открытых источников излучения) должен обеспечить защиту окружающей среды - воздуха, почвы, растительности и др. при нормальной эксплуатации и при проведении ремонтных работ и при ликвидации последствий радиационной аварии.

Выбор земельного участка для размещения установок, предназначенных для работы с источниками ионизирующих излучений необходимо согласовывать с органами Госсаннадзора. В жилых зданиях и детских учреждениях запрещается установка оборудования такого типа. Выбранное место (площадка) для размещения сооружения, предназначенного для работы с источниками ионизирующих излучений, должны соответствовать требованиям «Санитарных норм проектирования промышленных предприятий СанПиН 2.2.1/2.1.1.567-96». Учреждения, предназначенных для работы с открытыми источниками ионизирующего излучения, должны располагаться с подветренной стороны относительно жилых зданий, общественных учреждений, зон отдыха, спортивных сооружений.

По периметру такого учреждения необходимо устанавливать санитарно-защитную зону и зону наблюдения. Их габариты определяются на основании расчета дозы внешнего излучения и распространения радиоактивных выбросов в атмосферу, сбросов в водоемы с учетом используемой системы очистки выбросов в атмосферу, благополучного увеличения мощности производства, а также гидрологических, экологических и метеорологических факторов. Размеры зон наблюдения при нормальной работе учреждения обычно в 3 - 4 раза больше размеров

санитарно-защитной зоны. В санитарно-защитной зоне категорически запрещается построение жилых зданий, детских учреждений, больниц, санаториев и других спортивно-оздоровительных сооружений.

При проектировании рассматриваемых сооружений, дополнительно к мероприятиям по защите от внешнего излучения необходимо предусматривать меры по защите персонала и населения от внутреннего облучения и охране окружающей среды от радиоактивных загрязнений, при этом суммарная доза от внешних и внутренних источников излучений не должна превышать допустимого уровня, который установлен НРБ-99/2009.

5.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Электронный ускоритель очень сложная система, которая отличается повышенной пожарной и радиоактивной опасностью. В ходе работы установки есть вероятность выхода из строя системы охлаждения, что может привести к пожару и даже взрыву, впоследствии которого произойдёт внешнее и внутреннее облучение.

Необходимо рассмотреть меры предупреждения и ликвидации последствий аварий (согласно ОСП-72/87 и НРБ-99/2009):

- прогнозирование аварийных ситуаций (пожар);
- порядок информирования вышестоящих организаций при возникновении аварийной ситуации;
- разработка мероприятий по ликвидации ЧС;
- правила поведения персонала при аварии;
- лечебно-профилактические мероприятия при внешнем и внутреннем облучении при аварии;
- ликвидация последствий аварии и защита персонала.

Ответственность за проведение мер по ликвидации последствий аварии несёт администрация учреждения, в котором произошла авария. Ускорители должны быть оборудованы автоматами, которые отключают питание сети при возникновении пожара или взрыва. Также необходимым

условием для ускорителей II группы является наличие автоматического и ручного устройства для его отключения при отказе резервной вентиляции. В конструкции такого ускорителя необходимо предусмотреть на проектировочной стадии способы очистки воды, предназначенной для охлаждения его отдельных узлов.

Персонал, отвечающий за проведение ремонтных работ и работ, связанных с устранением последствий аварии должен быть обеспечен средствами индивидуальной защиты кожных покровов и органов дыхания.

В технической документации ускорителя должна содержаться информация о конструкционных материалах, подвергающихся активации в процессе облучения. При обнаружении дефектов в радиационной защите ускорителя следует немедленно отключить его от питания.

Пожарная безопасность

Пожарная безопасность предусматривает обеспечение безопасности людей и сохранения материальных ценностей предприятия на всех стадиях его жизненного цикла. Основными системами пожарной безопасности являются системы предотвращения пожара и противопожарной защиты, включая организационно-технические мероприятия.

Возникновение пожара в кабинете может быть обусловлено следующими факторами: в современных ПК очень высокая плотность размещения электронных схем. При протекании по ним электрического тока выделяется значительное количество тепла, что может привести к повышению температуры отдельных узлов до 100 ºС. При этом возможно оплавление изоляции соединительных проводов, их оголение, как следствие - короткое замыкание, сопровождаемое искрением.

Следовательно, для целей обеспечения пожарной безопасности эксплуатация ПК и микротвердомера связана с необходимостью проведения обслуживающих, ремонтных и профилактических работ. При этом используются различные смазочные материалы, легковоспламеняющиеся жидкости, прокладывают временные электропроводки, ведут пайку и чистку

отдельных узлов и деталей. Также всегда есть вероятность дополнительной пожарной опасности, которая требует соответствующих мер пожарной профилактики.

