

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

Институт Кибернетики

Направление подготовки Стандартизация и метрология

Кафедра Систем управления и мехатроники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
АНАЛИЗ СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ СВАРНЫХ СТЫКОВ РЕЛЬСОВ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ МЕТОДОМ

УДК 625.14:621.721.052:620.179.16

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ51	Рыжова Анна Олеговна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
заведующий НИЛ «ФМК», доцент СГУПС	Бехер Сергей Алексеевич	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Конотопский Владимир Юрьевич	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры Экологии и безопасности жизнедеятельности	Извеков Владимир Николаевич	к.т.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Систем управления и мехатроники	Губин Владимир Евгеньевич	к.т.н.		

Томск – 2017 г.

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО НАПРАВЛЕНИЮ
«Стандартизация и метрология»**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Профессиональная компетенции	
P1	Применять современные базовые и специальные естественнонаучные, математические и инженерные знания для решения инновационных задач метрологического обеспечения, контроля качества, технического регулирования и проверки соответствия с использованием современных технологий, и учитывать в своей деятельности экономические, экологические аспекты и вопросы энергосбережения.
P2	Выполнять работы по метрологическому обеспечению и техническому контролю, проводить анализ состояния и динамики метрологического и нормативного обеспечения производства, производить оценку качества измерений, контроля и испытаний, проводить работы по автоматизации измерений и контроля в производстве и научных исследованиях.
P3	Выполнять работы в области стандартизации и сертификации: выполнять разработку и экспертизу новых технических регламентов и другой нормативной документации, разрабатывать процедуры оценки соответствия, поддерживать единое информационное пространство планирования и управления предприятием на всех этапах жизненного цикла изделий.
P4	Выполнять работы в области контроля и управления качеством: исследовать причины появления некачественной продукции, разрабатывать предложения по предупреждению и устранению причин брака, осуществлять приемочный и выходной контроль продукции, а также контроль производства на основе современных технических средств.
P5	использовать базовые знаний в области экономики, проектного менеджмента и практики ведения бизнеса, в том числе менеджмента рисков и изменений, для ведения инновационной инженерной деятельности; организовывать работы по защите объектов интеллектуальной собственности и коммерциализации прав на них, проводить технико-экономический анализ по проектам связанным с метрологическим обеспечением производства.

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Универсальные компетенции	
P6	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности, заниматься научно-педагогической деятельностью в области метрологии, технического регулирования и управления качеством
P7	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, а также руководить командой, принимать исполнительские решения в условиях спектра мнений, определять порядок работ, демонстрировать ответственность за результаты работы
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инженерной деятельности
P9	Ориентироваться в вопросах безопасности и здравоохранения, юридических и исторических аспектах, а так же различных влияниях инженерных решений на социальную и окружающую среду
P10	Следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам инженерной деятельности, проявлять гражданскую позицию, направленную на его совершенствование.

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

Институт Кибернетики

Направление подготовки (специальность) Стандартизация и метрология

Кафедра Систем управления и мехатроники

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ Губин В.Е.

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
8ГМ51	Рыжовой Анне Олеговне

Тема работы:

**АНАЛИЗ СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ СВАРНЫХ СТЫКОВ РЕЛЬСОВ
 УЛЬТРАЗВУКОВЫМ МЕТОДОМ**

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Приказ № 1653/с от 13.03.2017

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>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></p>	<p>Объект исследований: сварные стыки рельсов, изготавливаемые электроконтактной сваркой плавлением. Исходные данные: – СТО РЖД 1.08.002 – 2009 «Рельсы железнодорожные, сваренные электроконтактным способом»; – ГОСТ Р 55724 – 2013 «Контроль неразрушающий. Соединения сварные» – ГОСТ Р 53205 – 2008 «Контроль неразрушающий. Определение размеров зерен стали акустическим методом. Общие требования»</p>
<p>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; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Провести обзор литературных источников по теме диссертационной работы. 2. Экспериментально исследовать затухание ультразвуковых волн в основном материале и в сварных стыках рельсов. 3. Исследовать двухчастотный метод ультразвукового контроля сварных соединений рельсов, изготавливаемых электроконтактной сваркой плавлением.

	<p>4. Отработать методику применения одного стандартного преобразователя типа П111-5,0-К6 для последовательного контроля на частотах 2,5 и 5,0 МГц.</p> <p>5. Исследовать влияние акустического контакта, типа отражателя и состояния донной поверхности на отношение амплитуд донных сигналов на двух частотах.</p> <p>6. Заключение.</p>
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Презентация, выполненная в MS PowerPoint
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	доцент, к.э.н. Конотопский Владимир Юрьевич
Социальная ответственность	доцент, к.т.н. Извеков Владимир Николаевич
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
1. Сварка рельсов	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
заведующий НИЛ «ФМК», доцент СГУПС	Бехер Сергей Алексеевич	к. т. н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ51	Рыжова Анна Олеговна		

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

Студенту:

Группа	ФИО
8ГМ51	Рыжова Анна Олеговна

Институт	Кибернетики	Кафедра	СУМ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	27.04.01 Стандартизация и метрология

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Расчет затрат на разработку НИРС
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	НДС – 18%, отчисления на заработную плату – 30%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	
2. Разработка устава научно-технического проекта	
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ
2. Сегментирование рынка
3. Оценка конкурентоспособности технических решений
4. Диаграмма FAST
5. Матрица SWOT
6. График проведения и бюджет НТИ
7. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ
8. Потенциальные риски

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Конотопский Владимир Юрьевич	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ51	Рыжова Анна Олеговна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ГМ51	Рыжовой Анне Олеговне

Институт	Кибернетики	Кафедра	СУМ
Уровень образования	Магистрант	Направление/специальность	Метрология и стандартизация

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) – чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера) 	<p>Ультразвуковой контроль структурного параметра материала – размера зерна в сварных стыках рельсов на рельсосварочных предприятиях.</p>
<p>2. Перечень законодательных и нормативных документов по теме</p>	<p>Таблица 5.1</p>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства) 	<ul style="list-style-type: none"> – Метеопараметры; – напряженность труда; – повышенный уровень ультразвука; – освещенность; – шум.
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения) 	<ul style="list-style-type: none"> – Движущийся подвижной состав, транспортные средства, движущиеся механизмы, подвижные части производственного оборудования; – повышенное значение напряжения в электрической цепи.
<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны 	<ul style="list-style-type: none"> – Анализ воздействия объекта ВКР и

<ul style="list-style-type: none"> – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p>области его использования на ОС;</p> <ul style="list-style-type: none"> – разработка решений по обеспечению экологической безопасности.
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий 	<p>Выбор и описание возможных ЧС; Типичная ЧС – пожар.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.
<p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны 	<ul style="list-style-type: none"> – Специальные правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны оператора.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры Экологии и безопасности жизнедеятельности Института неразрушающего контроля НИ ТПУ	Извеков Владимир Николаевич	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ51	Рыжова Анна Олеговна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 121 страница, 41 рисунок, 24 таблицы, 21 источник, 1 приложение, 17 слайдов графического материала.

Ключевые слова: рельсы, ультразвуковой контроль, сварной шов, структуроскопия, размер зерна.

