

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
Упрочнение малоуглеродистой феррито-перлитной стали под действием сильноточного наносекундного релятивистского электронного пучка
УДК 669.194.56:533.9

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-4602	Погорелый Т.К.		30.05.2016 г.

Руководитель

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

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

 (Подпись) (Дата) Киселев А.С.
 (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-4602	Погорелый Тарас Константинович

Тема работы:

Упрочнение малоуглеродистой феррито-перлитной стали под действием сильноточного наносекундного релятивистского электронного пучка	
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 <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Комплект образцов из стали 20 включающий образцы после различных видов термической обработки и облученных мегавольтным электронным пучком.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования;</i>	1. Аналитический обзор литературы по теме исследования 2. Постановка задачи исследования 3. Объекты и методы исследования 4. Результаты работы 5. Обсуждение результатов выполненной работы
<i>содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	6. Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение 7. Социальная ответственность 8. Заключение

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Название, цель и задачи работы 2. Материалы и методы исследования 3. Микроструктура стали в зависимости от режима термической обработки образцов 4. Внешний вид образцов после нагружения ударной волной 5. Микротвердость образцов в зависимости от режима термической обработки и ее профиль по толщине мишени после нагружения ударной волной 6. Микроструктура образца мишени со стороны фронта (лунки абляции) 7. Микроструктура образца мишени с тыльной стороны (откольная часть) 8. Результаты дифрактограмм 9. Экономическая часть и социальная ответственность 10. 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
3-4602	Погорелый Т.К.		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
26.05.2016	4. Результаты работы	10
27.05.2016	5. Обсуждение результатов выполненной работы	20
05.05.2016	6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
17.05.2016	7 Социальная ответственность	10
28.05.2016	8 Заключение	10
30.05.2016	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

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-4602	Погорелый Тарас Константинович

Институт	Электронного обучения	Кафедра	ОТСП
Уровень образования	Специалист	Направление/специальность	ОТСП

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ)	Стоимость применяемого оборудования для проведения эксперимента, заработная плата с учетом районного коэффициента, стоимость электроэнергии
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	...
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления от заработной платы по единому социальному налогу 30%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)	Экономическая целесообразность применения научного исследования
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР	Планирование комплекса работ по выбранной теме
3. Обоснование необходимых инвестиций для разработки и внедрения ИР	...
4. Составление бюджета инженерного проекта (ИП)	Привести затраты на приобретение оборудования и материалов
5. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИР и потенциальных рисков	Рассчитать трудозатраты, энергозатраты, затраты на материалы, амортизацию оборудования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. «Портрет» потребителя
2. Оценка конкурентоспособности ИР
3. Матрица SWOT
4. Модель Кано
5. ФСА диаграмма
6. Оценка перспективности нового продукта
7. График разработки и внедрения ИР
8. Инвестиционный план. Бюджет ИП
9. Основные показатели эффективности ИП
10. Риски ИП

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-4602	Погорелый Т.К.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-4602	Погорелый Тарас Константинович

Институт	Электронного обучения	Кафедра	ОТСП
Уровень образования	Специалист	Направление/специальность	ОТСП

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования	Объектом исследования является феррито-перлитная сталь 20 упрочненная сильноточным наносекундным релятивистским электронным пучком Оборудование: электронный ускоритель „СИНУС-7“ генерирующий ударные волны. Электронный пучок формировался в вакуумном диоде. Основное время работы проводилось за ЭВМ
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность: 1.1. Анализ выявленных вредных факторов 1.2. Анализ выявленных опасных факторов	1.1 При работе ускорителя электронов, присутствуют следующие вредные факторы: - Мощные электромагнитные поля; - Высокое электрическое напряжение; Действие выявленных вредных факторов на организм человека: Основным вредным фактором является электромагнитное поле. Находящегося в электромагнитном поле человек поглощает его энергию, в тканях возникают высокочастотные токи с образованием теплового эффекта. Биологическое действие электромагнитного излучения зависит от длины волны, напряженности поля, длительности и режима воздействия. При воздействии на человека электромагнитного поля возникают нарушения электрофизиологических процессов в центральной нервной и сердечнососудистой системах, функций щитовидной железы, генеративной функции организма. Ссылки на соответствующие нормативно-технический документы: САНПИН 2.2.4.1191-03. Предлагаемые средства защиты: В основном защита от действия электромагнитного поля сводится к экранированию, которое снижает электромагнитное поле, находящееся в радиусе рабочей зоны. В качестве СИЗ используют защитную одежду, которая изготавливается из металлизированной ткани или другой ткани с высокой электропроводностью. 1.2 При работе над проектом возможно влияние опасных факторов, таких как: - попадание неорганических кислот на кожу человека; - поражение электрическим током Попадание неорганических кислот на кожу возможно при травлении шлифов 4% раствором азотной кислоты (HNO_3) в этиловом спирте. Средствами защиты при работе с кислотами являются защитные очки, фартук непромокаемый, перчатки резиновые. Поражение электрическим током возможно при работе на ПЭВМ. Защитными средствами являются предохраняющие устройства, изоляторы, защитное заземление.
2. Экологическая безопасность:	При разработке проекта в качестве осветительных приборов использовались люминесцентные лампы, в которых присутствует некоторое количество ртути. Проблема с выбросом перегоревших люминесцентных ламп решаема при выполнении требований утилизации соответствующих ламп.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Электронный ускоритель «СИМУС-7» является сложным техническим устройством, которое отличается повышенной пожарной опасностью. В ходе работы установки есть вероятность выхода из строя системы охлаждения, что может привести к пожару или небольшому взрыву.

4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	Поверхность напольного покрытия в помещениях, где эксплуатируются ЭВМ и других приборы должна быть ровной, без выбоин, не должна быть скользкой, обладать антистатическими свойствами. В помещении должна находиться аптечка первой медицинской помощи. Помещения с ЭВМ должны оборудоваться системой отопления в зимний период и охлаждения воздуха в летний период. В помещениях так же должна быть эффективная приточно-вытяжная вентиляция. Помещения должны иметь естественное и искусственное освещение. Не допускается расположение рабочих мест за мониторами и другими приборами в подвальных помещениях.
---	---

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-4602	Погорелый Тарас Константинович		

Реферат

Выпускная квалификационная работа – 86 страниц, 16 рисунков, 9 таблиц, 45 использованных источников.

Ключевые слова: феррито-перлитная сталь 20, мегавольтный пучок, ударно-волновое нагружение, микротвердость, упрочнение.

Предметом исследования является изучение структуры образцов феррито-перлитной стали 20 после воздействия мегавольтного электронного пучка наносекундной длительности и ее сравнение с формируемой микроструктурой после различных скоростей охлаждения (закалки).

Объектом исследования являются образцы стали 20.

Цель работы – исследование закономерностей ударно-волнового упрочнения и откольного разрушения плоских мишеней из феррито-перлитной стали 20, при воздействии сильнофокусированного электронного пучка.

В процессе работы исследовалась микроструктура и микротвердость образцов стали 20, полученная в результате различных скоростей охлаждения и динамического нагружения электронным пучком.

Для достижения цели были решены следующие задачи:

- составлен обзор литературы по теме, сформулирована постановка задач и цель исследования;
- подготовлены образцы с различными скоростями охлаждения (отжиг при температуре 880°C с последующим охлаждением на воздухе, масле и воде);
- проанализирована структура стали 20 в зависимости от режимов термической обработки;
- произведено ударно-волновое нагружение образцов;
- произведен анализ структуры по толщине мишени, построен профиль микротвердости по толщине образца;
- измерены геометрические размеры лунки абляции;
- по проделанной работе сделаны соответствующие выводы.

Abstract

Graduation thesis – 86 pages, 16 figures, 9 tables, 45 references.

Key words: ferritic-pearlitic steel 20, megavoltage beam, shockwave loading, microhardness, hardening.

The subject of the study is to investigate the structure of samples of ferritic-pearlitic steel 20 after megavoltage E-beam (electron beam) processing with nanosecond duration and its comparison with formed microstructures after different quenching rates.

The object of the study is samples of ferritic-pearlitic steel 20.

The objective of the study is to investigate the behavior of shockwave hardening and spall fracture of flat targets made of ferritic-pearlitic steel 20 under the influence of high-current electron beam.

Microstructure and microhardness of steel 20 samples resulting from different quenching rates and dynamic loading of an E-beam were examined during the study.

The following actions were done to fulfill the objective:

- review of the literature on the subject and setting the problem and the objective of the study;
- samples preparing with different quenching rates (annealing at 880 °C followed by air, oil and water quenching);
- analyzing the structure of steel 20 depending on heat treatment conditions;
- producing shockwave loading of samples;
- analyzing the structure through the target thickness and forming the microhardness profile through the sample thickness;
- geometry measuring of an ablation crater;
- making up the corresponding conclusions on the study.

Определения, обозначения, сокращения и нормативные ссылки

В настоящей работе применены следующие термины с соответствующими определениями.

Аустенит – твердый раствор углерода и различных легирующих элементов в железе, с кристаллической решеткой гранецентрированного куба.

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

Перлит – эвтектоидная смесь двух равновесных при комнатной температуре фаз: феррита и цементита.

Мартенсит – пересыщенный твердый раствор углерода в объемно-центрированной тетрагональной решетке образовавшейся бездиффузионным путем.

Двойникование – появление в кристалле участков с разной ориентацией кристаллической решетки, объединенных зеркальным отражением в определённой плоскости.

В настоящей работе применены следующие обозначения и сокращения:

- ОЦК – объемно-центрированная кубическая решетка;
- ГЦК – гранецентрированная кубическая решётка;
- УВ – ударная волна;
- α – феррит;
- γ – аустенит.

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

- ГОСТ 1050 – 88 Прокат сортовой, калиброванный, со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали;

- ГОСТ 19.102-77. Единая система программной документации. Стадии разработки;
- СанПиН 2.2.4.1191-03 Электромагнитные поля в производственных условиях;
- СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки;
- ГОСТ 12.1.003–83. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности;
- СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение;
- ГОСТ Р 54944-2012. Здания и сооружения. Методы измерения освещенности;
- ГОСТ 30494-96. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях;
- ГОСТ 12.1.005–88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны;
- ПБ 09-596-03. Правила безопасности при использовании неорганических жидких кислот и щелочей;
- ГОСТ Р 12.1.019-2009. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты;
- ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации;
- СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.

Оглавление

Введение.....	14
1 Обзор литературы	16
1.1 Малоуглеродистые феррито-перлитные и аустенитные стали (структура и фазовый состав)	16
1.1.1 Малоуглеродистая феррито-перлитная сталь 20	20
1.1.2 Аустенитные стали.....	22
1.2 Поведение аустенитных сталей в условиях ударного нагружения	24
1.2.1 Микротвердость образцов после ударного нагружения	25
1.2.2 Измельчение зерна в результате ударного нагружения	28
1.2.3 Остаточные напряжения после ударного нагружения	30
1.2.4 Образование новых фаз	31
1.2.5 Влияние ударного нагружения на двойникование в аустенитных сталях	32
1.2.6 Воздействие наносекундного релятивистского сильноточечного электронного пучка	33
1.3 Характер деформации и разрушения феррито-перлитных статей в условиях квазистатического и динамического нагружения	35
1.4 Постановка задач	40
2 Объект и методы исследования	43
3 Результаты и обсуждение	45
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	56
4.1 Исходные данные для проведения анализа.....	56
4.2 Оборудование и материалы	56
4.3 Планирование комплекса работ по разработке темы	57
4.4 Расчет затрат на разработку проекта	59
4.4.1 Стоимость основных материалов	59
4.4.2 Расчет затрат на основную заработную плату	59
4.4.3 Расчет затрат на электроэнергию	61

4.4.4 Амортизационные отчисления.....	62
4.4.5 Смета затрат на разработку проекта	63
4.5 Экономическая целесообразность применения научного исследования	63
5 Социальная ответственность.....	65
5.1. Производственная безопасность	65
5.1.1. Анализ выявленных вредных факторов.....	65
5.1.1.1 Основные вредные факторы	65
5.1.1.2 Производственный шум	66
5.1.1.3 Исследование освещенности рабочей зоны	67
5.1.1.4 Воздушная среда и микроклимат в помещении	70
5.1.2. Анализ выявленных опасных факторов.....	71
5.1.2.1 Работа с неорганическими кислотами	71
5.1.2.2 Требования электробезопасности	72
5.2 Экологическая безопасность	74
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	75
5.3.1 Пожарная безопасность	77
5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	79
Заключение	80
Список использованных источников	82

Введение

Самыми востребованными в машиностроении являются мало- и среднеуглеродистые конструкционные стали для изготовления деталей механизмов и машин. Их объем выпуска металлургическими комбинатами достигает 80 % от общего количества марок выпускаемых сталей.

Изделия из этих сталей работают в различных отраслях машиностроения, где к ним предъявляются не только высокие традиционные механические свойства, но и способность выдерживать динамические нагрузки [1-25]. Это, например, возможность безаварийной работы конструкций в условиях гидравлических и механических ударов (газо- и нефтепроводы, пуансоны, матрицы, валы и т.д.). Поэтому существует необходимость рассматривать поведение таких сталей в условиях ударно-волнового нагружения.

В настоящее время в литературе широко рассматривается подобное поведение сталей аустенитного класса (сталь Гадфильда, сталь 12X18H10T (304L)) в условиях воздействия механического удара, лазерного ударного нагружения или сильноточного электронного пучка [7-17]. Данные стали находятся в однофазном состоянии, или в них присутствует незначительное количество второй фазы в виде первичного δ -феррита (сталь 12X18H10T), или карбида цементитного типа M_3C . Для стали типа 304L имеется уравнение состояния, по которому можно оценить основные динамические характеристики. В [16,17] были рассмотрены особенности деформационного поведения и откольного разрушения массивных образцов толщиной до 10 мм из поликристаллической стали Гадфильда (110Г13) и стали 304L при ударно-волновом нагружении (скорость деформации $\sim 10^6 \text{ с}^{-1}$), инициируемом воздействием наносекундного релятивистского сильноточного электронного пучка. Включения δ -феррита располагались параллельно направлению распространения ударной волны.

Отличительной особенностью мало- и среднеуглеродистых сталей является наличие в их структуре как минимум двух структурных

составляющих – феррита и перлита. Из работы [14] известно, что даже при статическом нагружении перлитные колонии и их расположение по отношению к прикладываемой нагрузке оказывает влияние на деформационное поведение и разрушение.

Целью настоящей работы является исследование закономерностей ударно-волнового упрочнения и откольного разрушения плоских мишеней из феррито-перлитной стали 20 при воздействии сильнофокусированного электронного пучка.

1 Обзор литературы

1.1 Малоуглеродистые феррито-перлитные и аустенитные стали (структура и фазовый состав)

Малоуглеродистыми феррито-перлитными сталями называются стали с содержанием углерода до 0,25%. Структурой данных сталей является феррито-перлитная смесь.

Феррит – это твёрдый раствор внедренного углерода и других элементов в α -железе (ОЦК решетка). Параметр решетки α -железа при комнатной температуре равен 0,286 нм [1]. В свободном состоянии атомы углерода имеют радиус 0,154 нм, а октаэдрические и тетраэдрические поры в ОЦК решетке имеют диаметр 0,064 нм, поэтому растворимость углерода в феррите очень мала и достигает всего 0,02% при температуре 20 °С. Оставшийся углерод выпадает в виде соединений цементита и других карбидов.

Цементит – это химическое соединение железа с углеродом - карбид железа (Fe_3C). Он содержит углерода 6,67 мас. % и является метастабильной фазой. Его твердость более 800 НВ и он практически не пластичен. Имеет орторомбическую кристаллическую решетку. На рисунке 1 изображена орторомбическая кристаллическая решетка [1].

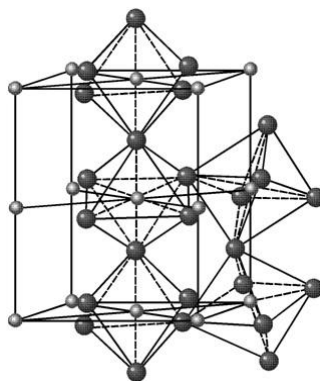


Рисунок 1 - Орторомбическая кристаллическая решетка цементита [1]

Небольшой составляющей малоуглеродистых феррито-перлитных сталей является перлит. Перлитом называют эвтектоидную смесь фаз феррита и цементита. В перлите поочередно чередуются пластинки феррита

и цементита [1]. В зависимости от дисперсности пластинок цементита эвтектоидная смесь делится на перлит, сорбит и тростит.

В результате промежуточного превращения аустенита, в интервале температур ниже перлитного превращения и выше образования мартенсита, формируется структура бейнита. Бейнит – игольчатый тростит, происхождение которого сначала носит диффузионный, а в конце бездиффузионный характер [2].

Полностью бездиффузионный характер превращения наблюдается при образовании мартенсита. Мартенсит – это пересыщенный твердый раствор углерода в α -железе [3]. Превращение происходит по сдвиговому механизму путем одновременно перемещения атомов железа по определенным плоскостям на менее чем межатомное расстояние. Железо из γ -решетки переходит в α -ОЦТ решетку, при этом соседние атомы остаются соседними. Весь углерод, который находился в аустените остается в α решетке, в результате чего решетка искажается. Мартенсит имеет объемно-центрированную тетрагональную (ОЦТ) кристаллическую решетку, а степень тетрагональности зависит от содержания в стали углерода. Объемно-центрированная тетрагональная кристаллическая решетка мартенсита показана на рисунке 2.

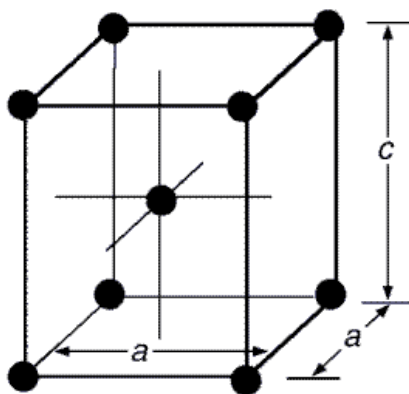


Рисунок 2 – Объемно-центрированная тетрагональная кристаллическая решетка мартенсита [3]

Углерод располагается в объеме ячейки. На поверхности шлифа мартенсит имеет игольчатый или пластинчатый вид.