Пожарная профилактика – комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, на предотвращение пожара, ограничение его распространения, а также на создание условий для успешного тушения пожара. Успех борьбы с пожаром во многом зависит от его своевременного обнаружения и быстрого принятия мер по его ограничению и ликвидации.

Исходя из установленной номенклатуры обозначений зданий по степени пожароопасности, анализируемое в данной работе помещение относится в категории

Среди организационных и технических мероприятий, осуществляемых для устранения возможности пожара, выделяют следующие меры:

1. Использование только исправного оборудования;

2. Проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;

3. Назначение ответственного за пожарную безопасность помещений предприятия;

4. Издание приказов по вопросам усиления пожарной безопасности

5. Отключение электрооборудования, освещения и электропитания по окончании работ;

6. Курение в строго отведенном месте;

7. Содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

В кабинете должны висеть огнетушители, а также силовой щит, который позволяет мгновенно обесточить его. На видном месте в коридорах вывешены инструкции и обязанности сотрудников и план эвакуации в случае пожара. В случаях, когда не удается ликвидировать пожар самостоятельно,

необходимо вызвать пожарную охрану и покинуть помещение, руководствуясь разработанным и вывешенным планом эвакуации.

На рисунке 5.1 представлен план эвакуации при пожаре и других ЧС из кабинета 315.

Рисунок 5.1 – План эвакуации при пожаре и других ЧС из кабинета 315.

5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Помещения должны иметь естественное и искусственное освещение. Расположение рабочих мест за мониторами и другими приборами для взрослых пользователей в подвальных помещениях не допускается.

Площадь на одно рабочее место с компьютером и другими приборами для взрослых пользователей должна составлять не менее 6 м2, а объем не менее -20 м3.

Помещения с компьютерами должны оборудоваться системами отопления, кондиционирования воздуха или эффективной приточно-вытяжной вентиляцией.

Для внутренней отделки интерьера помещений с компьютерами и другими световыми приборами должны использоваться диффузно-отражающие материалы с коэффициентом отражения для потолка — 0,7-0,8; для стен — 0,5-0,6; для пола — 0,3-0,5.

Поверхность пола в помещениях эксплуатации компьютеров и других световых приборов должна быть ровной, без выбоин, нескользкой, удобной для очистки и влажной уборки, обладать антистатическими свойствами. В помещении должны находиться аптечка первой медицинской помощи.

Выводы

В работе изучена особенность формирования структуры и свойств покрытий, переходной зоны между наплавленным покрытием и основным металлом (сталь 40Х), зоны термического влияния в зависимости от числа проходов релятивистского электронного пучка выведенного в атмосферу. На основе полученных данных можно сделать следующие выводы.

1. Для покрытий характерно дендритное строение наплавленного металла. Толщина упрочненного слоя увеличивается с 1200 до 1700 мкм при переходе от одного к двум проходам электронного пучка. По границам дендритов выделяется эвтектика, состоящая из древовидных кристаллов карбида типа М6С. В этих же областях наблюдаются равноосные дисперсные выделения частиц карбида ванадия. Количество остаточного аустенита для покрытий, полученных за первую и вторую обработки электронным пучком увеличивается с ~15 до ~20 % об.

2. Общая протяженность ЗТВ для обоих образцов не превышает 2,4…2,5 мм. В зоне термического влияния, помимо переходной зоны между наплавленным покрытием и основным металлом, можно выделить три участка, отличающихся макростроением.

3. Для образца, покрытие которого было сформировано за один проход, участок, непосредственно прилегающий к переходной зоне, имеет грубую мартенситно-бейнитную структуру, толщина которого не превышает 600 мкм. Далее формируются два участка, в которых уменьшается размер, как ферритных зерен, так и перлитных колоний. Это обусловлено для более нагретого металла перекристаллизацией, а для участка 3 – рекристаллизацией. Толщина участка 2 составляет ~1000 мкм, а участка 3 – 700 мкм.

4. Для образца, наплавленного за два прохода электронного луча, участок с грубой мартенситно-бейнитной структурой отсутствует. Все три участка по мере удаления от зоны сплавления характеризуются увеличением дисперсности структурных составляющих. Это обусловлено меньшей температурой в ЗТВ при нанесении металла покрытия во втором проходе.