Объектом исследования являются сварные стыки рельсов, изготовленные электроконтактной сваркой плавлением.

Цель работы: анализ и оценка возможностей ультразвукового контроля структурного параметра материала – размера зерна в сварных стыках рельсов.

В процессе работы проводились исследования двухчастотного метода ультразвукового контроля сварных соединений рельсов, изготавливаемых электроконтактной сваркой плавлением с применением одного стандартного преобразователя типа П111-5,0-К6 для последовательного контроля на частотах 2,5 и 5,0 МГц. Исследования влияния акустического контакта, типа отражателя и состояния донной поверхности на отношение амплитуд донных сигналов на двух частотах.

В результате исследования отработана методика применения одного стандартного преобразователя (далее ПЭП) типа П111-5,0-К6 для последовательного контроля сварных стыков рельсов на частотах 2,5 и 5,0 МГц. Проконтролировано более 10 сварных стыков. Используя теорию однократного рассеяния акустических волн и экспериментальные данные, получена формула, связывающая отношение амплитуд донных сигналов с размером зерна.

При внедрении предложенного метода, несмотря на предполагаемое увеличение себестоимости выпускаемых рельсов, повысится их качество и, следовательно, увеличится срок службы. Таким образом, можно предположить о значительном снижении рисков аварийных прерываний в эксплуатации. Также экономический эффект разработанного метода для контроля структуры сварных стыков рельсов может характеризоваться снижением внутрипроизводственных затрат на исправление брака.

ОСНОВНЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

НК – неразрушающий контроль;

ПЭП – пьезоэлектрический преобразователь;

УЗК – ультразвуковой контроль;

СО – стандартный образец;

СОП – стандартный образец предприятия;

АЧХ – амплитудно-частотная характеристика;

НЛЗ – непрерывно-литая заготовка;

ОК – объект контроля;

СИЗ – средства индивидуальной защиты.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	13
1 Сварка рельсов.....	15
1.1 Категории и типы рельсов.....	15
1.2 Микроструктура рельсов.....	16
1.3 Контрактная электросварка.....	19
1.4 Дефекты контактной электросварки рельсов.....	26
1.5 Современные методы контроля структуры.....	35
1.5.1 Магнитная структуроскопия.....	37
1.5.2 Рентгеновский метод структурного анализа.....	39
1.5.3 Ультразвуковая структуроскопия.....	40
1.6 Выводы к первому разделу.....	42
2 Двухчастотный метод контроля структурного состояния стыков рельсов УЗК.....	44
2.1 Основное оборудование.....	44
2.1.1 Пьезоэлектрический преобразователь.....	45
2.1.2 Дефектоскоп ультразвуковой УСД-50.....	46
2.2 Алгоритм проведения предложенного метода.....	48
2.2.1 Требования к лаборатории и специалистам, осуществляющим контроль.....	48
2.2.2 Подготовка сварного соединения к контролю.....	49
2.2.3 Настройка дефектоскопа.....	50
2.2.4 Проведение контроля.....	51
2.2.5 Оформление результатов контроля.....	51
2.3 Выводы ко второму разделу.....	51
3 Результаты экспериментальных исследований.....	53
3.1 Исследование возможности прозвучивания ОК одним ПЭП на двух частотах.....	53
3.2 Изменения амплитуды сигнала при контроле на двух частотах.....	58

3.3	Влияние акустического контакта, типа отражателя и состояния донной поверхности на отношение амплитуд донных сигналов на двух частотах.....	59
3.4	Исследование зависимости усиления от координаты вдоль сварного шва.....	61
3.5	Металлографический анализ.....	64
3.6	Исследование стальных роликов.....	65
3.7	Выводы к третьему разделу.....	66
4	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	68
5	Социальная ответственность.....	82
	Заключение.....	103
	Список публикаций.....	105
	Список используемых источников.....	106
	Приложение А.....	108

ВВЕДЕНИЕ

Рельсы являются самым дорогим и самым ответственным элементом верхнего строения пути. Безопасность и надежность работы рельсов обеспечивается исполнением многочисленных требований.

Особое внимание уделяется рельсовым стыкам, т.к. они являются самым напряженным местом железнодорожного пути. При обычных условиях рельсы в месте стыка и вблизи от него могут подвергаться серьезным повреждениям, что вызовет необходимость удаления их из пути. Следовательно, стык является первоначальной причиной изъятия рельсов из пути и таким образом элементом, вносящим большую долю расходов, приходящихся на содержание пути.

Отсутствие в рельсовых плетях стыков позволяет улучшить плавность движения поездов, продлить сроки службы элементов верхнего строения пути, снизить расходы на содержание пути, ремонт подвижного состава и на тягу поездов, повысить надежность электрических рельсовых цепей, снизить уровень шума из-за отсутствия ударов колес в стыках. Хотя бесстыковой путь представляет собой сложнапряженную дорогостоящую конструкцию, на содержание и эксплуатацию которой затрачиваются большие экономические, технические и человеческие ресурсы, он отличается высокими эксплуатационными качествами.

Совершенствование технологий изготовления и контроля бесстыковых плетей становится одним из приоритетных направлений работы. Повышение их качества в немалой степени зависит от способности методов контроля выявлять тонкие дефекты. Контроль структурного состояния материала (содержания неметаллических включений, величины зерна) является важной составляющей технологического процесса, поскольку эти параметры определяют механические свойства и эксплуатационную стойкость изделия.

Существующие методы контроля структурного состояния, в том числе и механических характеристик, трудоемки и требуют больших материальных

затрат. Кроме того, испытания проводятся выборочно и полученные данные не несут в себе характеристику о состоянии каждой единицы продукции.

Увеличение одиночного выхода рельсов из строя в процессе эксплуатации при одновременном уменьшении объема грузоперевозок говорит об ухудшении качества производимых рельсов. Поэтому необходима разработка новых методов контроля рельсов при выпуске и оптимизации процесса производства. Наиболее перспективными для выходного и эксплуатационного контроля рельсов с оценкой их технического состояния и эксплуатационной надежности являются прецизионные методы, основанные на определении скорости ультразвуковых волн в материале.

Таким образом, разработка и внедрение прецизионных акустических методов контроля качества металла рельсов, его структурного состояния, сплошности и механических характеристик является актуальной

Целью работы является анализ и оценка возможностей ультразвукового контроля структурного параметра материала – размера зерна в сварных стыках рельсов.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Обзор современных методов структуроскопии.
2. Экспериментальное исследование затухания ультразвуковых волн в основном материале и в сварных стыках рельсов.
3. Исследование двухчастотного метода ультразвукового контроля сварных соединений рельсов, изготавливаемых электроконтактной сваркой плавлением.
4. Отработка методики применения одного стандартного преобразователя типа П111-5,0-К6 для последовательного контроля на частотах 2,5 и 5,0 МГц.
5. Исследование влияния акустического контакта, типа отражателя и состояния донной поверхности на отношение амплитуд донных сигналов на двух частотах.

1 СВАРКА РЕЛЬСОВ

1.1 Категории и типы рельсов

Рельсы – часть верхнего строения дороги, уложенная на опоры, скрепленная с ними и между собой, образуя рельсовую колею. Рельсы принимают давление колёс подвижного состава, метрополитена, трамваев, вагонеток рудничного транспорта, а также любых передвижных, поворотных и вращающихся конструкций.