Аустенитные стали – это высоколегированные сплавы, у которых гранецентрированная решетка сохраняется от температур кристаллизации до комнатных и ниже [1-4].

Аустенитом называют твердый раствор углерода и различных легирующих элементов в железе с кристаллической решеткой гранецентрированного куба (ГЦК). ГЦК решетка представлена на рисунке 3.

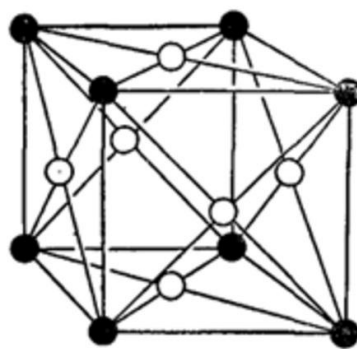


Рисунок 3 - ГЦК решетка [1]

Аустенит может растворять в себе различное количество углерода. Максимальное количество углерода составляет 2.14% при температуре 1147 °С. При понижении температуры растворимость падает и составляет 0,8% углерода при температуре 727 °С [1-4].

В аустенитных сталях могут содержаться и другие фазы, например, δ -Fe с ОЦК решеткой или мартенсит. Для стабилизации ГЦК решетки аустенитные стали легируют аустенизаторами. К аустенизаторам относятся такие металлы как марганец, никель, медь, кобальт. К неметаллическим аустенизаторам относят углерод и азот. Для стабилизации аустенитных свойств стали могут легировать как одним элементом, так и несколькими из представленных, но важно отметить, что концентрация элементов должна превышать определенные значения [1-4].

Железо с углеродом являются полиморфными элементами, которые под действие температуры и давления могут изменять кристаллическую решетку. Все легирующие элементы, которые находятся в твердом растворе, влияют на полиморфное превращение и его температурный интервал [1-4].

Под определением структура понимается расположение различных фаз, их строение, различные формы и размеры. В значительной мере структура сталей зависит от химического состава, режима термообработки и воздействий, проводимых на стадии обработки. Фазой называется однородная часть сплава, которая имеет границу, и при переходе этой границы, свойства и состав значительно изменяются [1-4].

Микроструктура малоуглеродистых сталей после отжига состоит из зерен феррита, которые после травления наблюдаются как светлые участки, и зерен перлита, которые имеют темный цвет. В малоуглеродистых сталях, при низких скоростях охлаждения, практически весь углерод находится в перлите [3]. Микроструктура стали 20 в отожженном состоянии после травления трехпроцентным раствором азотной кислоты в спирте и ее схематичное изображение представлено на рисунке 4 [3].

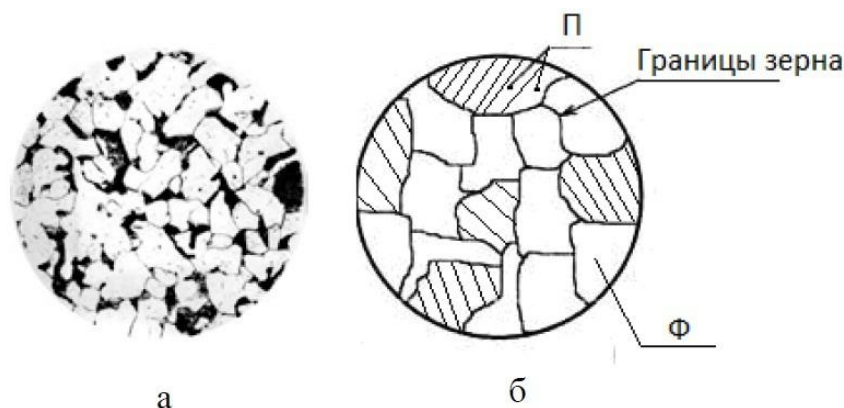


Рисунок 4 - (а) - Микроструктура стали 20, (б) - схематичное изображение доэвтектоидной стали [3]

После проведения термической обработки, в виде закаливания феррито-перлитных сталей, можно наблюдать микроструктуру мартенсита закалки и остаточного аустенита. Мартенсит на микрошлифах имеет игольчатое строение. Размер игл зависит от первоначального размера зерен аустенита.

Фазовый состав малоуглеродистых феррито-перлитных сталей, при комнатных температурах, в основном состоит из феррита и цементита, однако свойства сталей могут сильно различаться, отсюда можно сделать

вывод, что структура является главным фактором, определяющим свойства данного вида сталей. Фазовый состав в углеродистых сталях во многом зависит от количества углерода.

Данный вид сталей относится к технологически пластичным видам, то есть хорошо подвергается холодной и горячей пластической деформации. Высокий запас технологической пластичности позволяет малоуглеродистым сталям проходить холодную штамповку листового проката. Феррито-перлитные стали обладают способностью к глубокой вытяжке, и после обработки получается качественная поверхность для дальнейших операций [1-3].

1.1.1 Малоуглеродистая феррито-перлитная сталь 20

Нашла широкое применение в промышленности низкоуглеродистая феррито-перлитная сталь с содержанием углерода 0,2%. После нормализации или отжига из нее изготавливают крюки кранов, стропы, муфты, цилиндры, вкладыши подшипников и другие изделия. Сталь 20 широко используется для деталей, работающих в интервале температур от – 40 до + 450 °С под давлением.

После химико-термической обработки изготавливают шестерни, поршневые пальцы, фрикционные диски, то есть детали с высокой поверхностной твердостью и вязкой сердцевиной.

Согласно [5] сталь 20 имеет химический состав (вес. %): углерода 0.17 - 0.24; кремния 0.17 - 0.37; марганца 0.35 - 0.65; серы не более 0,040; фосфора не более 0,035; хрома не более 0,25; никеля не более 0.30; мышьяка не более 0,08; азота не более 0,008; меди не более 0,03.

Структурная схема строения сварного шва и зоны термического влияния для стали 20 представлена на рисунке 5 [6].

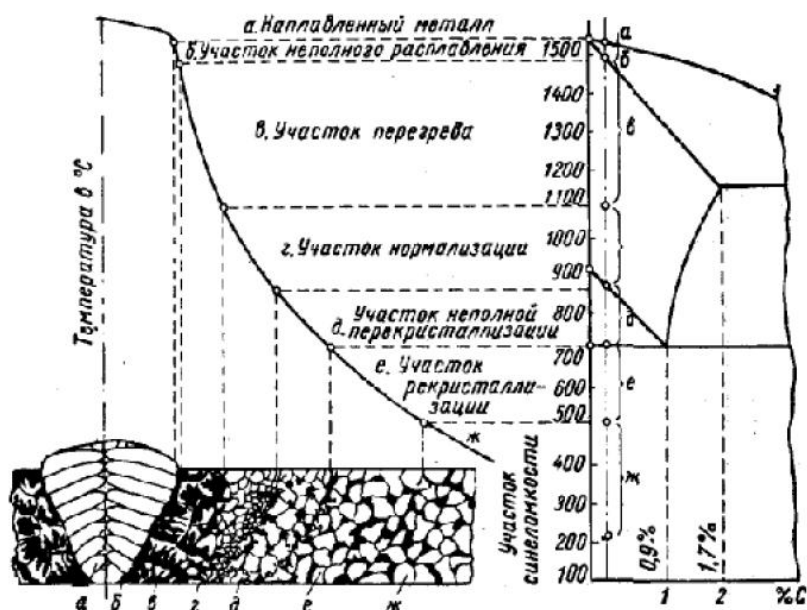


Рисунок 5 – Структурная схема сварного шва для стали 20 [6]

Первым является участок наплавленного металла, в котором схематично изображено сильное столбчатое строение кристаллитов. После сварки данный участок может содержать неметаллические включения, а также газы. В нем может проявиться зональная ликвация.

Вторым участком является зона неполного расплавления, в котором сильно выражена крупнозернистость. Данное строение связано с высокими температурами между точками затвердевания, отличается небольшой шириной участка.

Наиболее опасным участком в сварочном шве является участок перегрева, который отличается крупнозернистостью. По мере удаления от шва крупнозернистость снижается. Величина опасности участка перегрева растет с увеличением количества углерода в стали. Немаловажное влияние оказывает наследственная структура стали, хорошо бы, чтобы она была мелкозернистая.

Наилучшими механическими характеристиками обладает участок нормализации, который имеет мелкозернистую структуру. На этом участке сталь нагревается чуть выше температуры A_{c3} .

Нагретый при сварке участок между точками A_{c1} и A_{c3} называется участок неполной перекристаллизации. На данном участке не весь феррит

успел перекристаллизоваться и старые зерна чередуются с новыми, более мелкими.

Участок рекристаллизации имеет мелкозернистую структуру феррита и перлита. Данная область достигает температуры рекристаллизации, но нагревается ниже температуры A_{c1} .

Последний участок, который не имеет различия с основным металлом, называется участком синеломкости. По структуре он такой же, как и основной металл, но имеет чуть окисленные границы зерен, которые могут сильно снизить ударную вязкость [6]. Механические свойства стали 20 приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Механические свойства стали 20 [19]

Режим термообработки			Сечение, мм	$\sigma_{0,2}$ Н/мм ²	σ_B Н/мм ²	δ , %	Ψ , %	КСУ Дж/мм ²
Операция	t, °C	Охлажд. среда						
Нормализация	900-920	воздух	До 100	215	430	24	53	54
			100-300	215	430	20	48	49
			300-500	175	335	22	50	54

1.1.2 Аустенитные стали

В современном производстве широко применяются аустенитные стали. Различное легирование дает значительный спектр свойств данным сталям. Выделим основную классификацию аустенитных сталей по назначению [3-4]:

- жаростойкие стали;
- жаропрочные стали;
- криогенные стали;
- коррозионно-стойкие стали.

Яркими примерами аустенитных сталей служат 12Х18Н10Т и сталь Гадфильда, рассмотрим их подробнее.

Главной особенностью стали Гадфильда является то, что при увеличении степени деформации растет ее твердость. Это явление связывают со способностью стали сильно «наклепываться» или нагартовываться [18].

Основными направлениями для применения данной стали являются те, где необходима работа в условиях одновременного действия удара и абразива. Из нее изготавливают корпуса шаровых мельниц, конуса и щеки дробилок, звенья гусениц тракторов, стенки ковшей экскаваторов, железнодорожные крестовины и многие другие детали, в которых необходима высокая динамическая стойкость и значительная износостойкость [18]. Нагартованный слой может отличаться по толщине в зависимости от методов обработки. Необработанный слой подвержен сильному абразивному износу.

Входящий в состав марганец, совместно с углеродом, сильно расширяют γ -область, придавая стали широкий интервал температур в аустенитном состоянии. Для получения более однородного аустенита, и для уменьшения количества выделяемых карбидов сталь закаливают в воде.

В научных исследованиях ученые уделяют немало внимания стали Гадфильда, в том числе рассматривают закономерности ударно-волнового упрочнения.

Немалый вклад в изучение ударно-волнового упрочнения внесли исследования с применением образцов из хромоникелевых сталей 12X18H10T и 304L. Обладая высокой пластичностью и способностью к сильному упрочнению при холодной деформации, а так же хорошими коррозионными свойствами, жаростойкостью и жаропрочностью, сталь 12X18H10T получила своё широкое распространение практически во всех отраслях производства [1-4].

Благодаря ГЦК решетки аустенитные стали сохраняют большинство своих свойств и при отрицательных температурах. Ударная вязкость при снижении температуры изменяется незначительно, как и относительное сужение и удлинение. Температурный интервал работы стали 12X18H10T очень широк и составляет от -196 до 600 °C [19]. При деформации хромоникелевые стали способны претерпевать $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращение с образованием неустойчивого мартенсита.

12Х18Н10Т и аустенитные стали того же класса могут содержать в своей структуре небольшое количество высокотемпературного δ -феррита. Образование δ -феррита главным образом зависит от химического состава стали. С увеличением ферритообразующих элементов склонность δ -ферриту возрастает. При нижнем пределе никеля и высшем пределе содержания хрома возможно образование δ -феррита в стали 12Х18Н10Т до 25% [4], что в условиях ударного нагружения может сыграть немаловажную роль.

Для предотвращения межкристаллитной коррозии после сварки для стали 12Х18Н10Т проводят закалку на аустенит с 1000-1080°С с последующим охлаждением на воздухе или в воде, в зависимости от необходимых физических и механических свойств [4].

1.2 Поведение аустенитных сталей в условиях ударного нагружения

В работах [7-17] проводились исследования ударного нагружения аустенитных сталей (от скорости, времени воздействия, вида нагружения, амплитуды ударной волны и числа нагружений) на формирование дислокационных структур, двойников, образование новых фаз, упрочнение, уровни напряжений, а так же величину зерен их ориентацию.

Под ударными видами нагружения понимаются такие виды, как дробеструйное (ДУ) и интенсивное дробеструйное упрочнение (ИДУ), лазерная обработка ударной волной, упрочнение ультразвуковым импульсом (УУИ), упрочнение лазерным пучком (УЛП), упрочнение взрывом, электронным пучком и многие другие.

Ударное нагружение в аустенитных сталях используют для того, чтобы металлы подвергались интенсивной пластической деформации в поверхностных слоях. Большинство технологий приводят к образованию высокоразвитых дислокационных субструктур, двойников, измельчению зерна на поверхности, а также вызывают остаточное напряжение сжатия. Сжатие обеспечивает значительное упрочнение в приповерхностном слое металла, увеличивает сопротивление усталости и износу.

Микроструктурные особенности и фазовый состав в приповерхностных областях являются самыми важными параметрами для улучшения свойств материалов, которые подвергаются циклической ударной нагрузке или воздействию агрессивной среды.

В [13] показано, что более высокие плотности дислокаций наблюдались в образцах, деформированных при более высокой скорости. Эти наблюдения свидетельствуют о том, что твердость в деформированных образцах возрастает с увеличением скорости деформации при постоянном напряжении.

1.2.1 Микротвердость образцов после ударного нагружения

В зависимости от применяемой технологии ударного нагружения получаются различные уровни микротвердости за разные промежутки времени нагружения. В [9] исследовалось упрочнение ультразвуковым импульсом и лазерным пучком стали AISI 321. Упрочнение лазерным пучком было произведено с энергией $0.3\text{--}0.5\text{ ГВт/см}^2$ длительностью $20\text{--}30\text{ нс}$ и диаметром светового пучка 3.5 мм . Для ультразвукового импульса энергия вырабатывалась от ультразвукового генератора с частотой 18.7 кГц и выходной мощностью 4 кВт . Ударная нагрузка возникает в результате вибрации ультразвукового рупора. Опирающийся на пружину образец подвергался повторяющимся ударам ровной иглы, помещенной между образцом и вершиной рупора. Частота ударов в этой схеме равна 3 кГц .

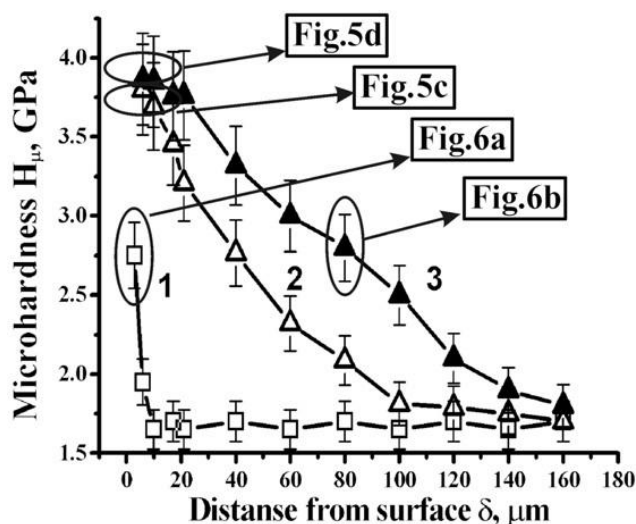


Рисунок 6 - Микротвердость (Microhardness) в зависимости от расстояния до поверхности (Distance from the surface) [9]

Главное сходство двух видов обработки - это образование плоской ударной волны, приводящей к специфическим микроструктурам в металлах, что необычно для испытаний с постоянной скоростью деформации. Можно оценить и сравнить эффекты от двух видов обработки на показатели микротвердости, используя рисунок 6.

График (1) показывает результаты после упрочнения лазерным пучком за 120 секунд. Упрочнение ультразвуковым импульсом проводилось с разной длительностью: график (2) – длительность 120 секунд, график (3) – 240 секунд. Из приведенного изображения видно, что поверхностная микротвердость возрастает постепенно и достигает максимального значения примерно 3.9 ГПа после обработки ультразвуковым импульсом, после чего прекращает возрастать. Это примерно на 40% выше, чем после упрочнения лазерным пучком (около 2.75 ГПа). Кроме того, глубина проникновения оказывается намного выше при упрочнении ультразвуковым импульсом и составляет примерно 80 мкм.

Рассмотрим значения микротвердости от количества ударных воздействий, рисунок 7. В [11] анализировалась аустенитная сталь марки AISI 304ss подверженная ударному нагружению лазера с частотой импульсов 1 Гц и длиной волны 1064 нанометра, длительностью 20 наносекунд. Размер лазерного пучка составлял 4 мм, а интенсивность лазерного излучения 4.3 ГВт/см².