5. Покрытие имеет среднюю величину HV на уровне 7 ГПа. В ЗТВ для участков 1 и 2 характерно повышение микротвердости до 3,5…4 ГПа, что связано с присутствием в структуре первого участка мартенсита и бейнита, и дисперсной структуры перлита во втором участке. Далее величина микротвердости спадает до исходного значения 2…2,5 ГПа, характерного для отожженной стали 40Х. Необходимо отметить, что для второго образца, где для всей зоны термического влияния характерна более дисперсная структура, разброс микротвердости менее значителен.

6. В работе разработаны разделы «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» и «Социальная ответственность».

Список используемой литературы

1. Joos O., Boher C., Vergne C., Gaspard C., Nylen T., Rezaı-Aria F. Assessment of oxide scales influence on wear damage of HSM work rolls // Wear 2007. – N.263. – P. 198-206.

2. Fadeev S.N., Golkovski M.G., Korchagin A.I., Kuksanov N.K., Lavruhin A.V., Petrov S.E., Salimov R.A. and Vaisman A.F. Technological applications of BINP industrial electron accelerators with focused beam extracted into atmosphere. // Radiation Physics and Chemistry 2000. – V.57. – N. 3-6. – P. 653-655.

3. Гнюсов С.Ф., Дураков В.Г. Электронный луч в формировании неравновесных структур / Издательство Томского политехнического университета – Томск, 2012, 112 с.

4. L.M. Vilhena, C.M. Fernandes, E. Soares, J. Sacramento, A.M.R. Senos, A. Ramalho Машиностроительный центр университета Коимбра (CEMUC), Отделение машиностроения, Университет Коимбра, 3030-788 Колумбия, Португалия. L.M. Vilhena et al. / Wear 346-347 (2016) 99–107

5. Vytenis Jankauskas, Maksim Antonov, Valentinas Varnauskas, Remigijus Skirkus, Dmitri Goljandin a Институт транспортно-энергетического машиностроения, Университет Александраса Стулгинскиса 11, Академия, LT-53361 район Каунас, Литва. V. Jankauskas et al. / Wear 328-329 (2015) P. 378–390.

6. Xiaojun Xu, Sybrand van der Zwaag, Wei Xu b Государственная ведущая лаборатория проката и автоматизации, Северо-Восточный университет, 110819 Шеньян, Китай. X. Xu et al. / Wear 348-349 (2016) 148–157.

7. Стали и сплавы. Марочник: Справ. изд./ В.Г. Сорокин и др., Науч с77 ред. В.Г. Сорокин, М.А. Гервасьев-М: «Интермет Инжиниринг», 2001.-608с.: ил.

8. Ю.М. Лахтин. Металловедение и термическая обработка металлов. Издание 3-е, переработанное и дополненное. Москва «Металлургия» 1983.

9. Xiaojun Xu, Sybrand van der Zwaag, Wei Xu b Государственная ведущая лаборатория проката и автоматизации, Северо-Восточный университет, 110819 Шеньян, Китай. X. Xu et al. / Wear 348-349 (2016) 148–157.

10. Полетика И.М, Голковский М.Г. и др. Формирование упрочняющих покрытий методом наплавки в пучке релятивистских электронов//Физика и химия обработки материалов. 2005.-№5.-С. 29-41.

11. Гнюсов С.Ф, Дураков В.Г. и др. Ч.1. Особенности технологии наплавки и подготовки композиционных наплавочных смесей// Сварочное производство. 2007.-№12.-с 12-15.

12. Хасуи А, Моригаки О. Наплавка и напыление/Пер. с яп. В.Н. Попова; Под ред. В.С. Степина, Н.Г. Шестеркина. - М.; Машиностроение, 1985.-240с., ил.

13. Григорьянц А.Г. Технологические процессы лазерной обработки: Учеб. пособие для вузов/ Под ред. А.Г. Григорьянца. - М.; Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2006.- 664 с.: ил. -ISBN 5-7038-2701-9.

14. Григорьев С.Н., Волосова М.А. Нанесение покрытий и поверхностная модификация инструмента. Учебное пособие. М.: ИЦ МГТУ «СТАНКИН», Янус-К, 2007-324 с.

15. КлебановЮ.Д., Григорьев С.Н. Концентрированные потоки энергии в процессах обработки материалов: Учебник. - М.: ИЦМГТУ «СТАНКИН»,Янус-К, 2004. – 224с.

16. ПолякМ.С. Технология упрочнения: Технологические методы упрочнения. В 2-хт. Т.1. М.: Машиностроение, Л.В.М.- СКРИПТ, 1995, 827 с.