Рельсы по назначению и преимущественной области применения бывают общего и специального назначения. Последние включают в себя рельсы низкотемпературной надежности (НН), повышенной износостойкости и контактной выносливости (ИК), для скоростного совмещенного движения (СС) и для высокоскоростного движения (ВС).

Говоря о классификации рельсов, следует знать стандартные обозначения. Например, в индексах Р50, Р65, Р65К (для наружных нитей кривых участков пути), Р75 буквами указывается тип изделия (Р – рельсы железнодорожные). Цифры означают округленный вес одного метра рельса. Маркировка ДТ, ОТ и НТ означают соответственно, что изделие является термоупрочненным, подвергнутым дифференцированному упрочнению по сечению рельса, термоупрочненным, подвергнутым объемной закалке и отпуску или нетермоупрочненным [1].

Самые ранние формы железных дорог появились в XVI веке в Германии. В России форма поперечного сечения рельсов установилась в 40-х годах XIX в. Далее эволюция профилей шла по пути увеличения размеров рельсов. В настоящее время рельсы всех типов имеют головку, шейку и подошву, условные границы между которыми для российских железных дорог показаны на рисунке 1.1 и в таблице 1.1 [2].

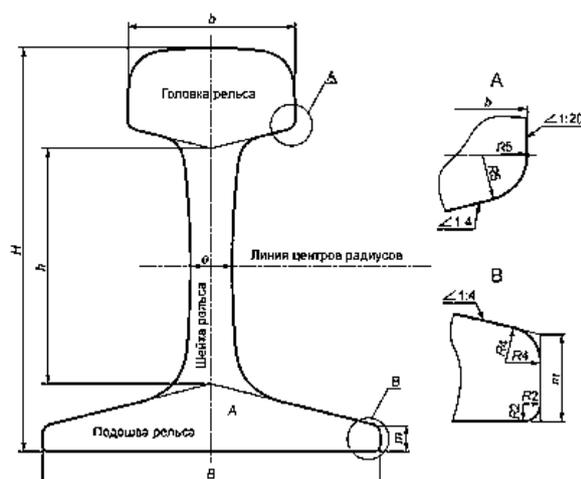


Рисунок 1.1 – Условные границы между головкой, шейкой и подошвой на поперечном профиле рельсов

Таблица 1.1 – Основные размеры поперечного сечения рельсов в миллиметрах

Размер поперечного сечения	Обозначение	Значение размера для рельса типа			
		P50	P65	P65K	P75
Высота рельса	H	152,00	180,00	181,00	192,00
Высота шейки	h	83,00	105,00	105,00	104,40
Ширина головки	b	71,59	74,59	75,00	74,59
Ширина подошвы	B	132,00	150,00	150,00	150,00
Толщина шейки	e	16,00	18,00	18,00	20,00
Высота пера подошвы	t	10,50	11,25	11,25	13,55

Рельсы, укладываемые на Российских железных дорогах, изготавливают в соответствии с требованиями нормативно-правовых документов. С 20013 г. На рельсы всех типов действует единый ГОСТ Р 51685 [1].

1.2 Микроструктура рельсов

Микроструктура металла выявляется различными специальными методами и исследуется с помощью металлографического светового и электронного микроскопов. Металлографический анализ является одним из

основных методов исследования металлов и дает определить величину, форму, количество и взаимное расположение отдельных структурных составляющих, а также величину действительного и наследственного зерна стали.

Исследование микроструктуры рельсов позволяет выявить различные отступления в технологии их изготовления, установить причины и характер различных наружных и внутренних пороков металла. Металлографические исследования микроструктуры поврежденных рельсов часто являются основным способом установления причин их разрушения.

Обычная микроструктура нетермоупрочненных рельсов представляет собой мелкопластинчатый и сорбитообразный перлит (рисунок 1.2, а). Он состоит из очень мелких пластинок феррита, чередующихся с пластинками цементит, которые могут быть выявлены только с помощью электронного микроскопа (рисунок 1.2, б). Среднее межпластинчатое расстояние в структуре нетермоупрочненных рельсов, во многом определяющее механические и эксплуатационные свойства рельсовой стали, находится в диапазоне от 1 до 1,5 мкм. Микроструктура термически упрочненных рельсов представляет собой мелкодисперсный тонкопластинчатый перлит (сорбит закалки), т.е. смесь пластинок феррита и цементита, существенно более дисперсную, чем перлит (рисунок 1.3, а, б). Среднее межпластинчатое расстояние в структуре термически упрочненных рельсов составляет примерно 0,1 мкм.

а



б



Рисунок 1.2 – Фотографии микроструктуры термически неупрочненных рельсов – мелкопластинчатый и сорбитообразный перлит: а – световой микроскоп (увеличение $\times 500$); б – электронный микроскоп (увеличение $\times 8000$)

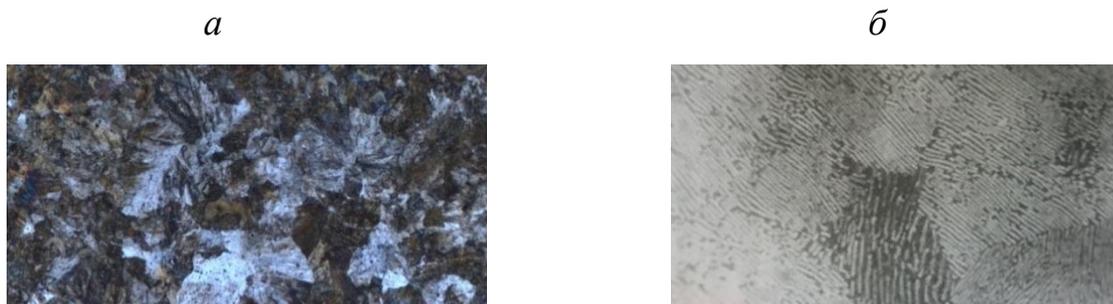


Рисунок 1.3 – фотографии микроструктуры термически упрочненных рельсов – пластинчатый перлит максимальной дисперсности (сорбит закалки): а – световой микроскоп (увеличение $\times 500$); б – электронный микроскоп (увеличение $\times 8000$)

Основные требования к структуре рельсов – ее однородность и однотипность по глубине головки. Она должна представлять собой тонкопластинчатый перлит с минимальным межпластинчатым расстоянием (сорбит закалки). Необходимо стремиться к полному исключению в структуре термически упрочненных рельсов участков игольчатых структур типа верхнего бейнита.

В последние годы сначала на зарубежных заводах, а затем и на отечественных предпринимаются попытки создать рельсы на другой структурной основе – нижнем бейните. Содержание углерода в таких рельсах понижено до (0,35 – 0,4) %, а содержание лигирующих элементов повышено.

Рельсы из бейнитной стали лучше, чем рельсы с перлитной структурой, противостоят образованию поверхностных контактно-усталостных дефектов в виде трещин и отслоений металла. В то же время они изнашиваются быстрее, чем рельсы с перлитной структурой. В связи с этим предпочтительным остается перлитная структура.