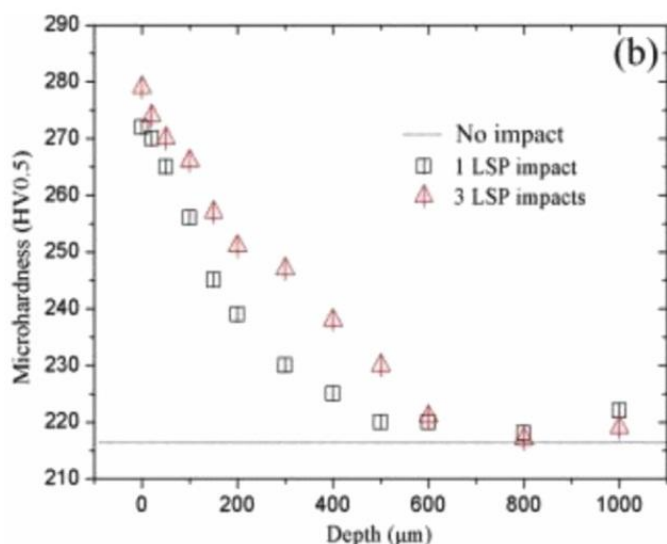


Рисунок 7 - Микротвердость (Microhardness) после лазерного упрочнения в зависимости от числа воздействий и глубины (Depth). Сплошной линией отмечена твердость не обработанных образцов [11].

Если сравнивать воздействие от одного и от трех нагружений лазерным ударом, то эффект от трех наиболее сильный. Образец обладает максимальной твердостью в 279 HV0.5 на поверхности, а это значительно больше, чем образцы, неподверженные обработке 216 HV0.5 [11].

Немаловажным фактором, влияющим на микротвердость образцов, является сила ударного нагружения. Данный вопрос рассматривался на образцах аустенитной марганцевой стали при разной силе удара [13]. Эксперименты по твердости показали, что способность деформационного упрочнения возрастает с силой удара [7,13]. Наилучший эффект упрочнения достигается только тогда, когда сила удара достигает или превышает критическую величину.

Наблюдения микроструктур показали, что плотность дислокаций, дефектов упаковки и деформационных двойников увеличивается с силой удара. При силе удара ниже критической микроструктура состоит из дислокаций, дефектов и малого количества двойников. Основным механизмом упрочнения является дислокационный. При силе удара выше критической - микроструктура состоит из двойников и высокой плотности дислокаций. Можно сделать вывод, что механизм деформационного

упрочнения – это механизм упрочнения двойникованием. В данном эксперименте не наблюдалось образования мартенсита, даже при максимальных силах удара [13].

Эффект двойникования сказывается на упрочнении стали выше, чем от дефектов упаковки, поэтому целесообразно формировать плотное двойникование для наиболее эффективного использования деформационного упрочнения аустенитных сталей [7,8,9,11-13].

Зависимость твердости аустенитной стали от скорости нагружения описываются на примере стали Гадфильда [12]. Сталь деформировалась со скоростью взрыва равной 7600 м/сек, и для сравнения была сжата со скоростью $3 \times 10^{-4} \text{ с}^{-1}$.

В данном исследовании были сделаны выводы, что при очень высокой скорости деформации (при взрыве) аустенитная сталь показывает твердость выше, чем образцы, деформированные при низкой скорости.

На основании приведенных материалов можно обнаружить, что на твердость влияют:

- величина зерна, полученная в результате ударного нагружения;
- количество и плотность дислокаций и двойников, образованных в результате нагружения;
- сила ударного нагружения;
- количество воздействий;
- время нагружения.

1.2.2 Измельчение зерна в результате ударного нагружения

Для поликристаллических металлов деформация любого кристалла должна быть совместна с другими кристаллами. Деформация большого количества кристаллов может быть ограничена высокой скоростью при ударном нагружении. Деформация кристаллов вызывает искривление границ и изменением формы соседних кристаллов. Кристаллы испытывают интенсивную пластическую деформацию в исходных положениях, что может привести к значительному возрастанию твердости без видимого

изменения формы или появлению большого количества мелких кристаллов, вследствие, разрушения большого кристалла. Этот процесс связывают с дислокациями, которые могут формировать субграницы. Увеличение деформации способствует трансформации границ субзерен в наноразмерные зерна с большой дезориентацией [9-12].

Другие источники полагают, что двойникование и вызванный деформацией мартенсит является распространенным механизмом измельчения зерна аустенитных сталей при ударном нагружении, за счет интенсивной пластической деформации [11].

Измельчение зерна при ударном нагружении может спровоцировать динамическая рекристаллизация [10]. Температура на поверхности образца может достигать, примерно, 943 К, что достаточно для рекристаллизации в аустенитных сталях. Динамика образования мелких зёрен успешно вычисляется с помощью динамической рекристаллизации.

В некоторых случаях, после проведения ударного нагружения, в образцах можно увидеть не только измельчения зерна, но и появление аморфных структур [8]. Аморфная структура – это структура характеризующая отсутствием дальнего порядка и наличием ближнего порядка в расположении атомов металла.

Данная микроструктура появилась в результате обработки образца лазерным пучком высокой мощности с длиной волны 1.064 мкм, диаметром светового пятна 3 мм, длительностью импульса 20 нс. Ударная мощность примерно 2 ГВт см⁻². Исследование образцов показало, что границы между зернами остаются на прежнем месте, но внутри зерна были найдены участки с упорядоченной структурой ближнего порядка, которые обладают аморфной структурой. Размеры аморфных структур неоднородны, но вся площадь аморфных структур больше, чем площадь кристаллических зёрен. Эти результаты показывают, что высокое количество аморфных структур может быть получено после ультрабыстрой лазерной обработки ударной волной.

Измельченные зерна и аморфные структуры являются основными структурами аустенитной стали после лазерной обработки при данных параметрах [8].

1.2.3 Остаточные напряжения после ударного нагружения

После ударного нагружения в поверхностных слоях образцов наблюдаются значительные остаточные напряжения, которые могут достигать 470 МПа и более [9]. Их величина сильно зависит от длительности ударного нагружения, силы нагружения, количества ударов и во многом от предела текучести материала, подверженного обработке [7-14].

Так [11] указано, что образец после трех воздействий лазерного пучка, обладает остаточным напряжением сжатия в 435 МПа, что превышает остаточные напряжения после однократного воздействия, которое составило 360 МПа. Стоит отметить, что существует предельное время, после которого остаточное напряжение перестает повышаться [7-12].

В [9] указано, что величина остаточных напряжений сжатия в образце, подверженном обработке ультразвуковым импульсом достигает ~ 470 МПа после 120 секунд и остается почти неизменной при большей длительности. Поверхность обладает максимальным остаточным напряжением сжатия.

Немаловажную роль на остаточные напряжения, при ударном нагружении, играют условия обработки, наличие или отсутствие ограничивающих слоев. Прозрачный слой (обычно используется вода) или поглощающие покрытие (например, черная краска или оксидные пленки) играют важную роль. Установлено, что их отсутствие ведет к уменьшению интенсивности ударных волн, распространяющихся в обрабатываемый материал, и, в свою очередь, к уменьшению остаточных напряжений. Однако, оксидная пленка, образованная на поверхности, может увеличивать давление ударной волны и защищать образец от абляции, возникающей при первом ударном нагружении [9,11].

Повышение температуры может вести к формированию некоторого уровня остаточных напряжений растяжения. Эти напряжения частично

компенсируют напряжения сжатия от воздействия ударных волн, и смешанное поле остаточных напряжений получается в результате, как теплового воздействия, так и от действия ударной волны [9].

Очевидно, что воздействие ударными нагрузками имеет огромный эффект на механические характеристики аустенитных сталей, как следствие наблюдается значительный рост остаточного напряжения [7-13].

1.2.4 Образование новых фаз

В [9] рассматривается процесс образование новых фаз и их объемных долей. Выявлено, что ультразвуковой импульс ведет к мартенситному превращению. Фаза ε -мартенсита наблюдается в поверхностном слое, с ее объемным содержанием, достигающим максимальной величины 9% при степени деформации (0.42) после 120 секунд ударного нагружения. Содержание ε -мартенсита уменьшается с деформацией, и α -мартенсит становится более выраженным в поверхностном слое, достигающем приблизительно 100% при степени деформации (0.8) после упрочнения ультразвуковым импульсом на протяжении 240 с. Из приведенного источника видно, что степень деформации значительно влияет на образование мартенсита в аустенитных сталях.

Полагают, что сдерживание α -мартенсита в поверхностном слое толщиной 5 мкм достигается вследствие высоких скоростей деформации и местного нагрева, создаваемого ударной нагрузкой.

Процесс образование новых фаз очень сильно зависит от количества воздействий, длительности и энергии, необходимой для пластической деформации [11]. Различные методы ударного нагружения, при определенных параметрах, могут привести к образованию новых фаз, в том числе с объемной долей до 100% в поверхностных слоях.

1.2.5 Влияние ударного нагружения на двойникование в аустенитных сталях

Ударные виды нагружения вызывают двойникование в аустенитных сталях [7-13]. Двойникование чаще проявляется в аустенитных сталях с низкой энергией дефектов упаковки [7,9,12].

Микроструктуры обработанных материалов ударными видами нагружения, с низкой энергией дефектов упаковки, могут содержать большое количество двойников, благодаря тому, что критическое напряжение сдвига для двойниковых систем уменьшается с возрастающим уровнем энергии дефектов упаковки и становится сопоставимым с критическим напряжением сдвига для систем скольжения [9].

Например, материалы, с низкой энергией дефектов упаковки, подвержены двойникованию, особенно при высокой скорости деформации и при низких температурах. Изменения в энергии дефектов упаковки могут влиять на вид формирующихся микроструктур.

Увеличение количества нагружений и длительности лазерной обработки ведут к возрастанию двойников и дефектов упаковки [9,11].

В [12] описывается процесс упрочнения стали Гадфильда под действием взрывной волны. Кристаллографическая ориентация оказывает значительное влияние на формирование двойниковых структур [12,13].

Зависимость двойникования от приложенной силы ударного нагружения исследовалась в [13]. С увеличением силы удара увеличивалось и количество двойников, это можно увидеть на рисунке 8. Для данного эксперимента была создана специальная установка: молоток, весом 18 кг, поднимали до определенной высоты, затем его вертикально отпускали, чтобы нанести удар по образцам. Различные силы удара были получены при поднятии молотка на разную высоту.

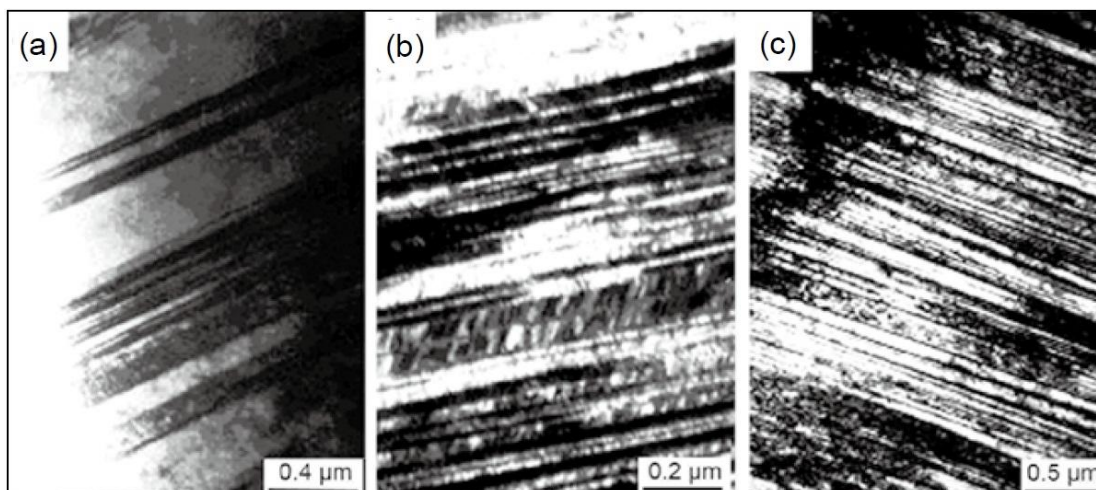


Рисунок 8 - Зависимость двойникования от силы удара [13]

Рисунок 8 демонстрирует количество двойников в аустенитной стали при силе удара 50 Дж/см^2 – (a), 100 Дж/см^2 – (b) и 200 Дж/см^2 – (c).

1.2.6 Воздействие наносекундного релятивистского сильноточечного электронного пучка

В [17] рассмотрена интенсивная деформация стали Гадфильда со скоростью 10^6 с^{-1} после воздействия наносекундного релятивистского сильноточечного электронного пучка. Исследования велись в области пластической деформации и откольного разрушения, инициируемого ударной волной, которая была сгенерирована импульсом длительностью 45 нс от электронного ускорителя «СИНУС-7». Максимальная плотность мощности на мишени составляла $3.4 \cdot 10^{10} \text{ Вт/см}^2$.

После попадания электронного пучка на образец происходит быстрый нагрев поверхности, и часть металла испаряется, тем самым создавая лунку абляции. Ударная квазиплоская волна формируется посредством «импульса отдачи». Волна, постепенно затухая, распространяется по образцу и при достижении тыльной поверхности отражается от нее.

В тех случаях, когда амплитуда импульса растягивающих напряжений больше, чем динамическая прочность образца, наблюдается внутренний откол, плоскость которого параллельна фронту волны [15].

Установлено, что разрушение происходило в вязкохрупком состоянии. Откол носил межкристаллитный характер. При ударном изломе - в основном наблюдалось транскристаллитное разрушение.

Данный вид вязкохрупкого межкристаллитного разрушения связывают со скоплением деформации возле границ зерен, которые содержат карбидную прослойку. Как известно, границы зерен служат концентратором напряжений. Существенное уменьшение области сосредоточения дислокаций объясняется тем, что множественное образование дислокаций возле границ зерен происходит в тот момент, когда ограничен их отток вглубь зерна из-за малой длительности нагружения.

Измеренная микротвердость показывает, что происходит значительное упрочнение. Максимальная микротвердость располагается в приповерхностной области и достигает значений 3.5-4.7 ГПа.

В [16] рассматривались особенности при деформации и откольное разрушения образцов толщиной до 10 мм из стали 304L при ударно-волновом нагружении. Скорость деформации достигала пределов 10^6 с^{-1} . В данном исследовании использовались мишени из аустенитной стали 304L, в которой δ -феррит располагался перпендикулярно распространению ударной волны.

Исследования показали, что тыльный откол наблюдался у мишеней толщиной только до 7 мм. Было выявлено, что приповерхностная максимальная микротвердость образцов находилась на глубине примерно 1 мм от дна лунки абляции.

Обнаружено, что в области прифронтного пика твердости наблюдается сильное двойникование, что привело к увеличению микротвердости примерно до 2400 МПа. Тыльный откол не зависел от расположения δ -феррита.

Результаты, полученные в различных исследованиях, подтверждают значительное улучшение функциональных свойств аустенитных сталей после проведения ударного нагружения. Различные виды ударного нагружения с

разными параметрами способны создавать в аустенитных сталях значительные остаточные напряжения сжатия, измельчать зерна, значительно упрочнять приповерхностный слой на различную глубину, способствуют образованию новых фаз, которые трудно получить при стандартных методах нагружения. После ударного нагружения значительно изменяется микроструктура аустенитных сталей [7-17].

1.3 Характер деформации и разрушения феррито-перлитных сталей в условиях квазистатического и динамического нагружения

Поведение двухфазных сталей, которыми являются феррито-перлитные, отличается от поведения однофазных сталей даже при статическом нагружении. Так в [14] указано, что расположение колоний перлита к действующей нагрузке влияет на деформацию и, как следствие, на разрушение.

Было выявлено, что направление деформации следует за мягкими кристаллами и избегает твёрдые. Топология и микротекстура зерна значительно влияют на деформационную неоднородность. Кроме того, методом эксперимента и компьютерным моделированием было показано, что пластическая деформация особенно сильна при субмикронных полосах, ориентированных на $45\text{--}50^\circ$ по отношению к направлению нагрузки. Ориентация и геометрические параметры пластин цементита сильно влияют на локализацию деформаций, которые, в основном, возникают внутри перлита или на границе между перлитом и ферритом.

В [21] описывается технологический процесс, связанный с высокоскоростным динамическим нагружением феррито-перлитной стали 20. Объектами исследования служили стальные диски диаметром 120 мм и толщиной 12 мм, изготовленные из горячекатаной стали 20. Высокоскоростное нагружение осуществляли по схеме сжатия диска с использованием явления фокусировки энергии во взрывной системе, включающей в свой состав высококомплесные упругие элементы.

В деформированном образце выделяют три зоны. Центральная зона I, в которой зафиксированы наиболее ярко выраженные структурные превращения. Зона II имеет градиентную деформированную взрывом структуру. Количество дефектов деформационного происхождения в ней по мере приближения к центру диска возрастает. Периферийную зону, где заметных изменений не выявлено.

Основным типом дефектов в средней зоне являются двойники. Большинство из них образуется в ферритных зернах. Установлено, что двойники могут быть образованы не только в однофазном материале (феррите), но также и в структуре пластинчатого перлита. Выявлены двойники, развивающиеся в ферритном зерне и нашедшие свое продолжение в соседней колонии перлита. Следовательно, зафиксированные двойники представляют собой дефекты, распространяющиеся по единой ферритной матрице, общей для граничащих между собой зерна α -фазы и колонии пластинчатого перлита. Количество двойников в пределах одного зерна может измеряться десятками, а в некоторых случаях может быть более 100. Ширина двойников в феррите составляет 0.2–1 мкм.

В центральной зоне кроме двойников образуются полосы локализованной деформации шириной $\sim 100 - 1000$ мкм, имеющие сложное неоднородное строение, макро- и микротрещины.

В данной зоне достигаются более высокие значения температуры и давления. Высокая температура является следствием дислокационного скольжения. В окрестности полос локализованного течения температура может достигать температур плавления. В микрообъемах, которые достигли аустенитного состояния, в процессе отвода тепла реализуется бездиффузионный механизм превращения и формируется мелкокристаллический мартенсит, в результате чего происходит упрочнение до 7200 МПа. В зонах повышенной концентрации полос локализованной деформации происходит объединение трещин и наблюдается выкрашивание материала.