17. ПолякМ.С. Технология упрочнения: Технологические методыупрочнения.В2-хт. Т.2. –М.: Машиностроение, Л. В.М.- СКРИПТ, 1995, 685 с.

18. Атрошенко А.П., Федоров В.И. Металлосберегающие технологии кузнечно-штамповочного производства. - Ленинград: Машиностроение, 1990. - 279 с.

19. G.I. Kanel, S.V. Razorenov, A.V.Utkin, K. Baumung. Preprint of Scientific Association IVTAN of RAS; 1996.

20. A.E. Mayer, V.S. Krasnikov. Eng. Fracture Mechanics, 2011. - 78 (6) – P. 306.

21. S.F. Gnyusov, V.P. Rotshtein, S.A. Kitsanov, A.E. Mayer, , K.V. Khishchenko, P.R. Levashov. Abstract book 3rd International congress on radiation physics, yigh current electronics, and modification of materials. Tomsk, Russia, 17-21 Sept. 2012. - P. 371-372.

22. Итин В. И., Коваль И. Н., Лыков С. В. И др. Поверхностное упрочнение сплавов на основе железа при воздействии интенсивного импульсного электронного пучка // Известия вузов МВ и ССО СССР. Физика, 1985. - № 6. - С. 38-43.

23. Champion A. R., Rohde R. W. Hugoniot Equation of State and the Effect of Shock Stress Amplitude and Duration on the Hardness of Hadfield Steel // Journal of applied physics, 1970. - V 41. - № 5. - P. 2213-2223.

24. G.I. Kanel, S.V. Razorenov, A.V.Utkin, K. Baumung. Preprint of Scientific Association IVTAN of RAS; 1996.

25. Krasnikov V. S., Mayer A. E. Numerical investigation of the change of dislocation density and microhardness in surface layer of iron targets under the high power ion- and electron-beam treatment // Surface & Coatings Technology, 212 (2012). - P. 79–87.

26. Кульков С.Н., Гнюсов С.Ф. Карбидостали на основе карбидов титана и вольфрама. НТЛ, 2006. 240 с.

27. Ламбакахар О. О., Паскаль Ю. И. Дислакационное упрочнение высокомарганцевой стали // Известия вузов. Физика, 1973. - №7. - С. 26-30.

28. F.C. Liu, Z.N. Yang, C.L. Zheng and F.C. Zhang. Simultaneously improving the strength and ductility of coarse-grained Hadfield steel with increasing strain rate // Scripta Materialia, 66 (2012) - P. 431–434.

29. Колосков М. М., Долбенко Е. Т., Каширский Ю. В., и др. Марочник сталей и сплавов.М.: - Машиностроение, 2001. 672 с.

30. Echigoya I., Hauashi S., Yamamato M. Plastic deformation of iron-nickel invar alloys // Phys. Status solidi a, 1972. - Vol. 14. - N 2. - P. 463-471.

31. Пикеринг Ф.Б.. Физическое металловедение и разработка сталей. М.: Металлургия, 1982. 182 с.

32. Сагарадзе В.В., Уваров А.И. Упрочнение аустенитных сталей. М.: - Наука, 1989. 270 с.

33. V.P. Rotshtein, Yu.F. Ivanova D.I. Proskurovsky, K.V. Karlika, I.A. Shulepov, A.B. Markov. Microstructure of the near-surface layers of austenitic stainless steels irradiated with a low-energy, high-current electron beam // Surface and Coatings Technology, 2004. – P. 382–386.

34. V.S. Krasnikov, A.E. Mayer, A.P. Yalovets. Intern. J. of Plasticity, 2011 - 27 (8). – P. 1294.

35. A.B. Krupin, V.Ya. Solovyov, G.S. Popov, M.R. Krstev. Explosive processing of the metals, Moscow: Metallurgia, 1991, 496 p. [in Russian]

36. S.F. Gnyusov, V.P. Rotshtein, S.D. Polevin, S.A. Kitsanov. Rus. Phys., 2011 - J. 53 - (19). - P. 1046.

37. A.E. Mayer, V.S. Krasnikov. Eng. Fracture Mechanics, 2011. - 78 (6) – P. 306.

38. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: метод. указания / Том. пол-й. ун-т. – Томск 2014. – 73 с.

39. Блохин М.А. Физика рентгеновских лучей. – М: Гос. изд-во техн.-теор. лит-ры, 1957. – 518 с.

40. Шпольский Э.В. Атомная физика. – М:. 1974. – 475 с.