У перлитных сталей с содержанием углерода ниже эвтектоидного в структуре имеются отдельные мелкие выделения феррита, количество которых тем больше, чем ниже содержание углерода в стали. При содержании углерода (0,6 – 0,65) % и менее феррит образует тонкую светлую сетку вокруг темных зерен перлита. Следует избегать образования толстых зернограничных

прослойка избыточного феррита. У рельсов с содержанием углерода (0,78 – 0,82)% при наличии ликвации в шейке или у заэвтектоидных рельсов иногда встречается микроструктура, состоящая из перлита и структурно-свободного цементита. Допустимость выделений такого цементита в заэвтектоидных рельсах ограничена баллом 3 по ГОСТ 5640 [3], чтобы не снизилось сопротивление рельсовой стали хрупкому разрушению.

Размер зерна перлита в рельсах, не подвергаемых термическому упрочнению, определяется в основном температурой конца прокатки и соответствует в среднем баллам 2, 4 по ГОСТ 5639 [4]. Размер зерна перлита в рельсах, подвергнутых термическому упрочнению, определяется в первую очередь температурой нагрева под закалку и соответствует баллам 7, 8. На размер зерна тонкопластинчатого перлита существенно влияет наличие в рельсовой стали частиц карбонитридов, что в свою очередь зависит от содержания в ней азота и ванадия.

Современная рельсовая сталь является наследственно мелкозернистой. Это говорит о том, что она не склонна к перегреву. В свою очередь перегрев металла характеризуется сильным разрастанием зерен вплоть до балла 0, что приводит к снижению механических свойств рельсовой стали, в особенности пластичности и ударной вязкости. Обычно в рельсовой стали размер наследственного аустенитного зерна, определенный после нагрева до температуры 930°C, соответствует в среднем баллу 6. Размер перлитных колоний в термически упрочненных рельсах равен 10 – 5 мкм. Следует стремиться к получению наиболее мелких перлитных колоний, чему способствует повышение содержания в рельсовой стали ванадия и азота, обеспечивающих образование дисперсных карбонитридных фаз [2].

1.3 Контактная электросварка

Впервые замысел устройства пути без стыков высказал в России инженер И. Ф. Стецевич ещё в 1896 году. С 2001 года бесстыковой путь на

железобетонных шпалах принят в качестве основной конструкции железнодорожного пути, а новый звеньевой путь на деревянных шпалах укладывают лишь в исключительных случаях.

Протяженность бесстыкового пути превысила половину общей протяженности Российских железных дорог. Длина стандартного железнодорожного рельса, производимого рельсопрокатными заводами, составляет (12,5; 25,0; 50,0; 100) м. Для укладки на внутренних нитях кривых участков пути выпускаются укороченные рельсы. Длина бесстыковых плетей обычно находится в пределах от четырехсот метров до длины перегона. Использование более длинных рельсов и сварных рельсовых плетей снижает сопротивление движению поездов, уменьшает износ подвижного состава и расходы на содержание пути. При переходе на бесстыковой путь сопротивление движению поездов уменьшается на (5 – 7) %, экономится около четырёх тонн металла на километр пути за счёт сварных рельсовых стыков [5]. Соответственно число сварных стыков непрерывно растёт.

Большую часть рельсовых стыков на РЖД сваривают на 19 стационарных рельсосварочных предприятиях (рисунок 1.4). Сварку в полевых условиях при укладке, а также при ремонте бесстыкового пути осуществляют передвижными рельсосварочными машинами (ПРСМ).

Можно применять разнообразные виды сварки: электроконтактную, газопрессовую, индукционно-прессовую, алюминотермитную и дуговую. Подавляющее большинство сварных стыков на Российских железных дорогах получено стыковой контактной электросваркой. Газопрессовую сварку перестали применять, а индукционно-прессовую и дуговую еще не начали, в то время, как в Германии такие виды сварки широко применимы. В последние годы сначала для вваривания в путь стрелочных переводов, а затем и для сварки рельсовых плетей в полевых условиях применяют алюминотермитную сварку.

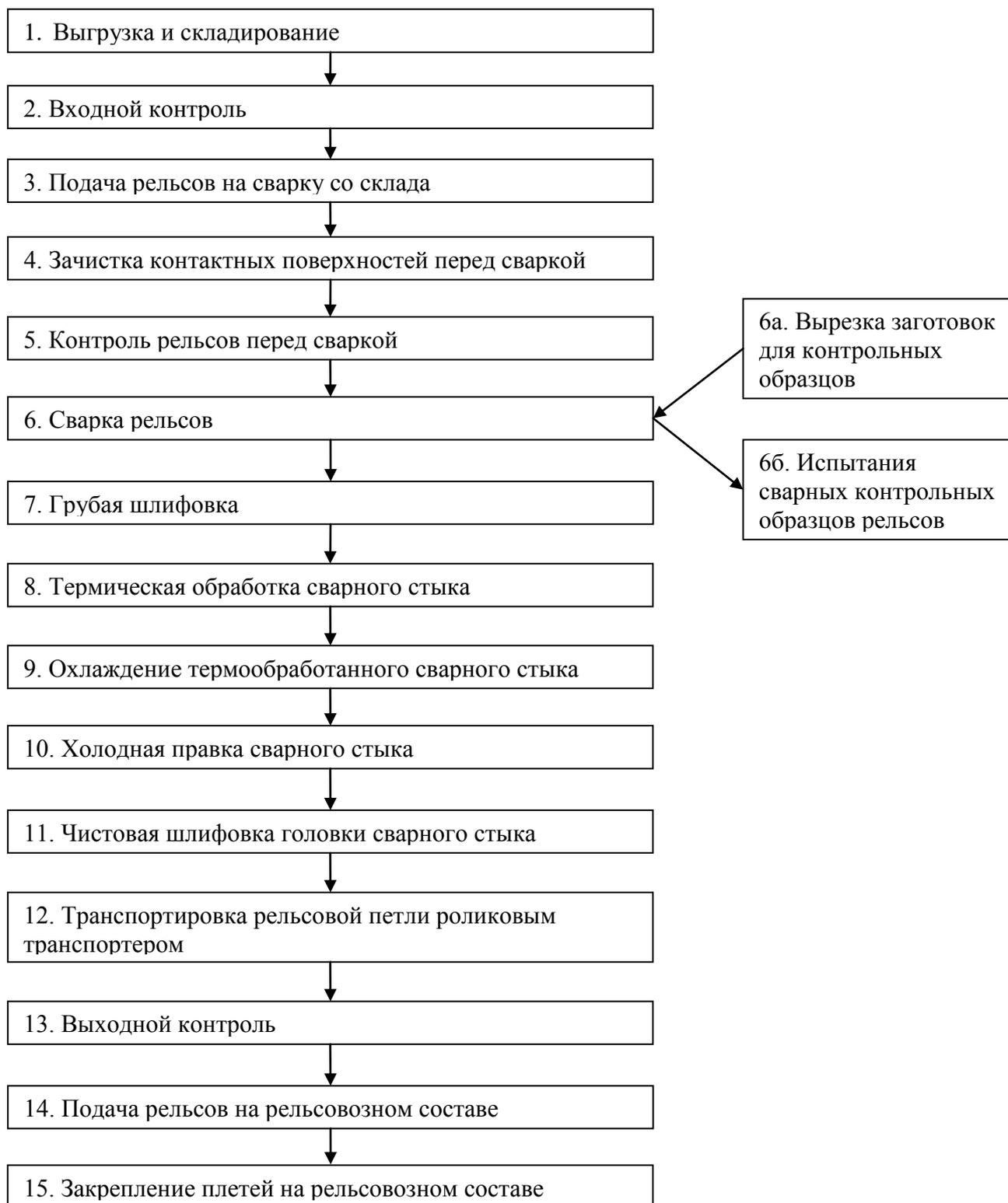


Рисунок 1.4 – Схема технологического процесса производства сварных рельсовых плетей на рельсосварочном предприятии