В [25] рассматривалась сталь AISI 1020, аналог российской стали 20, при нагружении до 10 ГПа. Ударное нагружение производили с помощью газовой пушки. Было выявлено, что высокая скорость и максимальные напряжения вызывают большие пластические деформации при вязком разрушении, в то время как хрупкое разрушение возникает при меньшем напряжении и меньшей интенсивности деформации.

Разрушение связывают с большими растягивающими напряжениями, которые вызывают рост и слияние пустот и трещин. Дефекты образуются, в основном, на границе между зернами в виде транскристаллитных трещин и дислокаций. В данном исследовании отмечают, что микроструктура играет важную роль при разрушении.

В работе [22] описано закаливание поверхностных слоев среднеуглеродистой стали 50 на ускорителе электронов модели ЭЛВ-6, сталь в исходной структуре была феррито-перлитная. Энергия электронов в пучке равнялась 1.4 МэВ. Расстояние пролета электронов в атмосфере составило 9 см, при диаметре пучка $d = 1.2$ см.

С точки зрения влияния параметров облучения на структуру и твердость в зоне воздействия, режимы обработки условно разделили на быстрый, средний и медленный. Время обработки составляло от 0.1 до 1.2 секунды. Удельная поверхностная энергия находилась в пределах 1.1 - 3 кДж/см². В ходе эксперимента было выявлено, что после закалки на быстрых режимах образуется высокодисперсная мартенситная структура, а на средних и медленных режимах образуется крупноигольчатый мартенсит.

Имеет значение структура границы раздела закаленного слоя с материалом основы. При быстрых режимах она представляет собой фактически прямую линию, выше которой успевает пройти процесс аустенизации, а ниже не успевает, причем граница закалки делит даже отдельные зерна. При средних режимах происходит размытие границы раздела. Это свидетельствует о том, что диффузия углерода за пределы перлитных зерен в феррит не успевает происходить и не образуется аустенит,

необходимый для последующей закалки. На участках, где произошло превращение, наблюдаются небольшие колонии промежуточных структур, совместно с мартенситной структурой. При медленных режимах воздействия отсутствует четкая граница раздела между закаленной и незакаленной областями. Имеет место постепенное ослабление степени закалки с образованием широкой зоны промежуточных структур — от бейнитной до сорбитной, что связано с увеличением тепловложения и уменьшением скорости охлаждения нагретого металла.

Было так же доказано, что показатели твердости и глубины слоев зависят от произошедших структурных изменений. С увеличением удельной поверхностной энергии твердость уменьшаются от 6500 до 5000 МПа, а глубина слоя возрастает от 0.8 до 1.6 мм. Эффект упрочнения связан с образованием высокодисперсных структур. Образование двойников в данном эксперименте не выявлено.

В источнике [23] рассмотрена модификация железа с ОЦК решеткой мощными пучками частиц. При различных пучках на мишень действует одновременно высокие температуры и ударные волны, которые образовались в результате обильного энерговыведения. Одним из эффектов взаимодействия концентрированных импульсных потоков энергии с металлами оказывается абляция металла. Феррито-перлитные стали в области взаимодействия с потоком энергии резко нагреваются, и часть их переходит в состояние пара и плазмы. Абляция наблюдалась на пучках нано- и микросекундной длительности при интенсивностях, превышающих некоторые пороговые значения.

В работе [24] рассматриваются особенности термических условий формирования структуры и свойств стали 45 при электронно-лучевом воздействии. Особую роль в формировании свойств, структуры и фазового состава материала играют тепловые процессы межфазного взаимодействия на границе раздела «твердое тело — ванна расплава». Управление термическими и диффузионными процессами путем регулирования

параметров обработки позволяет формировать разнообразные структуры закалки за счет возникающего градиента температур на обрабатываемой поверхности и высоких скоростей нагрева и охлаждения материала.

В результате исследования было выявлено, что после обработки образцов структура области электронно-лучевого воздействия состоит из зоны оплавления и зоны термического влияния. Характерно, что зона оплавления начинает охлаждаться раньше зоны термического влияния, в то время как зона термического влияния некоторое время нагревается за счет продолжающегося действия теплоотвода из расплава.

В зоне оплавления образуется слой мартенсита толщиной около 1750 мкм, сформированный в результате полной закалки аустенита, нагретого до расплавленного состояния. Максимальная микротвердость в зоне оплавления составила 8200 МПа.

В зоне термического влияния наряду с мартенситом формируется троостит. Присутствие троостита закалки указывает на то, что скорость охлаждения была меньше критической. Неоднородность структуры, наблюдаемая в зоне электронно-лучевого воздействия, находит отражение в неоднородном распределении микротвердости в стали.

Изучив работы различных авторов, касающиеся характера деформации и разрушения феррито-перлитных сталей в условиях квазистатического и динамического нагружения можно сделать следующие выводы:

- ориентация и геометрические параметры пластин цементита влияют на локализацию деформаций;
- при динамических нагрузках возможно образование большого количества двойников, которые могут быть не только в однофазном материале (феррите), но также и в структуре пластинчатого перлита;
- динамическое нагружение может вызвать полосы локализованного течения, которые могут образовать трещины и выкрашивание материала;

- увеличение твердости более 8000 МПа является следствием образования мелкокристаллического мартенсита;
- воздействие различными носителями заряда может привести к образованию переходных прослоек различной морфологии от мелкодисперсного мартенсита до сорбита;
- при интенсивности пучков превышающих некоторые пороговые значения на поверхности сталей может произойти абляция материала;
- в результате обильного энерговыделения возможно образование ударных волн.

1.4 Постановка задач

Во многих отраслях машиностроения широко используются стали с высокими характеристиками пластичности, свариваемости, способностью сопротивляться хрупкому разрушению, а так же способностью к высокой степени упрочнения. Такими свойствами обладают малоуглеродистые феррито-перлитные стали [1-4].

Немаловажным достоинством данного вида сталей является их низкая стоимость, по сравнению с аустенитными сталями, которые легируют дорогостоящими элементами, такими как никель. Феррито-перлитные стали хорошо обрабатываются в горячем состоянии (давлением, резанием), обладают способностью к глубокой вытяжке. Простая технология свариваемости и широкий спектр видов сварки делают этот материал высоко востребованным в строительном производстве, ТЭС, АЭС газовой и нефтяной отрасли [1-4].

Изделия из феррито-перлитной стали в процессе эксплуатации в различных отраслях машиностроения подвергаются динамическим нагрузкам. То как феррито-перлитные стали реагируют на динамические нагружения, играет важную роль при понимании процессов, таких как баллистический удар, взрывные нагрузки, соударение с космическими отходами, автомобильные столкновения, соударение колесной пары с головкой железнодорожного рельса и многие другие. Данный процесс в отечественной

и зарубежной литературе малоизучен. В связи с этим, изучение ударного нагружения этих сталей является актуальной задачей.

Для примера мало- и среднеуглеродистых сталей в данной работе будет рассматриваться феррито-перлитная сталь 20. Особенностью феррито-перлитных сталей является наличие в их структуре как минимум двух структурных составляющих – феррита и перлита. Из работы [14] известно, что, даже при статическом нагружении, перлитные колонии и их расположение по отношению к прикладываемой нагрузке оказывает влияние на деформационное поведение и разрушение.

В последние десятилетия появление ускорителей сильноточных электронных пучков позволило создать сконцентрированные источники энергии, которые являются уникальным видом воздействия на материалы. В отличие от традиционных способов, таких как прокатка, дробеструйное упрочнение, закалка и отжиг сталей, они включают одновременно тепловое и механическое воздействие. Обнаружены уникальные эффекты: хрупкое разрушение всех классов твердых тел под воздействием сильноточных электронных пучков, поверхностное и глубинное упрочнение металлов, образование ударных волн, интенсивная абляция вещества в плазменном состоянии при обработке. Большинство этих явлений носит нелинейный характер и наблюдается при интенсивностях, превышающих некоторые критические значения [21-24].

Сильноточные электронные пучки имеют ряд преимуществ перед другими видами обработки: высокий коэффициент полезного действия, высокую степень поглощения энергии в любых материалах, короткую продолжительность процесса обработки [24].

В последнее время для определения механизмов упрочнения материалов получили широкое распространение мегавольтные электронные пучки. Они позволяют анализировать поведение сталей при динамическом нагружении. Так же с их помощью выполняется нанесение различных покрытий, соединение металлов с высокой температурой плавления,

поверхностная термическая обработка, после которой получают метастабильные структуры. Основной метастабильной структурой, которая получается при обработке мегавольтным электронным пучком, является высокотвердый мелкокристаллический мартенсит, который образуется из-за высоких скоростей охлаждения обработанного материала. Глубина образовавшего слоя мартенсита во многом зависит от длительности процесса и количества вводимой энергии. После слоя мартенсита могут образовываться переходные слои различной морфологии [21-24].

Цель данной работы – исследование закономерностей ударно-волнового упрочнения и откольного разрушения плоских мишеней из феррито-перлитной стали 20, при воздействии сильноточного электронного пучка.

В процессе работы исследовалась микроструктура и микротвердость образцов стали 20, полученная в результате различных скоростей охлаждения и динамического нагружения электронным пучком.

Для достижения цели были решены следующие задачи:

- составлен обзор литературы по теме, определены задачи и цель исследования;
- подготовлены образцы с различными скоростями охлаждения (отжиг при температуре 880°С с последующим охлаждением на воздухе, масле и воде);
- проанализирована структура стали 20 в зависимости от режимов термической обработки;
- произведено ударно-волновое нагружение образцов;
- проанализирована структура стали по толщине мишени, построен профиль микротвердости по толщине образца;
- произведены замеры геометрических размеров лунки абляции;
- сделаны соответствующие выводы.

2 Объект и методы исследования

Эксперименты проводили на образцах (мишенях) из стали 20 в виде пластин 18×18 (мм) толщиной $d = 4$ мм, вырезанных параллельно по направлению плоскости прокатки.

В качестве генератора ударных волн использовали электронный ускоритель „СИНУС-7“. Электронный пучок формировался в вакуумном диоде с взрывоэмиссионным полусферическим катодом диаметром 6 мм (сталь типа 304) во внешнем продольном магнитном поле 17 кЭ. При напряжении на катоде 1.35 МэВ и зазоре между катодом и анодом 7 мм ток в диоде достигал 20 кА. Мишени устанавливали за графитовой диафрагмой диаметром 8 мм и толщиной 3 мм в заземленном аноде. Тыльная поверхность образца оставалась свободной. Максимальная плотность тока пучка на мишени составляла 25 кА/см^2 , т.е. пиковая плотность мощности $3.4 \cdot 10^{10} \text{ Вт/см}^2$; длительность импульса электронного тока на полувывоте 45 нс, а плотность падающей энергии 1.2 кДж/см^2 . Разброс амплитудных значений ускоряющего напряжения и плотности тока на мишени от импульса к импульсу не превышал 10 %. За счет объемного характера энерговыведения (пробег электронов и глубина зоны энерговыведения составляют ~ 1 мм) за один импульс происходила абляция материала мишени с образованием лунки диаметром ~ 7 мм.

Для анализа структуры при различных скоростях охлаждения часть исходных образцов подвергали отжигу при температуре 880°C с последующим охлаждением на воздухе, масле и воде.

Эволюцию микроструктуры материала в направлении распространения УВ исследовали с помощью оптической металлографии (ОМ), рентгеноструктурного анализа (РСА) и растровой электронной микроскопии (РЭМ). ОМ проводили на поперечных шлифах, вырезанных вдоль оси пучка электроискровым методом. Химическое травление шлифов осуществляли в 4% растворе азотной кислоты (HNO_3) в этиловом спирте. Эти же шлифы использовали для исследования особенностей разрушения и

определения толщины отколотого слоя. РСА поверхности дна лунки абляции, вне лунки абляции и отожженных образцов проводили на дифрактометре ДРОН-7 в фильтрованном $\text{CoK}\alpha$ - излучении в интервале углов $2\theta = 15 \div 150^\circ$ с шагом $0,1^\circ$. Микротвердость ударно-нагруженных образцов измеряли на приборе ПМТ-3 на поперечных шлифах в две дорожки с шагом по глубине в каждой дорожке 100 мкм и смещением уколов между дорожками 50 мкм при нагрузке 0,196 и 0,49 Н. Фрактографические исследования тыльного откола проводили с помощью растровой электронной микроскопии (РЭМ) на приборе Phillips SEM 515.

3 Результаты и обсуждение

По данным ОМ сталь 20 в исходном состоянии имела феррито-перлитную структуру с незначительными включениями пор и неметаллических включений (рисунок 9), вокруг которых при травлении формировалась округлая зона за счет дополнительного растравливания этих включений (а). Перлит имел как пластинчатую, так и зернистую морфологию (б,в). Средний размер зерен феррита, рассчитанный по методу секущих, составил $7,4 \pm 3,5$ мкм.

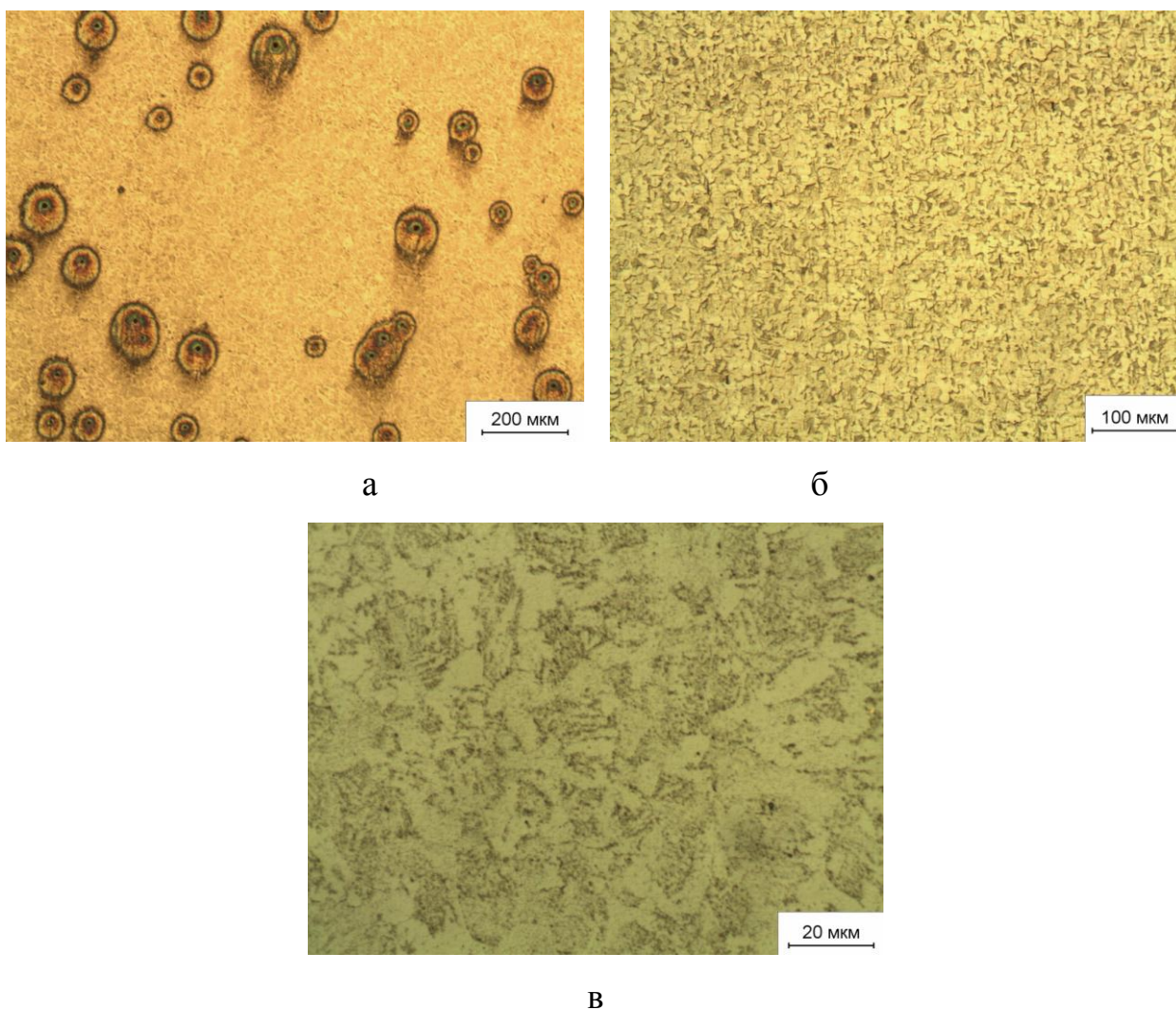


Рисунок 9 – Исходная микроструктура стали 20

В процессе охлаждения после отжига на воздухе сформировались однородные полиэдрические зерна феррита со средним размером $10,4 \pm 4,2$ мкм. Их границы стали более явно протравливаться (рисунок 10 а).