С точки зрения физики алюмотермитная сварка рельсов методом промежуточного литья во многом определяется металлургическими процессами: в результате химической (термитной) реакции алюминия с

железной окалиной, проходящей с большим выделением тепла в специальном тигле, образуется сталь и шлак, находящихся в разделенном расплавленном состоянии при температуре в диапазоне от 2000 до 2500 °С. Этот расплав автоматически вытекает из тигля в огнеупорные формы, обрамляющие определенной ширины зазор между рельсами, проплавляет их концы и кристаллизуется, тем самым сваривая рельсы друг с другом. При этом металл сварного шва составляет термитная сталь, а шлак, как более легкий материал, локализуется в верхней части форм вне зоны шва [6].

Одним из самых распространенных методов, который применяется при сварке рельсовых плетей и стыков рельс, является электродуговая сварка. Контактной электросваркой называется сварка с применением давления и нагрева теплом, выделяющимся при прохождении электрического тока через находящиеся в контакте соединяемые рельсы. При этом контактирующие торцы рельсов нагреваются до температуры, обеспечивающей их оплавление и локальную пластическую деформацию, в результате чего происходит сваривание. Свариваемые рельсы, установленные в зажимах машины, вместе с зажимами перемещаются навстречу друг другу вдоль оси и сжимаются с определенным усилием, которое передает привод машины. К зажимам, выполненным из медных сплавов, обладающих высокой электропроводностью, подключена вторичная обмотка сварочного трансформатора.

Высокое качество соединения обеспечивается нагревом свариваемых торцов до определенной температуры и последующей осадкой, сопровождающейся их совместной пластической деформацией.

В первый момент торцы соприкасаются отдельными выступами. Где и образуются единичные контакты различной площади. В местах контакта при прохождении электрического тока большой силы выделяется много тепла. Металл в точках контакта мгновенно расплавляется, что сопровождается образованием жидких перемычек. В дальнейшем происходит перегрев жидкой перемычки и ее взрыв в результате интенсивного парообразования. Перемычки разрушаются. Частицы металла выбрасываются в виде искр. В процессе

медленного сближения свариваемых рельс непрерывно чередуются места контактов. Перемещая свариваемые торцы рельсов навстречу друг другу, можно добиться того, чтобы процесс возникновения и разрушения элементарных контактов был непрерывным.

В завершающей фазе сварки после образования на торцах тонкого слоя расплавленного металла и достаточного их прогрева осуществляют быстрое сильное сдавливание свариваемых рельсов (осадку). Конечная стадия оплавления должна проводиться быстро для того, чтобы повысить температуру металла на оплавливаемых поверхностях и создать достаточно высокое давление паров металла, препятствующих проникновению воздуха в искровой промежуток.

В процессе оплавления выравниваются все неровности стыка, а при осадке с торцов рельсов удаляются загрязнения и окислы. Разогретый до высоких температур металл пластически деформируется и сваривается. В стыке по всему периметру образуется утолщение в виде выдавленного металла и грата. Его удаляют сразу после окончания сварки: срезают гратоснимателями в горячем состоянии.

При электроконтактной сварке соединение свариваемых рельсов обусловлено деформацией их торцов. Благодаря этому в сварном шве отсутствуют структуры литого металла. В то же время расплавленный металл, находящийся на соединяемых поверхностях, окисляется кислородом воздуха, имеющимся в искровом зазоре; в результате образуются оксиды, которые при осадке вместе с жидким металлом выдавливаются из стыка в грат.

Наличие на торцах рельсов перед осадкой слоя жидкого расплава толщиной около 0,2 мм, который не успевает кристаллизоваться, является обязательным условием получения качественных сварных швов. Улучшению их качества способствует также увеличение скорости осадки, что способствует уменьшению продолжительности окисления.

При сварке каждого шва важно обеспечить следующее:

- заданное распределение температуры в торцах на всех участках поперечного сечения рельса к завершающей стадии сварки – осадке;
- требуемую интенсивность оплавления в заданный промежуток времени перед осадкой;
- заданные величину и скорость осадки в завершающей стадии сварки.

На основании записи этих параметров можно осуществлять операционный контроль над процессом сварки каждого шва.

Низкое сопротивление сварочного контура позволяет уменьшить время сварки и потребляемую машинами мощность. Для регулирования температуры торцов и управления шириной зоны разогрева предусмотрено программное управление вторичным напряжением и колебательное изменение искрового зазора. Современные сварочные машины оборудуют компьютерной техникой для регистрации параметров режима сварки.

Стационарные машины имеют токопроводящие зажимы (губки), зажимающие рельсы сверху и снизу по головке и подошве. В этом случае протяженность зон термического влияния одинакова во всех частях профиля рельсов. Тогда как в подвесных машинах рельсы зажимают с двух сторон за шейку, вследствие чего протяженность зоны термического влияния в шейке больше, чем в головке и подошве.

Сварка рельсов с пульсирующим оплавлением позволяет уменьшить ширину зоны термического влияния, что повышает прочностные характеристики при испытании рельсов на статический изгиб.

Соблюдение режимов сварки в современных сварочных машинах контролируется программным обеспечением. Предусмотрена возможность выдачи заключения о качестве сварки. Кроме того, чтобы предотвратить нарушения режимов сварки и получение бракованных сварных стыков, систематически испытывают контрольные образцы на статический поперечный трехточечный изгиб и проверяют твердость металла шва.

Даже при условии качественно проведенной сварки сварные стыки являются слабыми местами бесстыкового пути. Существуют потенциальные опасности – повышенный износ и смятие, связанные с пониженной твердостью сварных стыков. Это может приводить к образованию увеличенных местных коротких неровностей, а также к повышению вероятности хрупких и усталостных разрушений в зоне сварных стыков.

Для улучшения механических свойств сварных стыков на Российских железных дорогах проводят их термическую обработку. Различают два способа. Более старым является закалка головки в зоне сварного стыка с использованием тепла сварочного нагрева. Охлаждение производят не позднее чем через 120 с после завершения сварки, пока металл головки еще находится в аустенитном состоянии. В качестве охлаждающей среды при закалке используют водовоздушную смесь, подаваемую на головку. Шейка и подошва сварного стыка защищены от попадания охлаждающей смеси. После проведения этой операции твердость головки сварного стыка повышается до присущей основному металлу, что предотвращает образование в процессе эксплуатации местных неровностей в зоне сварных стыков.