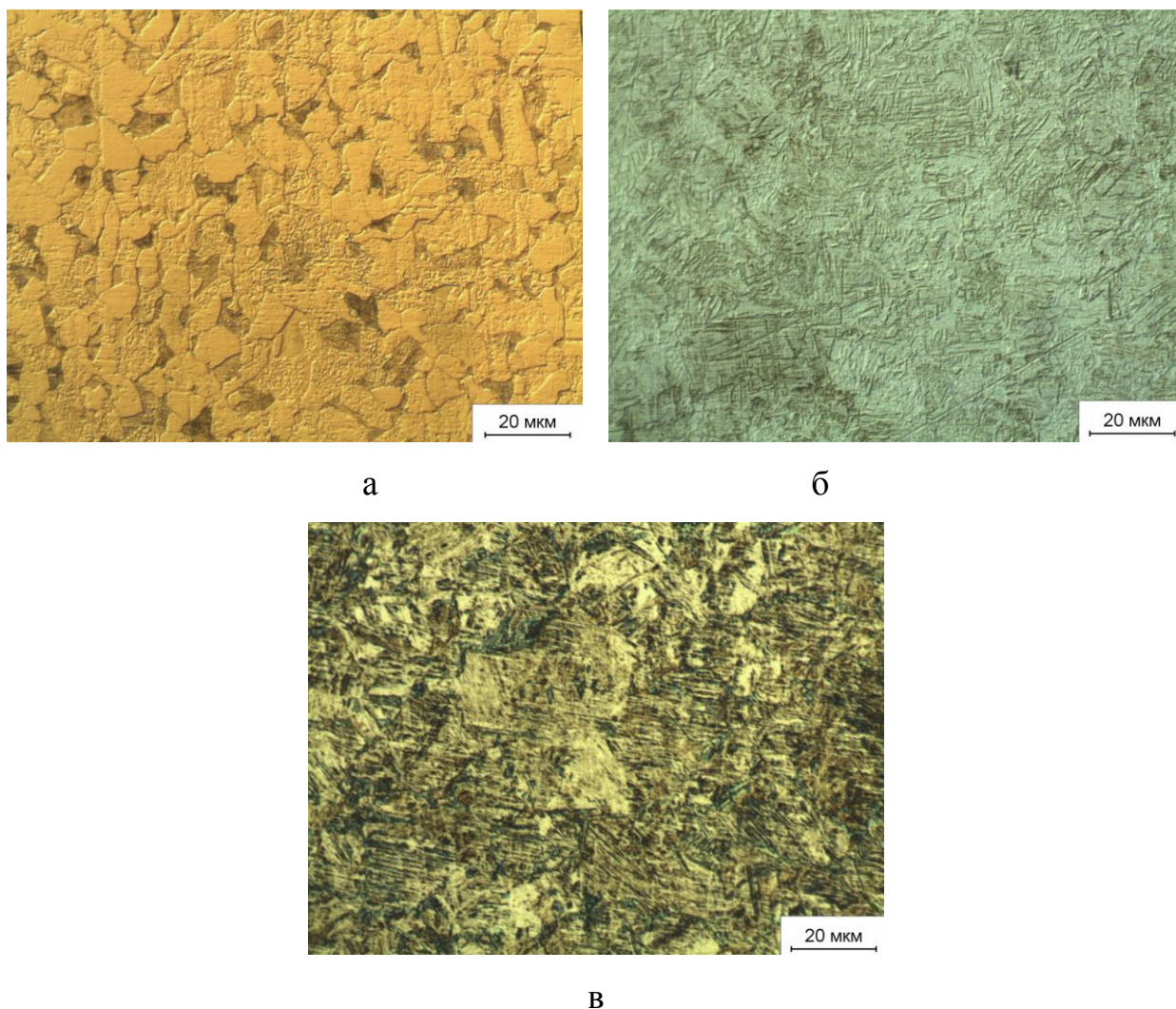


Рисунок 10 – Микроструктура стали 20 после различных скоростей
охлаждения: а – воздух; б – масло; в – вода

Увеличение скорости охлаждения образцов после отжига приводит к формированию дисперсных выделений игольчатой морфологии как составляющих бейнитной структуры (рисунок 10 б,в). Если после охлаждения в масло еще в структуре встречаются отдельные зерна феррита (б), то после охлаждения в воду во всем объеме образца структура имеет игольчатую морфологию (в).

После ударно-волнового нагружения образцов у тыльной поверхности образуется отколотый слой, а со стороны фронта – лунка абляции (рисунок 11). Глубина лунки абляции не превышает 450...650 мкм, причем необходимо отметить явное увеличение глубины лунки абляции по оси пучка (600 ± 10 мкм) и его периферии (620...650 мкм) (а). Это свидетельствует о

том, что радиальное распределение плотности тока пучка на мишени не было однородным.

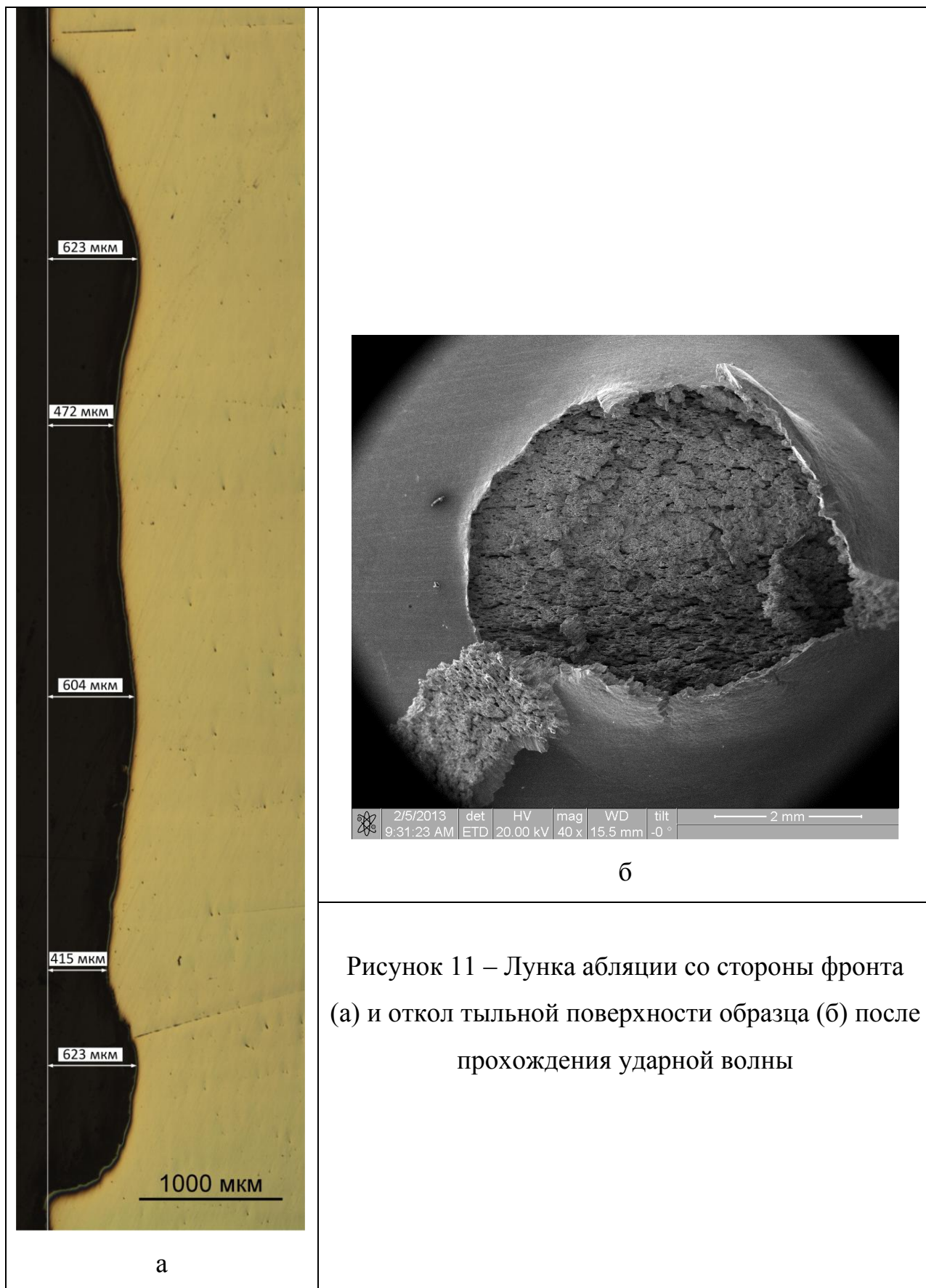


Рисунок 11 – Лунка абляции со стороны фронта (а) и откол тыльной поверхности образца (б) после прохождения ударной волны

Согласно расчетам для стали 304L [26] (наш аналог стали 08X18H10T), вещество в зоне энергосвечения пучка нагревается до ~ 6000 К. Большая часть этого вещества при расширении уносится с поверхности мишени в виде смеси пара и жидкой фазы; при этом толщина данного аблированного слоя составляет ~ 0.5 мм, что удовлетворительно согласуется с нашим экспериментом. Толщина слоя расплава, который остается в конденсированном состоянии и впоследствии кристаллизуется, составляет ~ 0.12 мм, что также близко к нашим экспериментам. Сразу после прекращения облучения кристаллизация этого расплавленного слоя происходит с большой скоростью – ~ 100 м/с. Это обеспечивается быстрым отводом тепла в прилегающие не прогретые пучком слои мишени. Далее поле температур выравнивается, скорость теплоотвода из расплава падает, скорость фронта кристаллизации также падает до ~ 0.1 м/с. Кристаллизация расплавленного слоя мишени завершается к моменту времени $\sim 3 \times 10^{-4}$ с.

В результате такого энергосвечения формируется ударная волна (УВ) с начальной амплитудой ~ 18 ГПа и длительностью ~ 0.2 мкс, распространяющаяся вглубь мишени. Из-за резкого изменения сжимаемости при переходе от упругого к пластическому деформированию ударная волна разделяется на упругий предвестник и следующую с меньшей скоростью пластическую ударную волну [20]. Следовательно, перед ударной волной движется упругий предвестник. За ударной волной движется волна разрежения. При движении вглубь мишени ударная волна быстро уменьшается по амплитуде и увеличивается по длительности за счет взаимодействия с волной разгрузки.

При отражении импульса сжатия от свободной тыльной поверхности формируется волна растяжения, распространяющаяся в обратном направлении. Если при данной длительности нагружения амплитуда отраженной УВ превысит динамический предел прочности, то произойдет тыльный откол. Что и происходит в нашем случае.

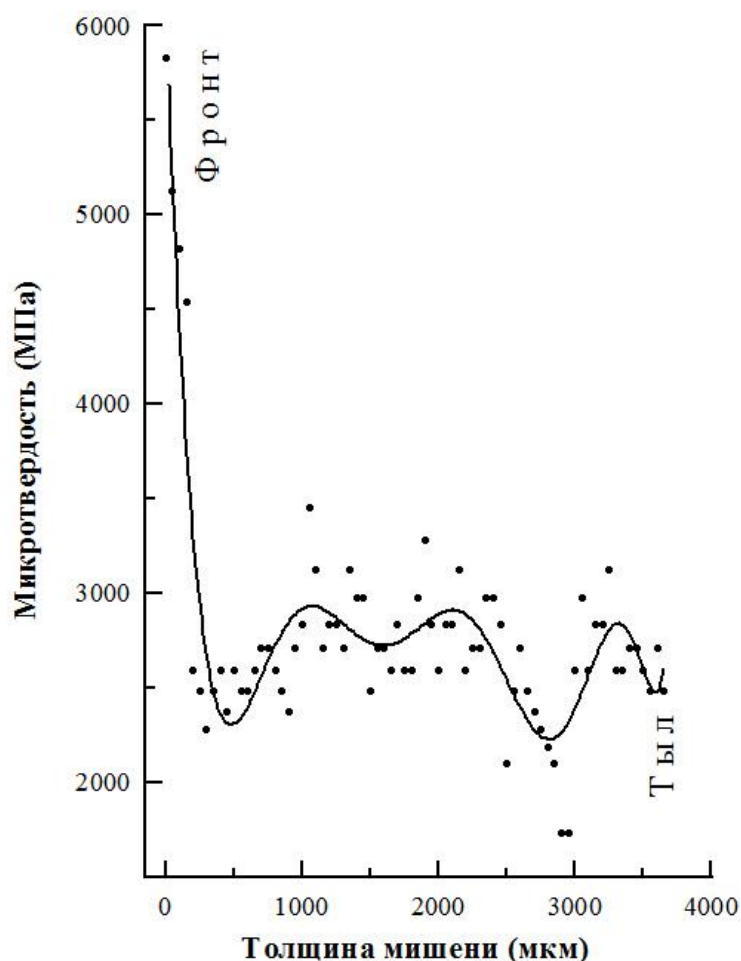


Рисунок 12 – Профиль микротвердости по толщине мишени после ударного нагружения образца из стали 20

На рисунке 12 представлено распределение микротвердости по толщине мишени в приосевой части электронного пучка. На данном распределении фиксируется неоднородное распределение микротвердости. В прифронтной части мишени (на глубине до 150 мкм) наблюдается максимум микротвердости (максимальный уровень твердости ~5700 МПа характерен непосредственно для поверхности лунки абляции), далее она резко спадает до 2250...2500 МПа. В центральной части мишени твердость сохраняется на уровне 2700...3000 МПа, и только у тыльной поверхности мишени формируется второй максимум микротвердости на уровне ~3000 МПа.

Сравнивая данные значения микротвердости со значениями характерными для исходного и термообработанного материала (рисунок 13) можно сказать следующее. Закалка стали 20 с жидкого состояния непосредственно слоя материала под лункой абляции приводит к

двукратному повышению твердости по сравнению с закалкой образцов в воде. Причина такого различия может быть связана с особенностями формирования структуры в условиях ударно-волнового нагружения.

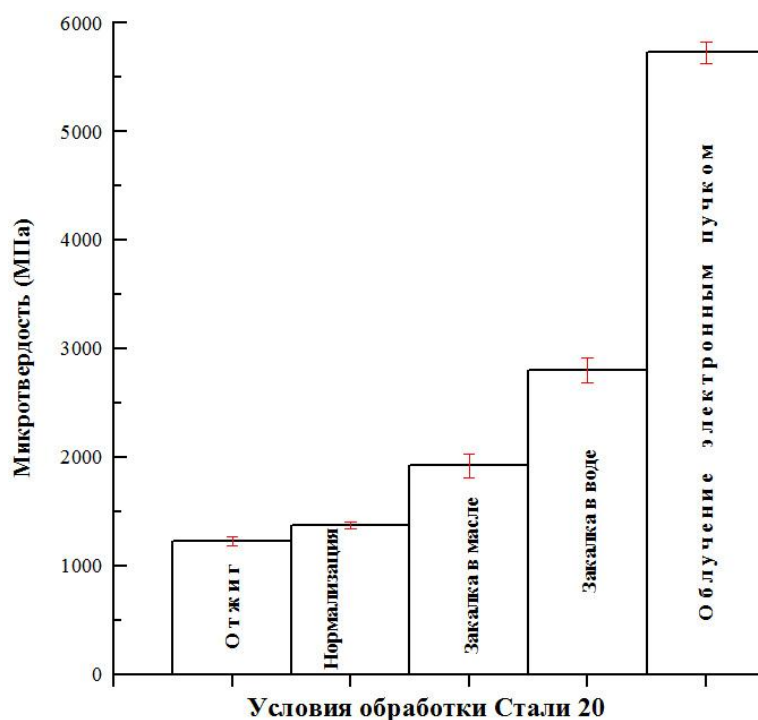
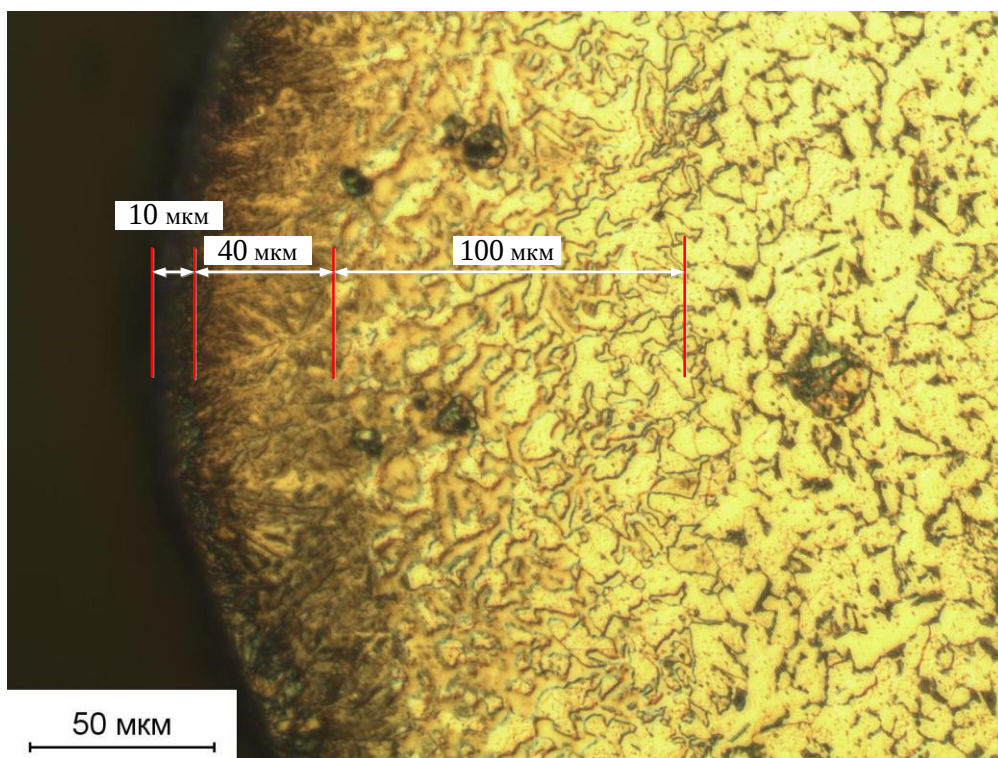
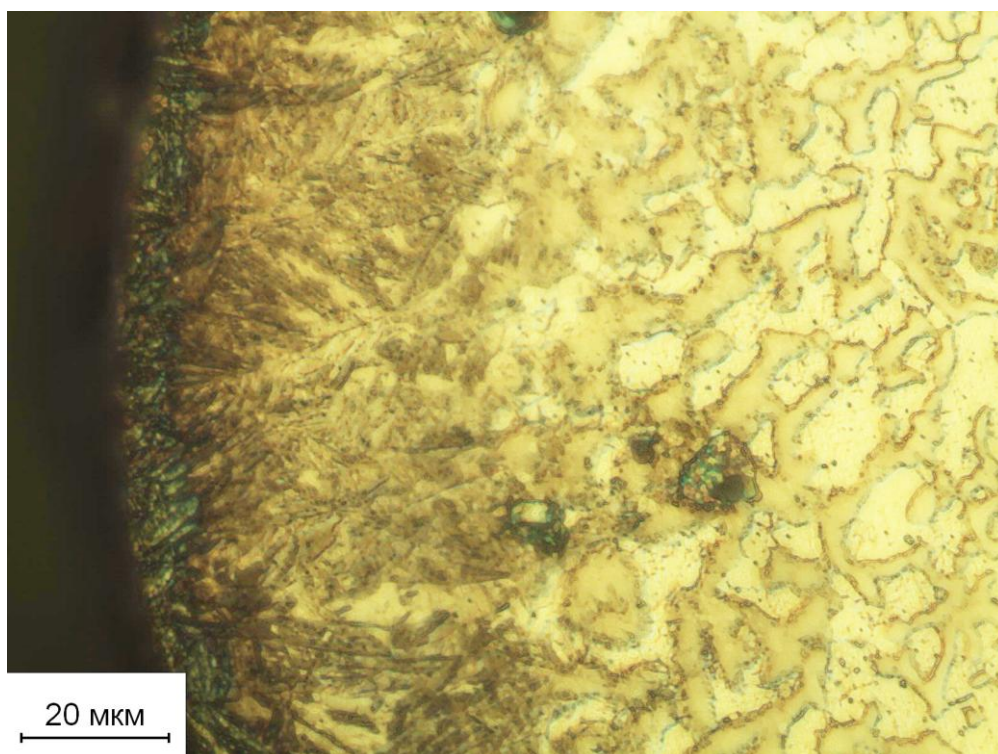