Более современной является дифференцированная термическая обработка сварных рельсовых стыков, при которой используется индукционный нагрев. Под действием индукционного объемного нагрева с частотой (8 – 15) кГц до температур выше критических (850 – 900) °С происходит перекристаллизация во всех зонах сварного шва и зонах термического влияния. Это приводит к измельчению зерна и соответствующему повышению вязкости и пластичности шейки и подошвы, которые затем медленно охлаждаются на воздухе. Ускоренное охлаждение головки рельса сжатым воздухом в течение 180 с вызывает повышение ее твердости, а также сопротивления смятию и износу зон металла, прилегающих к поверхности катания и рабочей боковой грани головки. Соответствующие установки созданы для термической обработки сварных швов в стационарных и полевых условиях.

Для проверки сварные стыки подвергают сплошному ультразвуковому контролю и выборочным испытаниям на статический изгиб.

Сварные стыки не должны ограничивать и лимитировать срок службы бесстыковых плетей в различных эксплуатационных условиях вне зависимости от климата, грузонапряженности и скорости пассажирских и грузовых поездов. Установлен гарантийный срок на эксплуатацию сварных стыков: 150 млн т брутто, но не более 5 лет с момента сварки.

1.4 Дефекты контактной электросварки рельсов

Дефекты стали – отклонения от предусмотренного техническими условиями качества стали по химическому составу, структуре, сплошности, состоянию поверхности, механическим и другим характеристикам. Дефекты стали возникают из-за несовершенства или нарушения технологий при всех видах формообразования поверхностей: при обработке давлением, при термической обработке, при сварке и др.

При сварке рельсов вследствие нагрева металла до высоких температур, достигающих температуры плавления, и большой пластической деформации происходит значительное изменение микроструктуры в зоне шва и прилегающих зонах, называемых зонами термического влияния. В этих условиях в результате осадки изменяется первичная волокнистая структура (рисунок 1.5)., в результате горячей пластической деформации и нагрева – размер зерен и в результате всех процессов, протекающих при сварке, - и эпюра остаточных напряжений. При этом образуется следующая зональная структура сварного стыка:

– зона *I* сварного соединения толщиной, составляющей доли миллиметра, с волокнами, ориентированными поперек оси рельса. Ее микроструктура состоит из пластинчатого сорбита и тонкой сетки феррита по границам зерен. Пониженная травимость этой зоны связана не только с меньшим содержанием углерода вследствие окисления жидкого металла и

большим содержанием феррита в структуре, но и с влиянием остатков жидкого металла, обогащенного легирующими элементами. Твердость в этой зоне понижена;

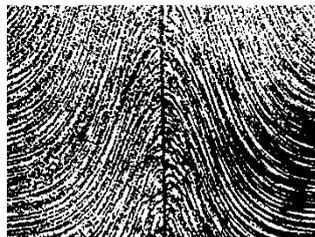


Рисунок 1.5 – Фотография первичной волокнистой структуры в головке сварного рельса

– зона 2 неполного расплавления шириной (1 – 1,5) мм, микроструктура которой состоит из крупнозернистого пластинчатого сорбита с обрывками ферритной сетки. В этой зоне возможно скопление легкоплавких составляющих и рыхлостей;

– зона 3 сорбитизации шириной (10 – 15) мм, возникшая после перегрева. Ее микроструктура состоит из крупнозернистого пластинчатого сорбита, образовавшегося в результате перегрева и рекристаллизации. Твердость в этой зоне повышена, пластичность понижена;

– зона 4 сорбитизации шириной (10 – 15) мм, возникшая без перегрева; микроструктура зоны состоит из пластинчатого сорбита с мелким размером зерна;

– зона 5 высокого отпуска шириной (5 – 10) мм с микроструктурой, содержащей крупные карбиды. Здесь вследствие протекания процессов разупрочнения при высоком отпуске твердость снова понижена;

– зона 6 основного металла; в ней нагрев при сварке не привел к изменению исходной микроструктуры.

Зона термического влияния расположена по обе стороны от сварного шва. Расстояние между зонами около стыка рельса, сваренного методом непрерывного оплавления, составляет 80 мм (по 40 мм по обе стороны шва), в случае пульсирующего оплавления – (40 – 50) мм. Ширина зоны термического

влияния увеличивается по мере роста продолжительности и интенсивности нагрева в процессе сварки.

Дефекты швов, полученных электроконтактной сваркой, связаны с локальным нагревом вплоть до расплавления одного сечения рельса, температура по обе стороны от которого падает достаточно интенсивно. Дефекты обусловлены также большой пластической деформацией, которой подвергается нагретый металл, что приводит к удалению жидкого металла и изгибу волокон основного металла со сменой их направления по отношению к оси рельса от продольного к поперечному.

Различают дефекты самого сварного шва, возникающие в процессе сварки, дефекты основного металла, которые выявляются при сварке рельсов, и побочные дефекты, образующиеся при сварке, а также в процессе механической и термической обработки сварных швов [2].

По причине возникновения в процессе нагрева выделяют следующие основные дефекты:

- окисление (окалинообразование);
- обезуглероживание;
- перегрев;
- пережег.

В общем случае под окислением стали понимают процесс взаимодействия газов (воздуха, продуктов сгорания топлива или контролируемой атмосферы) с железом, сопровождающийся образованием слоя оксидов (окалины) на поверхности металла.

Обезуглероживание – процесс взаимодействия углерода, содержащегося в стали, с газовой атмосферой, сопровождающийся уменьшением концентрации углерода в поверхностных слоях слитков заготовок или металлоизделий.

Перегрев металла характеризуется сильным разрастанием зерен, значительным окалинообразованием и обезуглероживанием, а также может сопровождаться формированием рыхлой окалины на поверхности заготовки. На рисунке 1.7 представлена образующаяся при перегреве крупнозернистая

структура крупно- и среднепластинчатого перлита, которая характеризуется низкими механическими свойствами.

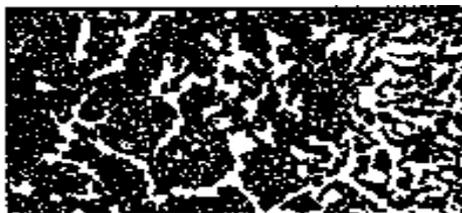


Рисунок 1.7 – Фотография микроструктуры: перлит и цементит в виде сетки, (x2000)

В зависимости от степени перегрева металла образуются следующие виды изломов: нафталинистый (нафталиновый) и камневидный.

Нафталинистый излом представляет собой однородную поверхность разрушения, проходящую по телу крупных зерен, и имеет характерный селективный блеск, изменяющийся при изменении угла падения света и похожий на блеск кристаллов нафталина (рисунок 1.8). Выявляется на промежуточной стадии – после нагрева в методической печи перед пластической деформацией.



Рисунок 1.8 – Фотография «Нафталинистый (нафталиновый) излом»

При камневидном изломе характерно образование однородной поверхности разрушения, проходящей по границам грубых зерен, сформированных при высоких температурах и обогащенных различными ограниченно растворимыми в аустените фазами в виде мелких частиц (рисунок 1.9).