Рисунок 13 – Изменение микротвердости образцов стали 20 в зависимости от условий обработки

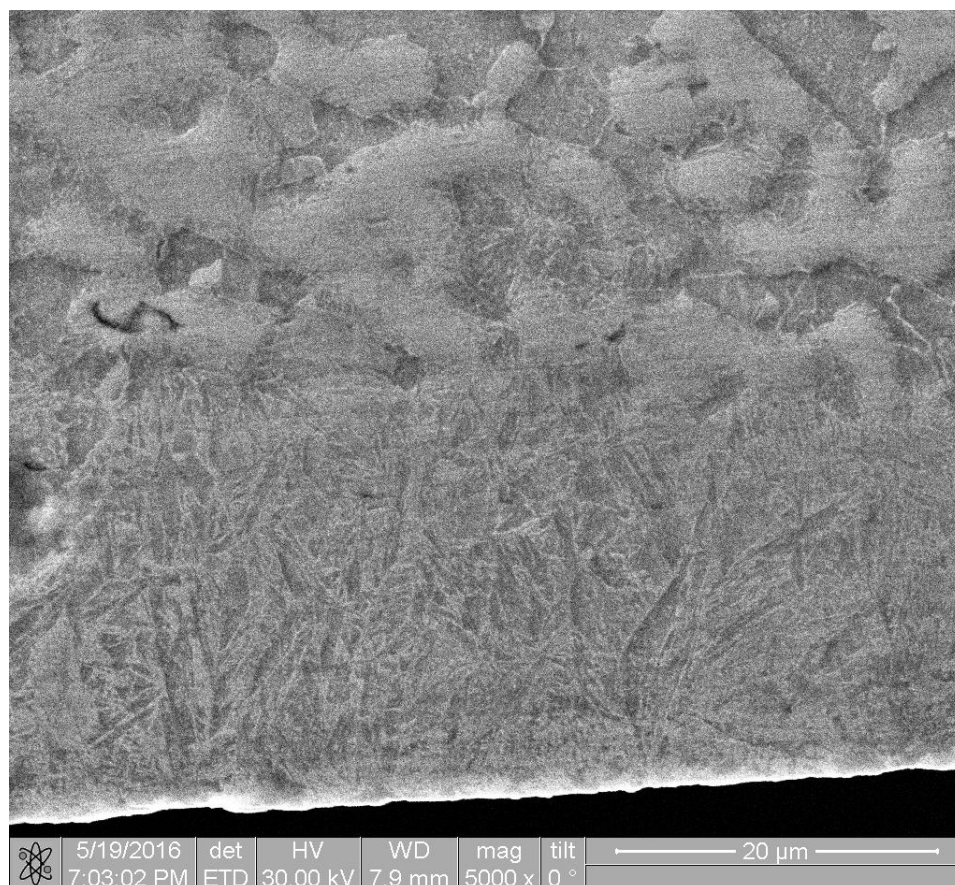
В непосредственной близости к поверхности лунки абляции материал мишени имеет несколько слоев отличающихся микроструктурой от основного металла (рисунок 14). Общая толщина этих слоев составляет ~150 мкм.



a



б



В

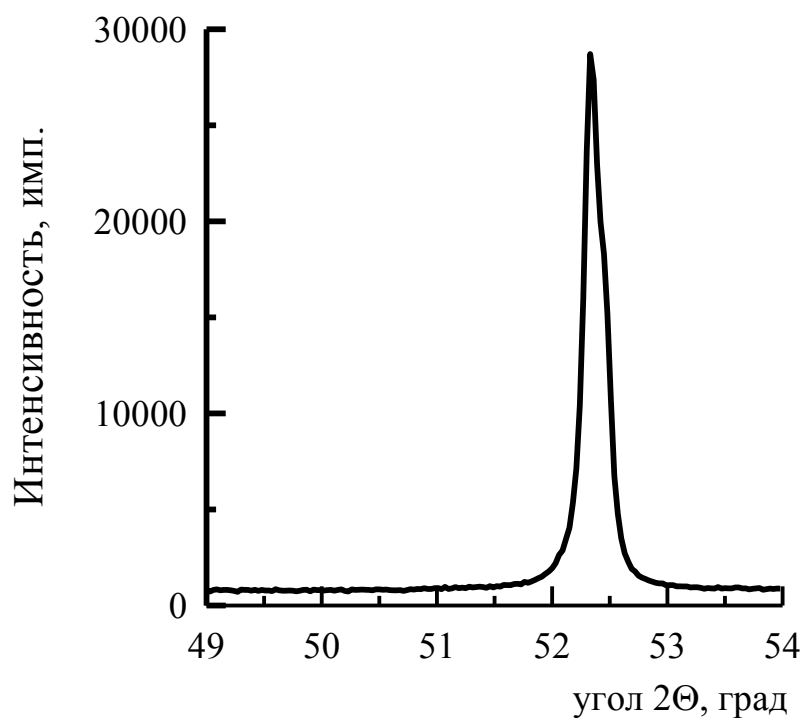
Рисунок 14 – Микроструктура мишени (сталь 20) непосредственно под лункой абляции (а,б- ОМ, в – РЭМ)

Верхний слой не превышает 10...20 мкм и он имеет дисперсную структуру которую ОМ детально выявить не удастся (рисунок 14,а,б). При исследовании данного слоя с помощью растровой электронной микроскопии удалось выявить его дисперсное пластинчатое строение. Средняя толщина пластин в поперечном сечении не превышает 1 мкм (рисунок 14,в).

Следующий за ним слой представляет игольчатое строение и его толщина не превышает 40 мкм (рисунок 14 а,б). Однако необходимо отметить, что в местах с большей глубиной лунки абляции этот слой не фиксируется. При этом увеличивается примерно в два раза толщина слоя с дисперсной структурой. Далее перед исходной феррито-перлитной структурой формируется слой с явно выраженной литой структурой толщиной ~100 мкм (рисунок 14 а), который в меньшей степени

протравливается по сравнению с основным металлом и слоем с дисперсной структурой (рисунок 14).

На рисунке 15 представлены фрагменты дифрактограмм (дифракционный максимум (110) α - фазы) снятые с образца стали 20 вне лунки абляции и с материала лунки абляции. Материал мишени находится в однофазном состоянии: α – твердый раствор на основе ОЦК решетки железа.



а

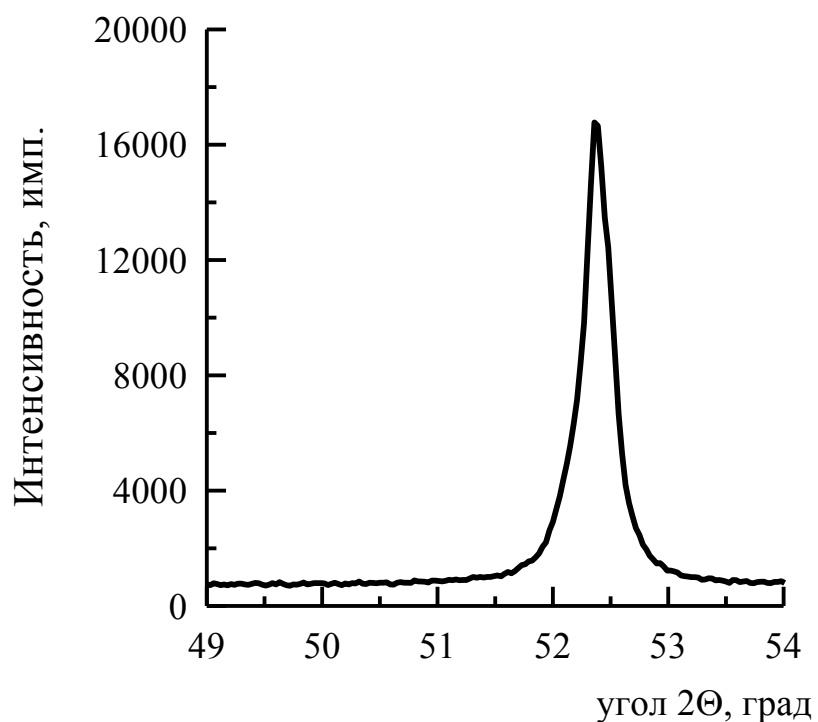
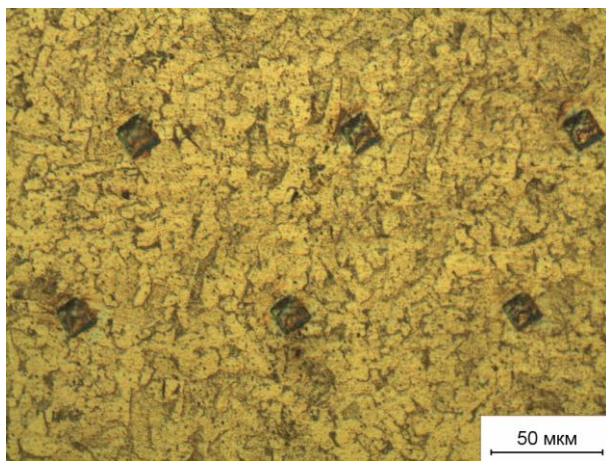


Рисунок 15 – Фрагменты дифрактограмм (110 α - фазы) от образца стали 20; а – вне лунки абляции, б – в лунке абляции

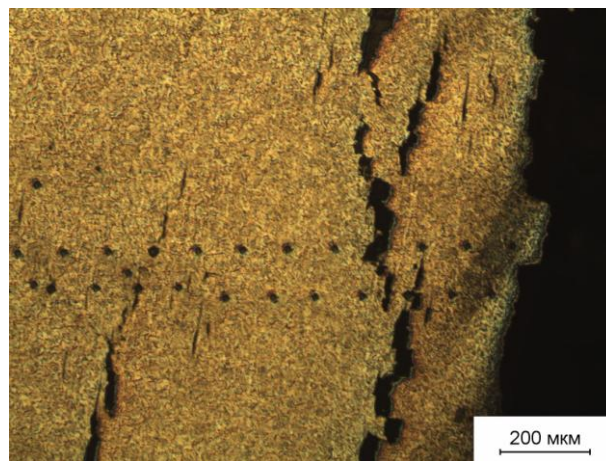
Однако для материала лунки абляции ширины дифракционных максимумов значительно больше, чем для основного материала. По результатам расчета было установлено, что размер блоков (областей когерентного рассеяния) для материала лунки абляции уменьшается в 2,5 раза и составляет 52,3 нм. Для материала вне лунки абляции размер блоков равен 125,2 нм, а для отожжённого материала – 172,1 нм. Следовательно, слой материала 10...20 мкм, который ОМ не выявляется, представляет собой дисперсную структуру на основе ОЦК решетки железа. Быстрая кристаллизация этого слоя материала и последующее интенсивное его охлаждение привело к формированию мелкокристаллического мартенсита (ОЦТ). Это привело к значительному повышению микротвердости до 5700 МПа с последующим ее быстрым уменьшением до 2250 МПа.

Следующий за ним слой, имеющий игольчатое строение, толщиной не превышающий 40 мкм (рисунок 14 а,б), сформировался в результате промежуточного – бейнитного превращения. Он так же имеет высокий уровень микротвердости.

В средней и тыльной части мишени микроструктура стали не отличается от исходной (рисунок 16). Рост микротвердости в этом объеме материала по сравнению с исходным значением, по-видимому, связан с субструктурными изменениями на уровне увеличения плотности дефектов (дислокации) уменьшения размера субзерен и областей когерентного рассеяния, внутренних напряжений. На тыльной части мишени наряду с тыльным отколом видны многочисленные вторичные трещины (рисунок 16 б).



а



б

Рисунок 16 – Микроструктура мишени в ее центральной части (а) и области тыльного откола (б)

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В организационно-экономической части выполняется технико-экономическое обоснование принимаемых инженерных решений. Рассматривается экономическая целесообразность научного исследования, как новый способ упрочнения феррито-перлитной стали и поведение сталей в условиях ударного нагружения.

4.1 Исходные данные для проведения анализа

В дипломной работе рассматривается поведение феррито-перлитной стали под действием мегавольтного электронного пучка. Объекты и методы исследования представлены в пункте 2.

4.2 Оборудование и материалы

Необходимые материалы и оборудование для проведения эксперимента представлены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – Материалы для эксперимента

Наименование	Количество, шт
Сталь 20 в виде пластин 18×18 мм толщиной d 4 мм	5
Шлифы	5
Смесь кислот HNO ₃ и HCl	1
Комплект абразивной бумаги	1
Комплект алмазных паст	1
Отрезной диск	1

Таблица 3 – Оборудование для эксперимента

Наименование	Количество, шт
Сильноточный электронный ускоритель СИНУС-7	1
Приборе Phillips SEM 515 для РЭМ	1
Дифрактометр ДРОН-7	1
Углошлифовальная машина УШМ Bosch	1
Микротвердомер ПМТ-3	1
Микроскоп Olympus GX 51 с комплектом прикладных программ SIAMS 700	1
Персональный компьютер	1

4.3 Планирование комплекса работ по разработке темы

Для нахождения наиболее эффективного пути решения поставленной задачи необходимо рационально спланировать работу. Для этого нужно провести отбор и обоснование комплекса работ.

Для разработки проекта было задействовано два человека:

- руководитель проекта;
- инженер.

Руководитель ставит задачу и отвечает за проведение эксперимента, являясь научным консультантом. Инженер отвечает за проведение эксперимента, сбор информации, ее описание и анализ. Трудоемкость работ определялась с учетом срока окончания работ и особенностью работы с данной техникой.

Работа над ВКР проводилась с 11 января 2016 года по 30 мая 2016 года. В итоге, при пятидневной рабочей неделе с учетом выходных и праздничных дней получается 98 рабочих дней.

Трудоемкость работ определяется по сумме трудоемкости этапов работ, оцениваемых экспериментальным путем в человеко-днях. Она носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов. Поэтому для определения ожидаемой продолжительности работ $t_{ож}$ используется метод вероятностных оценок длительности работ. Он основан на использовании трех оценок.

$$t_{ож} = \frac{t_{min} + 4t_{нв} + t_{max}}{6}, \quad (1)$$

где t_{min} – кратчайшая продолжительность заданной работы;

t_{max} – самая большая продолжительность работы;

$t_{нв}$ – наиболее вероятная продолжительность работы.

Для оценки трудоемкости необходимо разработать перечень работ. Выбор комплекса работ по проекту производится в соответствии с ГОСТ 19.102-77 «Единая система программной документации» [27], устанавливающего стадии разработки. Перечень комплекса работ приведен в таблице 4.

Таблица 4 –Комплекс работ по проведению исследования

Наименование работ	Испол- нители	Кол-во чел.	Продолжительность работ, дней			
			t _{min}	t _{max}	t _{нв}	t _{ож}
Постановка задачи	Р	2	1	2	2	2
	И		1	2	1	2
Составление, согласование и утверждение технического задания	Р	2	2	5	4	4
	И		1	2	1	2
Сбор и изучение научно-технической литературы, нормативно-технической документации	И	1	5	8	6	7
Разработка плана работ	И	1	2	3	2	3
Постановка эксперимента	Р	2	1	2	1	2
	И		3	6	5	5
Подготовка к проведению эксперимента	И	1	5	9	7	6
Проведение эксперимента	И	1	2	4	3	4
Комплексный анализ полученных данных	Р	2	1	2	2	2
	И		10	14	12	12
Оформление отчета об эксперименте	И	1	2	3	2	3
Составление полной работы	И	1	10	16	12	14
Исправление ошибок	И	1	15	23	18	21
Подготовка доклада по исследованию	Р	2	1	4	4	4
	И		2	5	5	5

Продолжение таблицы 4

Итого	Руководитель	14
	Инженер	85

4.4 Расчет затрат на разработку проекта

Определение затрат на разработку проекта производится путем составления сметы затрат на проектирование [28]. Смета затрат состоит из прямых и накладных расходов, которые включают в себя следующие статьи:

статья 1 - основные материалы и комплектующие;

статья 2 - основная заработная плата;

статья 3 - дополнительная заработная плата;

статья 4 - социальные начисления;

статья 5 - накладные расходы.

4.4.1 Стоимость основных материалов

Перечень стоимости материалов необходимых для данной разработки приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Основные материалы, ПО

Статья расходов	Количество	Цена ед., руб.	Сумма, руб.
Оборудование для эксперимента	1 шт.	14218	14218
Аренда необходимого оборудования	1шт	89000	89000
Итого			103218

4.4.2 Расчет затрат на основную заработную плату

Затраты на заработную плату включают в себя основную, дополнительную заработные платы, а также отчисления от заработной платы [29].

Месячный оклад руководителя, исходя из среднерыночных показателей, составляет 34260 рублей, инженера 20200 рублей.

Согласно полученным данным на трудозатраты, произведем расчет затрат на основную заработную плату исполнителей.

Дневная ставка равна месячному окладу, поделенному на 22 рабочих дней, то есть:

$$З_{д} = \frac{О_{м}}{22}, \quad (2)$$

где $З_{д}$ – заработная плата за один день,

$О_{м}$ – месячный оклад работника.

Соответственно, дневная ставка, помноженная на число рабочих дней, дает заработную плату каждого исполнителя за период разработки.

Зарботная плата работников за период разработки определяется по формуле:

$$З_{осн} = З_{д1} \cdot T_1 + З_{д2} \cdot T_2 \quad (3)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата, руб.,

$З_{д1}$, $З_{д2}$ – дневная заработная плата руководителя и инженера-программиста, руб.,

T_1 , T_2 – затраты труда руководителя и инженера соответственно, часов.

Результат расчета приведен в таблице 6.

Дополнительная заработная плата определяется как 10% от основной заработной платы

$$З_{доп} = З_{осн} \cdot 0,1 = 99660 \cdot 0,1 = 9966 \text{ руб.} \quad (4)$$

Таблица 6 – Затраты на основную заработную плату

Исполнитель	Трудоем- кость, дней	Месячный оклад, руб.	Средне- дневная заработная плата, руб.	Сумма основной заработной платы, руб.
Руководитель	14	34 260	1 545	21 630
Инженер	85	20 200	918	78 030
Итого				99 660

Отчисления от заработной платы по единому социальному налогу составляют 30% от суммы основной и дополнительной заработной платы. Сюда входят:

- социальное страхование;
- пенсионный фонд;
- фонд занятости населения;
- медицинское страхование.

Рассчитаем отчисления от заработной платы по единому социальному налогу:

$$ECH = 0,3 \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3 \cdot (99660 + 9966) = 32888 \text{ руб.} \quad (5)$$

Заработная плата с отчислениями по единому социальному налогу определяется по формуле:

$$Z_{полн} = (Z_{осн} + Z_{доп}) \cdot H_p + ECH \quad (6)$$

где $Z_{полн}$ – затраты на заработную плату, учитывающие отчисления по единому социальному налогу;

H_p – районный коэффициент (для Томска $H_p = 1,3$).

$$Z_{полн} = (99660 + 9966) \cdot 1,3 + 32888 = 175402 \text{ руб.}$$

4.4.3 Расчет затрат на электроэнергию

Затраты на электроэнергию определяются по формуле:

$$C_{эл} = W_y \cdot T_p \cdot S_{эл}, \quad (7)$$

где W_y – установленная мощность, кВт,

T_p – время работы оборудования, часов,

$S_{эл}$ – тариф на электроэнергию, руб./кВт·ч.

Время работы за компьютером составляет 85 дней. Учитывая то, что рабочий день составляет 8 часов, получается 680 часов машинного времени.

Результаты расчета затрат на электроэнергию приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Затраты на электроэнергию

Оборудование	Потребляемая мощность, кВт	Время работы, часов	Тариф, руб./кВт·ч.	Сумма, руб.
Персональный компьютер	0,35	680	3,7	880
Освещение	0,64	680		1610
Итого, руб.				2490

4.4.4 Амортизационные отчисления

Амортизационные отчисления определим по формуле [30]:

$$C_A = \sum_{i=1}^n \frac{Ц_B \cdot H_A \cdot g \cdot t}{\Phi_{ЭФ}}, \quad (8)$$

где n – количество видов единиц оборудования,

$Ц_B$ – балансовая стоимость i -го вида оборудования,

H_A – норма годовых амортизационных отчислений для оборудования,

g – количество единиц i -го вида оборудования,

t – время работы i -го вида оборудования, час,

$\Phi_{ЭФ}$ – эффективный фонд времени работы оборудования, час.

Эффективный фонд времени работы оборудования определяется по формуле:

$$\Phi_{ЭФ} = D \cdot H_3, \quad (9)$$

где D – количество рабочих дней в году,

H_3 – норматив среднесуточной загрузки.

$$\Phi_{ЭФ} = 247 \cdot 8 = 1976 \text{ час.}$$

В нашем случае при разработке использовалось одна единица оборудования – компьютер. Балансовая стоимость компьютера $Ц_B = 18000$ руб. Количество компьютеров $g = 1$. Время работы за компьютером составляет $t = 680$ часов. Норма годовых амортизационных отчислений для компьютера $H_A = 20\%$.

Тогда амортизационные отчисления на разработку проекта составят:

$$C_A = \frac{18000 \cdot 0,2 \cdot 1 \cdot 680}{1976} = 1239 \text{ руб.}$$

4.4.5 Смета затрат на разработку проекта

Основные затраты на разработку определим по формуле

$$OЗ = Z_{зполн} + Z_{эз} + Z_{ом} \quad (10)$$

$$OЗ = 175402 + 2490 + 103218 = 281110 \text{ руб.}$$

Накладные расходы составляют 20% от основных затрат

$$Z_{НР} = OЗ \cdot 0,2 = 281110 \cdot 0,2 = 56222 \text{ руб.}$$

Расчет сметы затрат на разработку приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Смета затрат на проведение исследования

Статья затрат	Сумма затрат, руб.
Заработная плата с отчислениями (с учетом районного коэффициента)	175402
Основные материалы	103218
Затраты на электроэнергию	2490
Амортизационные отчисления	1239
Вспомогательные материалы	–
Накладные расходы	56222
Итого	338571

4.5 Экономическая целесообразность применения научного исследования

Главная задача научного исследования – предоставить современному инженеру-сварщику новейшие данные об исследуемом материале и способы упрочнения поверхностей материалов.

Данный способ упрочнения можно сравнить с упрочнением металлов взрывом, однако упрочнение взрывом имеет существенные недостатки:

- является разрушающей;
- продукты взрыва имеют отрицательное экологическое воздействие;
- процесс трудно контролируем;

- при взрыве значительные нагрузки передаются не только на образец, но также и в окружающую среду, что требует проведения испытаний в специально-оборудованных камерах, помещениях или на полигонах;

- необходимо специальное разрешение для проведения работ.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- затраты на проведение исследования могут окупиться в первый же год его эксплуатации;

- выполненная работа отвечает общей тенденции в экономическом развитии страны, направленной на усовершенствование производственных процессов;

- позволяет получить новые методы упрочнения металлов.

5 Социальная ответственность

Характеристика объекта исследования

В ходе научного исследования ставились эксперименты на электронном ускорителе «СИНУС-7», а основная часть работы была выполнена с использованием ЭВМ.

При проведении экспериментов работники подвергались, вредному воздействию электромагнитных излучений и полей, а также воздействию других вредных факторов, образующихся в результате ряда выполняемых работ.

5.1. Производственная безопасность

5.1.1. Анализ выявленных вредных факторов

При работе ускорителя электронов «СИНУС-7» присутствуют следующие вредные факторы:

- мощные электромагнитные поля;
- высокое электрическое напряжение;

5.1.1.1 Основные вредные факторы

Основным вредным фактором является электромагнитное поле (ЭМП). Находясь в электромагнитном поле, человек поглощает его энергию, в тканях возникают высокочастотные токи с образованием теплового эффекта. Биологическое действие электромагнитного излучения зависит от длины волны, напряженности поля, длительности и режима воздействия. При воздействии на человека электромагнитного поля возникают нарушения электрофизиологических процессов в центральной нервной и сердечнососудистой системах, функций щитовидной железы, генеративной функции организма.

Основными источниками электромагнитного излучения во время разработки проекта были электронный ускоритель, ЭВМ.

Предельно допустимый уровень напряженности ЭМП частотой 50 Гц на рабочем месте в течение всей смены устанавливается равным 5 кВ/м [31].

Основным коллективным средством защиты от воздействия ЭМП является экранирование источника электромагнитного излучения или же объекта защиты. При возможности эффективной защитой является удаление источника излучения из рабочей зоны. В качестве средств индивидуальной защиты, при значительном действии электромагнитного поля, используют одежду, которая изготавливается из металлизированной ткани или другой ткани с высокой электропроводностью. Ограничение времени пребывания в зоне действия ЭМП так же является эффективной защитой.

В процессе выполнения научного исследования по упрочнению феррито-перлитной стали 20 не были превышены нормы СанПиН 2.2.4.1191-03.

5.1.1.2 Производственный шум

Шум является общебиологическим раздражителем и в некоторых условиях может оказывать влияние на системы организма человека. Шум снижает точность выполняемых работ, затрудняет восприятие информации. Длительное влияние шума большой интенсивности может привести к патологическому состоянию организма, к его утомлению. Интенсивный шум вызывает изменения в сердечнососудистой системе, сопровождаемой нарушением тонуса и ритма сердечных сокращений, изменяется артериальное давление.

Уровни шума на рабочем месте должны соответствовать СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [32]. Шум на рабочих местах может возникнуть не только от работающей техники, он может проникать извне: через открытые проемы форточек, окон и дверей. Для оценки шума используют частотный спектр измеряемого уровня звукового давления, выраженного в децибелах (дБ), в активных полосах частот, который сравнивают с предельным спектром, согласно ГОСТ 12.1.003-2014 [33].

Источником шума при работе инженера в 16а корпуса ТПУ является персональный компьютер. По требованиям СН 2.2.4/2.1.8.562-96 уровень

шума не должен превышать 50 дБА. В нашем случае ЭВМ на рабочем месте полностью соответствует этим требованиям.

5.1.1.3 Исследование освещенности рабочей зоны

Освещение рабочего места – важный фактор создания нормальных условий труда. Согласно СНиП 23-05-95 [34] рабочее место инженера должно освещаться как естественным, так искусственным освещением. Естественное освещение попадает в аудитории через большое окно в светлое время суток. Естественное освещение по своему спектральному составу является наиболее приемлемым. Искусственное освещение отличается относительной сложностью восприятия его зрительным органом человека.

Слабая освещенность рабочего места инженера не только уменьшает остроту зрения, но и вызывает утомление организма в целом, что приводит к снижению производительности труда и увеличению опасности заболеваний человека. Поэтому с целью обеспечения требуемых норм освещенности необходимо произвести расчет искусственной освещенности. Для расчета общего равномерного освещения при горизонтальной рабочей поверхности основным является метод светового потока (коэффициента использования), учитывающий световой поток, отраженный от потолка и стен. При работе с персональным компьютером в сочетании с нормативной работой и технической документацией согласно действующим нормам СНиП 23-05-95 [34] для искусственного освещения регламентирована наименьшая допустимая освещенность, а для естественного и совмещенного определены коэффициенты естественной освещенности (КЕО).

Нормативное значение КЕО для третьего пояса светового климата (расположение города Томска) в соответствии с СНиП 23-05-95 [34] при третьем разряде зрительной работы (III г: контраст малый и средний, фон светлый и средний), при естественном боковом освещении КЕО, $e_n = 1,2 \%$, освещенность при искусственном освещении – 200 лк, ослепленность 40 ед. и пульсации искусственного освещения не более 15 %. Рекомендуемая освещенность для работы с экраном дисплея составляет 200 лк, а при работе

с экраном в сочетании с работой с документами 400 лк согласно СНиП 23-05-95 [34].

Проведем расчет системы искусственного освещения, согласно методу коэффициента использования и ГОСТ Р 54944-2012 [35]. Расчетным уравнением метода коэффициента использования светового потока является [36]:

$$F = \frac{E \cdot k \cdot S \cdot z}{\eta}, \quad (11)$$

где F – расчетный световой поток (лм) всех ламп, которые необходимо установить в светильниках для получения требуемой освещенности в горизонтальной плоскости;

E – минимальная нормируемая освещенность, $E = 400$ лк;

k – коэффициент запаса, $k = 1,5$;

S – площадь освещаемого помещения, 40 м^2 ;

η – коэффициент использования светового потока (в долях единицы);

z – отношение средней освещенности к минимальной, для люминесцентных ламп принимаем $z = 1,1$.

Коэффициент использования светового потока η зависит от типа светильника, коэффициентов отражения светового потока от стен $\rho_c = 50 \%$, потолка $\rho_n = 70 \%$, а также геометрических размеров помещения и высоты подвеса светильников, что учитывается одной комплексной характеристикой – индексом помещения.

Величина индекса помещения подсчитывается по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)}, \quad (12)$$

где A и B – ширина и длина помещения, $A = 5 \text{ м}$, $B = 8 \text{ м}$;

h – высота подвеса светильника над расчетной поверхностью, равная:

$$h = H - h_p - h_c, \quad (13)$$

где H – высота помещения, равная $3,5 \text{ м}$;

h_p – высота рабочей поверхности, равная $0,8 \text{ м}$;

h_c – высота подвеса светильника от уровня потолка, равная 0,2 м.

$$h = 3,5 - 0,8 - 0,2 = 2,5 \text{ м.}$$

$$i = \frac{5 \cdot 8}{2,5 \cdot (5 + 8)} = 1,23.$$

Определяем коэффициент использования светового потока $\eta = 0,53$.

Тогда величина светового потока F равна:

$$F = \frac{400 \cdot 1,5 \cdot 40 \cdot 1,1}{0,53} = 49811 \text{ лм.}$$

Определим расстояние между рядами светильников, используя соотношение:

$$L = \xi \cdot h, \quad (14)$$

где ξ – наивыгоднейшее расстояние между светильниками, для типа ОД $\xi=1,4$.

$$L = 1,4 \cdot 2,5 = 3,5 \text{ м.}$$

Расстояние между стенами и крайними рядами принимаем равным $l = L/3$, $l = 3,5/3 = 1,17$ м. При ширине помещения $A = 5$ м, получаем число рядов светильников:

$$n = \frac{A}{L} = \frac{5}{3,5} = 1,4 \approx 2. \quad (15)$$

Определим число светильников в одном ряду:

$$N_p = \frac{B - 2l}{l_{cv}}, \quad (16)$$

где l_{cv} – длина светильника, для светильника типа ОД–2–40 $l_{cv} = 1,23$ м.

$$N_p = \frac{8 - 2 \cdot 1,17}{1,23} = 4,6 \approx 4.$$

Таким образом, общее число светильников N :

$$N = N_p \cdot n \quad (17)$$

$$N = 4 \cdot 2 = 8.$$

Определим требуемый световой поток одной лампы:

$$F_{\text{л}} = \frac{F}{2 \cdot N} \quad (18)$$

$$F_{\text{л}} = \frac{49811}{2 \cdot 8} = 3113 \text{ лм.}$$

Выбираем тип лампы устанавливаемой в светильники, нам подходит люминесцентная лампа ЛБ-40 с номинальным световым потоком 3200 лм.

Подсчитаем расчетную освещенность в помещении при выбранных лампах по следующей формуле:

$$E_p = E \cdot \frac{F_{\text{лн}}}{F_{\text{л}}}, \quad (19)$$

$$E_p = 400 \cdot \frac{3200}{3113} = 411 \text{ лк.}$$

Таким образом, выбранная система освещения обеспечивает требуемую освещенность рабочего места инженера.

Потребляемая мощность осветительной установки составит:

$$P = 16 \cdot 40 = 640 \text{ Вт.}$$

5.1.1.4 Воздушная среда и микроклимат в помещении

Микроклимат производственных помещений – это климат внутренней среды помещения, который определяется влияющими на человека сочетаниями температуры, влажности и скорости перемещения воздуха, а также температуры окружающих предметов. Согласно ГОСТ 30494-96 [37] оптимальные микроклиматические условия создают общее и локальное ощущение теплового комфорта во время восьми часового рабочего дня, не вызывают отклонений в состоянии здоровья и создают условия для высокой производительности труда.

Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны должны отвечать ГОСТ 12.1.005–88 [38]. Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости перемещения воздуха приведены в таблице 9 [38].

Таблица 9 – Оптимальные и допустимые нормы микроклимата [38]

Период года	Температура, °С					Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
	Оптимальная	Допустимая на рабочих местах				Оптимальная	Допустимая, не более	Оптимальная, не более	Допустимая, не более
		Верхняя		Нижняя					
		Пост.	Не пост.	Пост.	Не пост.				
Холодный	22- 24	25	26	21	18	40-60	75	0,1	0,1
Теплый	23- 25	28	30	22	20	40-60	70	0,1	0,1

Во время исследования упрочнения феррито-перлитной стали 20 в 16а корпусе ТПУ микроклимат отвечал нормам изложенным в таблице 9.

Микроклимат аудиторий поддерживается на необходимом уровне системой водяного центрального отопления, естественной вентиляцией, а также искусственным кондиционированием и дополнительным прогревом в холодное время года.

5.1.2. Анализ выявленных опасных факторов

5.1.2.1 Работа с неорганическими кислотами

Исследование упрочнения стали 20 предполагает использование неорганических кислот, которые являются травителями поверхности микрошлифа данной стали. Для работы с кислотами должны соблюдаться следующие требования по ПБ 09-596-03 [39]:

- к работе с кислотами должны допускаться лица не моложе 18 лет;
- лица, которые прошли инструктаж по работе с кислотами и щелочами;
- работник должен соблюдать правило личной гигиены;

- лицо, работающее с кислотами, должно быть обеспечено спецодеждой (резиновые перчатки, прорезиненные фартук, резиновая обувь) и средствами индивидуальной защиты (защитные очки);

- уметь оказывать первую помощь при попадании кислоты на кожу.

Первая помощь при возможном попадании кислоты в глаза и на участки кожи – промывание поражённого места 1 %-ным раствором питьевой соды, а после большим количеством воды. Приготовление 1 %-го раствора для промывания глаз и кожи: растворить в 1 л воды десяти граммов кальцинированные соды в фарфоровой кружке №3. Такой раствор должен находиться рядом с рабочим местом с соответствующей этикеткой. На рабочем месте инженера в корпусе 16а данное требование выполняется.