Рисунок 1.9 – Фотография «Камневидный излом»

Причиной перегрева служит превышение допустимой температуры нагрева, а также чрезмерно длительный нагрев в области высоких температур. Из-за снижения при перегреве пластичности стали при прокатке возможно образование крупных трещин и рванин, особенно по углам, кромкам и концам раската. На рисунке 1.10 представлены фотографии рванины перегретой стали, которые обычно имеют вытянутую форму без резких очертаний.

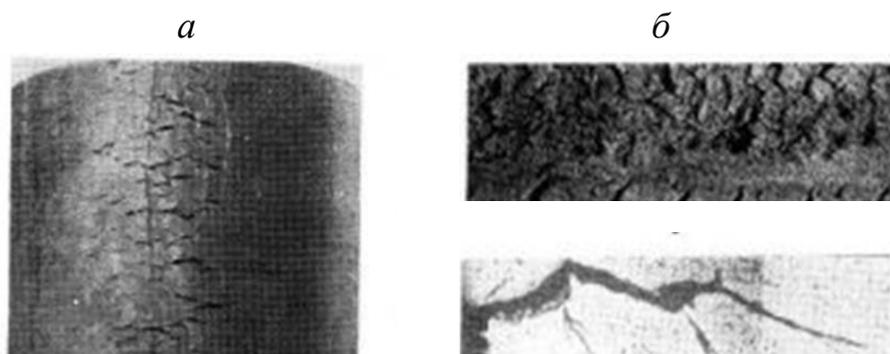


Рисунок 1.10 – Фотографии рванины: а – внешний вид; б – микроструктура в зоне дефекта ($\times 100$)

В целях предотвращения образования перегрева конечная температура нагрева рельсовой стали не должна превышать допустимых значений.

Пережог металла имеет зерногранично-окисленный излом. Он представляет собой поверхность разрушения темно-серого (близкого к черному) цвета, проходящую по границам окисленных или оплавленных зерен с ослабленной связью между собой (рисунок 1.11) [7].



Рисунок 1.11 – Фотография «Пережог»

По причине возникновения в процессе прокатки может возникать такой дефект, как осевой деформационный перегрев или пережог. Это внутренний дефект, вызванный деформационным разогревом осевых слоев непрерывнолитой заготовки до температур перегрева.

На микрошлифах по месту осевого пережога наблюдаются разрывы металла по границам бывших аустенитных зерен, ослабленных скоплением мелких диффузионных оксидов и оксидов типа окалина. Вокруг дефекта наблюдается обезуглероживание [8].

Дефекты при сварке подразделяются на наружные, внутренние и сквозные:

- пузырь;
- непровар;
- кратерная усадка;
- силикатные скопления.

На рисунке 1.12 представлены пузыри – круглые или овальные, четко очерченные углубления с плавно закругленным или плоским дном. Поверхность гладкая, блестящая, при доступе воздуха – окисленная. Часто окружены кратерной усадкой, иногда с серой или черной (окисленной) каймой рыхлости по границам зерен (рисунок 1.13).

Такого рода дефекты появляются при перегреве сварного стыка в процессе оплавления, при большой величине косины торцов рельсов (более 3 мм). Рекомендуется выявлять контролем параметров режимов сварки и ультразвуковой дефектоскопией.

Предотвратить появление пузырей можно проверяя значения напряжения во время оплавления и форсировки, и наличие короткого замыкания на форсировке, а также проводя контроль косины торцов рельсов перед сваркой.

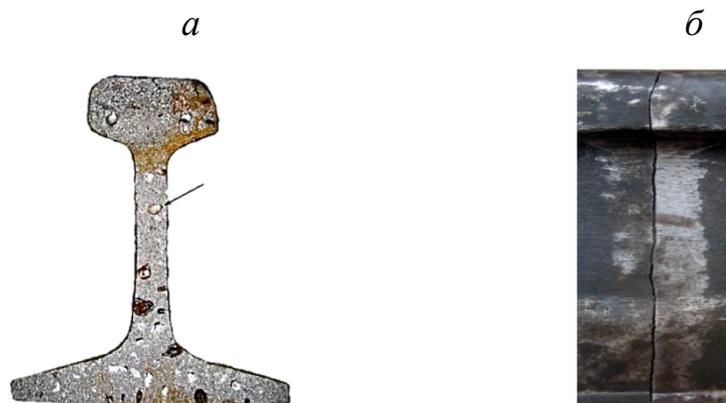


Рисунок 1.12 – Фотографии излома от пузырей: а – вид в изломе; б – общий вид излома от пузыря



Рисунок 1.13 – Фотографии микроструктуры: а – выделение вторичного цементита по границам зерен ($\times 500$); б – участки мантесита в зоне пузыря ($\times 500$)

На рисунке 1.14 изображена фотография непровара, который представляет собой круглые или овальные углубления. Часто окружены кратерной усадкой, иногда с серой каймой рыхлости по границам зерен (рисунок 1.15).



Рисунок 1.14 – Фотографии излома от непровара (контактная сварка): а– виды в изломе (в пере подошвы и в шейке); б – общий вид

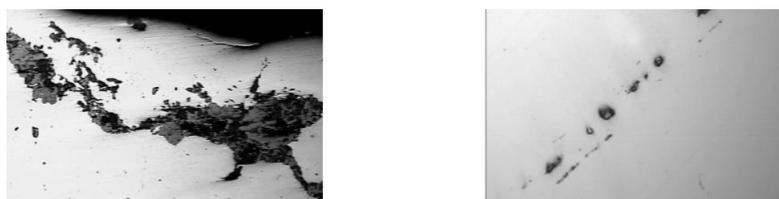


Рисунок 1.15 – Фотографии микроструктуры: включения в зоне непровара (без травления) ($\times 200$, $\times 100$)

На рисунках 1.16 и 1.17 представлены фотографии кратерной усадки – плоское светло-серебристое, с цветами побежалости или черное (окисление) пятно, иногда сероватое или с серой каймой.

Преждевременная осадка еще неравномерно разогретого стыка, очень слабое давление или недостаточная скорость осадки при нормальном режиме сварки, иногда – проскальзывание, большая величина косины торцов рельсов (более 1 мм) влекут за собой появление и развитие данных дефектов. Выявляются при внешнем осмотре, контроле параметров режимов сварки и ультразвуковой дефектоскопией.

Предотвратить возникновение дефектов можно контролем косины торцов рельсов перед сваркой, проверкой давления в гидросистеме, значения напряжения во время оплавления, а также величину и скорость осадки.

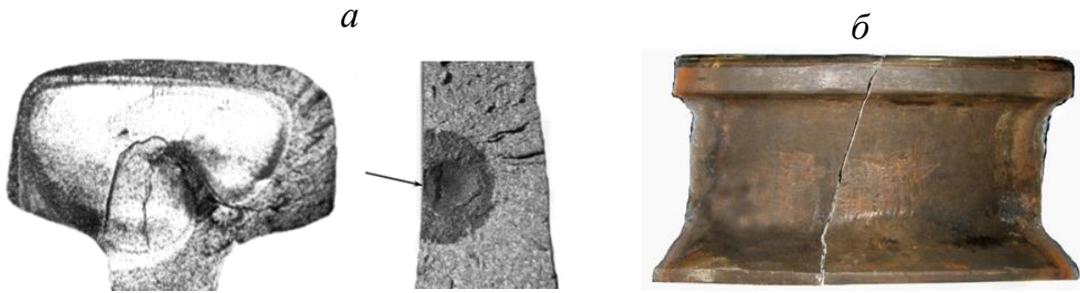


Рисунок 1.16 – Фотографии излома от кратерной усадки: а – вид в изломе (в головке, в шейке); б – общий вид



Рисунок 1.17 – Фотографии микроструктуры: а – ледебурит ($\times 200$); б – усадочные рыхлоты в сварном шве ($\times 200$)

На рисунках 1.18 и 1.19 представлены фотографии силикатных скоплений – плоские матово-серые пятна в растянутой части сечения рельса. Часто имеют характерную узкую и длинную форму. В малом количестве возможны при любых режимах в сталях содержащих включения кремния. Выявляются при внешнем осмотре и ультразвуковой дефектоскопией.