Аудитория, в которой производится исследование стали 20 оборудована вытяжным шкафом, в котором и производится работа с концентрированными кислотами. Хранение соляной и азотной кислоты производится в стеклянной посуде. Меры предписаны ПБ 09-596-03 [39] и в 16а корпуса ТПУ выполняются.

5.1.2.2 Требования электробезопасности

Все оборудование должно быть выполнено в соответствии с требованиями ГОСТ Р 12.1.019-2009 [40].

Комната, в которой выполнялась работа, относится к категории помещений без повышенной опасности, поскольку она характеризуется следующими признаками: температура воздуха и влажность в норме, а также электрооборудование и электрические сети выполнены в соответствии с «Правилами устройства электроустановок» (ПУЭ). Но в процессе деятельности с ЭВМ, работающим от источника тока, может возникнуть опасность поражения электрическим током. Основными причинами этого могут послужить следующие факторы: прикосновение к токоведущим частям или прикосновение к металлическим конструктивным частям, оказавшимся под напряжением. Для предотвращения опасности поражения электрическим током следует соблюдать правила электрической безопасности:

- перед включением ЭВМ в сеть, необходимо визуально проверить ее электрическую часть, на отсутствие возможных видимых нарушений изоляции, а также на отсутствие токопроводящих частей на корпусе компьютера;

- рабочее место инженера с ЭВМ не должно быть размещено вблизи силовых кабелей и высоковольтных трансформаторов;

- ЭВМ подключается через блок питания или питающее устройство, которые имеют сетевой фильтр, конденсаторы которого предназначены для шунтирования через провод зануления, и соответствующие трехполосные вилку и розетку высокочастотных помех питающей сети на землю;

- при выявлении признаков замыкания необходимо немедленно отключить от электрической сети ЭВМ;

- запрещается подключать корпус ЭВМ к батареям отопления, т.к при неисправности источника питания ЭВМ батареи могут оказаться под напряжением;

- запрещается при работающей ЭВМ в то же время прикасаться к приборам, имеющим естественное заземление.

К защитным мерам от опасности прикосновения к токоведущим частям электроустановок относятся: изоляция, ограждение, блокировка, малые напряжения, электрозащитные средства.

В корпусе 16а ТПУ используются следующие защитные меры от поражения электрическим током при работе с электроустановками:

- защитное заземление – предназначено для превращения «замыкания на корпус» в «замыкание на землю», с тем, чтобы уменьшить напряжение прикосновения и напряжение шага до безопасных величин (выравнивание самый распространенный способ защиты от поражения электрическим током;

- зануление при замыкании на корпус электроустановок – отключение участка электрических сетей;

- системы защитного отключения – отключение электроустановок в случае проявления опасности пробоя на корпус;
- защитное разделение сетей;
- предохранительные устройства

К работам на электроустановках допускаются лица, старше 18 лет, изучившие инструктаж и обученные безопасным приемам труда. К тому же электробезопасность зависит и от профессиональной подготовки работников, сознательной производственной и трудовой дисциплины. Целесообразно каждому работнику знать меры первой медицинской помощи при поражении электрическим током.

При анализе рабочего места инженера в 16а корпусе ТПУ отклонений от требований, изложенных выше, не выявлено.

5.2 Экологическая безопасность

Экологическая безопасность – это комплексная проблема и наиболее активная форма её решения – это сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства. Экологическую безопасность можно представить как комплекс государственных, международных и общественных мероприятий, направленных на рациональное использование природы, восстановление, улучшение и охрану природных ресурсов. Технический прогресс постоянно увеличивает возможности воздействия на окружающую среду и создает предпосылки для возникновения экологических кризисов. Поэтому в настоящее время вопросы охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов имеют первостепенное значение [41].

Многие предприятия сейчас внедряют новейшие технологии в процесс эксплуатации, отчистки и утилизации отходов производства. Так, внедрение электрооборудования, ЭВМ, различных средств вычислительной техники значительно упрощают процесс проектирования, эксплуатации, а также утилизации и защиты природы от вредных воздействий человечества.

Например, инженер, использует электронные пакеты обработки и носители информации, что значительно сокращает применение бумаги, а значит и вырубку тысячи гектаров леса. Но, с другой стороны, все большее внедрение и применение ЭВМ приводит к увеличению затрат электроэнергии, количества электростанций и их мощностей. Соответственно, рост энергопотребления приводит к таким экологическим нарушениям, как глобальное потепление климата, загрязнение атмосферы и водного бассейна Земли вредными и ядовитыми веществами, опасность аварий в ядерных реакторах, изменение ландшафта Земли. Целесообразным является разработка и внедрение систем с малым потреблением энергии [42].

В 315 аудитории 16а корпуса ТПУ в качестве освещающих приборов используются люминесцентные лампы, которые по классу опасности могут сравниться только с ртутными градусниками. Проблема с выбросом перегоревших люминесцентных ламп можно частично решить при выполнении требований утилизации соответствующих ламп [42]. Утилизация ламп в нашем случае возможна по заявке ТПУ в ООО НПП «Экотом» по адресу: г. Томск ул. Елизаровых 49.

При изучении упрочнения стали 20 вредных выбросов в почву, атмосферу и водные источники не производилось, радиационного заражения не произошло, чрезвычайные ситуации не наблюдались, поэтому существенных воздействий на окружающую среду и соответственно вреда природе не оказывалось.

5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Электронный ускоритель «СИНУС-7» является сложным техническим устройством, которое отличается повышенной пожарной опасностью. В ходе работы установки есть вероятность выхода из строя системы охлаждения, что может привести к пожару или небольшому взрыву.

Необходимо рассмотреть меры предупреждения и ликвидации последствий аварий:

- прогнозирование аварийных ситуаций (пожар);

- порядок информирования вышестоящих организаций при возникновении аварийной ситуации;

- разработка мероприятий по ликвидации ЧС;

- правила поведения персонала при аварии;

- ликвидация последствий аварии и защита персонала.

Ответственность за проведение мер по ликвидации последствий аварии несёт администрация учреждения, в котором произошла авария. Установка «СИНУС-7» должна быть оборудована автоматами, которые отключают электросеть при возникновении пожара или взрыва. 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.

Чрезвычайные ситуации относятся к совокупности опасных событий или явлений, приводящих к нарушению безопасности жизнедеятельности. К ним относятся: высокие и низкие температуры, поражающие токсичные дозы сильнодействующих ядовитых веществ, высокие дозы облучения, производственные шумы и вибрации и многое другое могут приводить к нарушению жизнедеятельности человека [43].

Основными причинами возникновения чрезвычайных ситуаций являются, во-первых, внутренние, к которым относятся: сложность технологий, недостаточная квалификация персонала, проектно-конструкторские недоработки, физический и моральный износ оборудования, низкая трудовая и технологическая дисциплина. Во-вторых, внешние чрезвычайные ситуации, - это стихийные бедствия, неожиданное прекращение подачи электроэнергии, воды, технологических продуктов, терроризм, войны.

Главная задача при чрезвычайных ситуациях - защита населения от возможного поражения. Выполнение этой задачи достигается путем укрытия населения в защитных сооружениях, эвакуацией его из городов и обеспечением индивидуальными средствами защиты от оружия массового поражения [43].

5.3.1 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 [42].

Возникновение пожара в аудитории 31516а корпуса ТПУ может быть обусловлено следующими факторами: в современных ЭВМ 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 °С. При этом возможно оплавление изоляции соединительных проводов, их оголение, как следствие - короткое замыкание, сопровождаемое искрением.

Следовательно, для целей обеспечения пожарной безопасности эксплуатация ЭВМ 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 В.

Среди организационных и технических мероприятий, осуществляемых для устранения возможности пожара, выделяют следующие меры [44]:

- использование только исправного оборудования;
- проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;
- назначение ответственного за пожарную безопасность помещений предприятия;
- издание приказов по вопросам усиления пожарной безопасности
- отключение электрооборудования, освещения и электропитания по окончании работ;
- курение в строго отведенном месте;
- содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

На предприятии должны висеть огнетушители, а также силовой щит, который позволяет мгновенно обесточить кабинет. На видном месте в коридорах вывешены инструкции и обязанности сотрудников и план эвакуации в случае пожара. В случаях, когда не удастся ликвидировать пожар самостоятельно, необходимо вызвать пожарную охрану и покинуть помещение, руководствуясь разработанным и вывешенным планом эвакуации.

Аудитория №315 16а корпуса ТПУ полностью соответствует требованиям пожарной безопасности.

5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Поверхность напольного покрытия в помещениях, где эксплуатируются ЭВМ и других приборы должна быть ровной, без выбоин, не должна быть скользкой, обладать антистатическими свойствами. В помещении должна находиться аптечка первой медицинской помощи.

Помещения с ЭВМ должны оборудоваться системой отопления в зимний период и охлаждения воздуха в летний период. В помещениях так же должна быть эффективная приточно-вытяжная вентиляция.

Помещения должны иметь естественное и искусственное освещение. Не допускается расположение рабочих мест за мониторами и другими приборами в подвальных помещениях.

Площадь на одно рабочее место с компьютером и другими приборами согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [45] должна составлять не менее $4,5 \text{ м}^2$ на базе плоских дискретных экранов.

Заключение

В результате исследования ударно-волнового упрочнения и откольного разрушения плоских мишеней из феррито-перлитной стали 20 при воздействии сильноточного электронного пучка можно сделать следующие выводы.

1. У тыльной поверхности мишеней образуется отколотый слой, а со стороны фронта – лунка абляции. Глубина лунки абляции не превышает 450...650 мкм, что свидетельствует о неоднородном распределении плотности тока пучка на мишени.

2. Непосредственно под лункой абляции формируется слой, не превышающий 10...20 мкм. Данный слой имеет дисперсную структуру на основе мартенсита с размером блоков ~50 нм. Следующий за ним слой представляет структуру бейнита (игольчатое строение), и его толщина не превышает ~40 мкм. В местах с большей глубиной лунки абляции этот слой не фиксируется, при этом увеличивается примерно в два раза толщина слоя с дисперсной структурой. Далее перед исходной феррито-перлитной структурой формируется слой с явно выраженной литой структурой толщиной ~100 мкм.

3. В прифронтальной части мишени (на глубине до 150 мкм) наблюдается резкое увеличение микротвердости (максимальный уровень твердости ~5700 МПа характерен непосредственно для поверхности лунки абляции), далее она резко спадает до 2250...2500 МПа. В центральной части мишени твердость сохраняется на уровне 2700...3000 МПа, и только у тыльной поверхности мишени формируется второй максимум микротвердости на уровне ~3000 МПа.

4. Закалка стали 20 с жидкого состояния непосредственно слоя материала под лункой абляции приводит к двукратному повышению твердости по сравнению с закалкой образцов в воде.

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

Список использованных источников

1. Гуляев А. П., Металловедение. Учеб. для вузов. 6-е изд., перераб. и доп. М.: Металлургия. 1986. 544 с.
2. Кюрдюмов Г. В., Утевский Л. М., Энтин Р.И. Превращения в железе и стали. М., «Наука», 1977. 236 с.
3. Материаловедение: Учебник для вузов / Б. Н. Арзамасов, В. И. Макаров, Г. Г. Мухин и др.; Под общ. ред. Б. Н. Арзамасова, Г. Г. Мухина. – 8-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008.- 648 с.: ил.
4. Сварка в машиностроении: Справочник. В 4-х т. / Ред-С 24 кол.: Г. А. Николаев (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1978 – т.2 / Под ред. А. И. Акулова. 1978. 462 с.
5. ГОСТ 1050 – 88 Прокат сортовой, калиброванный, со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали.
6. Гнусов С.Ф. Специальные главы материаловедения (для специалистов сварочного производства): учебное пособие; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – 2-е изд., перераб. – Томск.: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 108 с.
7. Okan Unala, Remzi Varol. Surface severe plastic deformation of AISI 304 via conventional shotpeening, severe shot peening and repeening // Applied Surface Science. – 2015. - 351. – P. 289-295.
8. Kangmin Chen, Chenchao Zheng, Zhizhong Yuan. Deformation microstructures of austenitic stainless steel 2Cr13Mn9Ni4 under ultrafast strain rate by laser shock processing // Materials Science & Engineering. - 2013. - 587. – P. 244-249.
9. B.N. Mordyuk, Yu. V. Milman, M.O. Iefimov. Characterization of ultrasonically peened and laser-shock peened surface layers of AISI 321 stainless steel // Surface & Coatings Technology. - 2008. 202. – P. 4875-4883.

10. B.F. Wang, Z.L. Liu, X.Y. Wang. An EBSD investigation on deformation-induced shear bands in a low nickel austenitic stainless steel under controlled shock-loading conditions // *Materials Science & Engineering*. - 2008. – 610. – P. 301-308.
11. Liucheng Zhou, Weifeng He, Sihai Luo. Laser shock peening induced surface nanocrystallization and martensite transformation in austenitic stainless steel // *Journal of Alloys and Compounds*. - 2016. – 655. – P. 66-70.
12. F.C. Liu, B. Lv, F.C. Zhang, S. Yang. Enhanced work hardening in Hadfield steel during explosive treatment // *Materials Letters*. -2011. – 65. – P. 2333-2336.
13. Li Xiaoyun, Wu Wei, Zu Fangqiu, Liu Lanjun, Zhang Xianfeng. Influence of impact energy on work hardening ability of austenitic manganese steel and its mechanism // *China foundry*. – 2011. – 93. – P. 248-251.
14. Bekim Berisha, Christian Raemy. Multiscale modeling of failure initiation in a ferritic–pearlitic steel // *Acta Materialia*. – 2015. – 100. – P. 191-201.
15. Гньюсов С. Ф., Исакин И. А. Влияние мегавольтного электронного пучка на характер деформации и разрушение аустенитных сталей 110Г13 и S304L // *Неразрушающий контроль* 2013, том 290-92 с.
16. Исакин И. А., Гньюсов С. Ф. Особенности упрочнения и откольного разрушения стали 304L при воздействии наносекундного релятивистского сильноточного электронного пучка // *Неразрушающий контроль* 2014, том 2 55-58 с.
17. Гньюсов С.Ф., Ротштейн В.П., Полевин С.Д., Кицанов С.А. Деформационное поведение и откольное разрушение стали Гадфильда при ударно-волновом нагружении. // *Известия высших учебных заведений. Физика*, 2010. №10.– 56-62 с.
18. Житнов С. В., Давыдов Н. Г. Высокомарганцевые стали. – М.: Металлургия, 1995, - 302 с.

19. Марочник сталей и сплавов. 2-е. изд., доп. и испр. / А.С. Зубченко, М.М. Колосков, Ю.В. Каширский, и др. Под общей ред. – А.С. Зубченко – М.: Машиностроение, 2003. 784 с.
20. Г.И. Канель, С.В. Разоренов, А.В. Уткин. Ударно-волновые явления в конденсированных средах. – М.: «Янус-К», 1996. – 408 с.
21. Батаев И.А., Батаев А.А. Локализация пластического течения в низкоуглеродистой стали, деформированной взрывом //Физическая мезомеханика – 2011. - 14. 93–99 с.
22. Полетика И.М., Голковский М.Г., Перовская М.В. Электронно-лучевая закалка поверхностного слоя стали вне вакуума // Физическая мезомеханика. спец. выпуск. - 2006. - 9. 181 – 184 с.
23. В. И. Бойко, А. Н. Валяев, А. Д. Погребняк. Модификация металлических материалов импульсными мощными пучками частиц. - «УФН». 1999. том 169.
24. Клименов В.А., Ерошенко А.Ю. Исследование термических условий структурообразования среднеуглеродистой стали при оплавлении электронным лучом // Физическая мезомеханика. – 2006. – 9. 169 – 172 с.
25. С. Li, B. Li, J.Y. Huang, H.H. Ma. Spall damage of a mild carbon steel: Effects of peak stress, strain rate and pulse duration// Materials Science & Engineering. - 2016. – 660. – P. 139 – 147.
26. S. F. Gnyusov, V. P. Rotshtein, A. E. Mayer, V. V. Rostov, A. V. Gunin, K. V. Khishchenko, P. R. Levashov // Simulation and experimental investigation of the spall fracture of 304L stainless steel irradiated by a nanosecond relativistic high-current electron beam // International Journal of Fracture. – 2016. – 199. –P. 59–70.
27. ГОСТ 19.102-77. Единая система программной документации. Стадии разработки.
28. Экономические расчеты в дипломных проектах по техническим специальностям: Метод. указания для студентов / Сост.: Л.И. Горчакова, М.В. Лопатин. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. - 28 с.

29. Политика доходов и заработной платы. Под ред. П. В. Савченко и Ю. П. Кокина. М.: Юристъ, 2000. 456 с.
30. Барткова Н.Н., Крупина Н.Н. Амортизационная политика: формирование и анализ: Монография. — М.: Инфра-м, 2012. — 301 с.
31. СанПиН 2.2.4.1191-03 Электромагнитные поля в производственных условиях.
32. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
33. ГОСТ 12.1.003–83. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности.
34. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.
35. ГОСТ Р 54944-2012. Здания и сооружения. Методы измерения освещенности.
36. Расчёт искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех специальностей. – Томск: Изд. ТПУ, 2005. – 9 с.
37. ГОСТ 30494-96. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.
38. ГОСТ 12.1.005–88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
39. ПБ 09-596-03. Правила безопасности при использовании неорганических жидких кислот и щелочей.
40. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
41. Белов С. В., Барбинов Ф. А., Козьяков А. Ф. и др. // Охрана окружающей среды: Учеб для техн. вузов, 2-е изд. – М.: Высш. шк., 1991. – 319 с.
42. Кукин П. П., Лапин В. Л., Пономарев Н. Л. и др. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств: Учеб. пособие для вузов // 5-е изд. – М.: Высш. шк., 2009. – 335 с.

43. Журавлев В.Г. Защита населения и территории в чрезвычайных ситуациях. М.: Высшая школа, 1990. – 376 с.

44. ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации.

45. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.