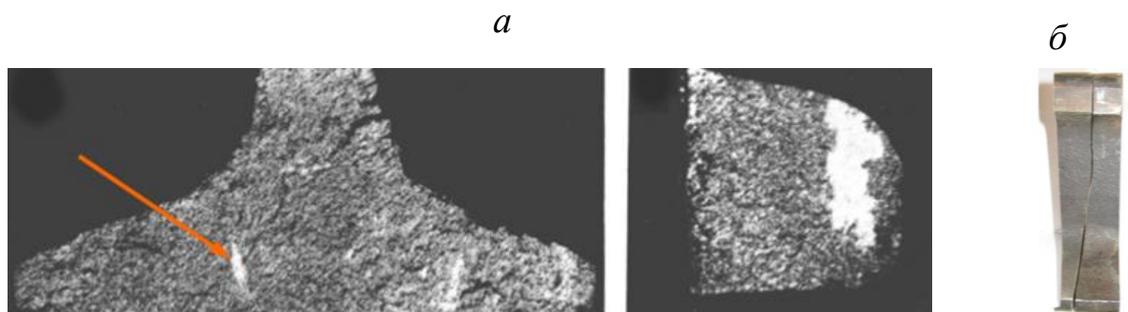


Рисунок 1.18 – Фотографии излома от силикатных скоплений: а – вид в изломе; б – общий вид



Рисунок 1.19 – Фотография микроструктуры: силикаты в зоне излома ($\times 100$)

1.5 Современные методы контроля структуры

Повышение качества рельсов ведется по трем основным направлениям: повышение чистоты рельсовой стали; повышение прямолинейности рельсов при изготовлении; повышение твердости рельсового металла и улучшение его структуры. При рассмотрении структуры различают: макроструктуру и микроструктуру.

Макроструктурный анализ – изучение строения металлов и сплавов невооруженным глазом или при небольшом увеличении, с помощью лупы. Обычно он является предварительным видом исследования.

Цели макроанализа:

- 1) определить макродефекты (поры, трещины, раковины и т. д.);
- 2) определить величину зерна в литом металле (чем мельче зерно, тем выше вязкость металла и его работоспособность);
- 3) определить направление волокон в деформированном металле (металл, полученный в результате пластической деформации; при пластической деформации наблюдается смещение слоев металла (зерен) друг относительно друга; сильно деформированное зерно называется волокном);
- 4) изучить излом образца (по характеру излома образца судят о характере разрушения металла).

Макростроение сплава изучают на образцах или деталях, в изломе или на предварительно подготовленной поверхности, заключающейся в шлифовании и травлении. Такой образец называют макрошлифом.

Макроанализ дает грубую оценку качества заготовки, детали. Для более качественной оценки полученной заготовки служит микроструктурный анализ сплавов.

Микроанализ (микроскопический анализ) представляет собой исследование структуры металла при больших увеличениях с помощью специального металлографического микроскопа, предназначенного для изучения металла.

Цели микроанализа:

- а) определить тип структуры;
- б) определить величину микрозерна;
- в) определить микродефекты (поры, трещины, раковины и т. д.);
- г) по микроструктуре в углеродистых сталях определить содержание углерода.

В металлографии микроанализу подвергаются непрозрачные для световых лучей объективы – микрошлифы, которые рассматривают в микроскоп в отраженном свете [9].

Для выявления микроструктуры сплавов помимо изготовления микрошлифов, т.е. разрушающих методов, применяют различные неразрушающие методы, наименования которых представлены на рисунке 1.20.



Рисунок 1.20 – Схема «Неразрушающие методы контроля структуры»

1.5.1 Магнитная структуроскопия

Сталь, в большинстве случаев, является ферромагнетиком, поэтому магнитные методы контроля имеют широкую область применения. В магнитной структуроскопии оценивают изменение магнитных параметров, по которым определяют соответствующие этим изменениям различные физико-химические или физико-механические свойства объекта контроля (ОК). При этом используют относительные измерения, т.е. не измеряют какой-либо магнитный или механический параметр, а только фиксируют, соответствуют ли параметры ОК заданным или отклоняются от них.

Рассмотрим основные магнитные характеристики ферромагнетика и их связь с его структурой и механическими и другими свойствами. Как известно, магнитную структуру ферромагнетика можно представить себе как конгломерат доменов – микро-областей, намагниченных до насыщения внутренним молекулярным полем (рисунок 1.20).

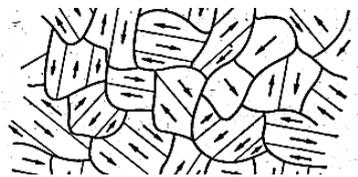


Рисунок 1.20 – Доменная структура поликристаллического ферромагнетика

На этом рисунке условно показано, что каждое зерно ферромагнитного металла разбито на несколько доменов, вектора которых ориентированы взаимно-противоположно. Каждое зерно содержит сотни и тысячи доменов. В отсутствие внешнего магнитного поля вектора доменов компенсируют друг друга, и общая намагниченность тела отсутствует. При наложении внешнего поля происходит изменение доменной структуры и тело намагничивается. В полностью размагниченном образце расположение векторов намагниченности равновероятно по всем направлениям. У образца, находящегося в сильном магнитном поле, происходит процесс вращения векторов намагниченности в направлении, параллельном намагничивающему полю. При снятии

намагничивающего поля из-за необратимости процессов индукция не обращается в ноль, а остается некоторая величина остаточной индукции. Возникает гистерезис – остаточная намагниченность. Степень этой необратимости, а, следовательно, величина остаточной индукции (и некоторых других магнитных характеристик) во многом определяются структурными особенностями строения ферромагнетика, такими, как размер зерна, наличие внутренних напряжений, наклеп и др. На этом основана магнитная структуроскопия, т.е. определение фазового и структурного состояния материала на основании измерения магнитных характеристик.

Физическая суть метода состоит в следующем: если снимать петлю магнитного гистерезиса с разных марок стали, можно увидеть, что магнитные характеристики позволяют различать их по магнитной индукции и по коэрцитивной силе (рисунок 1.21). Эти две магнитные характеристики имеют наилучшую взаимосвязь с механическими свойствами стали. По использованным магнитным информативным параметрам различают следующие разновидности контроля структуры: коэрцитиметрия; контроль по остаточной намагниченности; контроль по магнитной проницаемости; контроль по магнитным шумам; ферритометрия; метод высших гармоник.

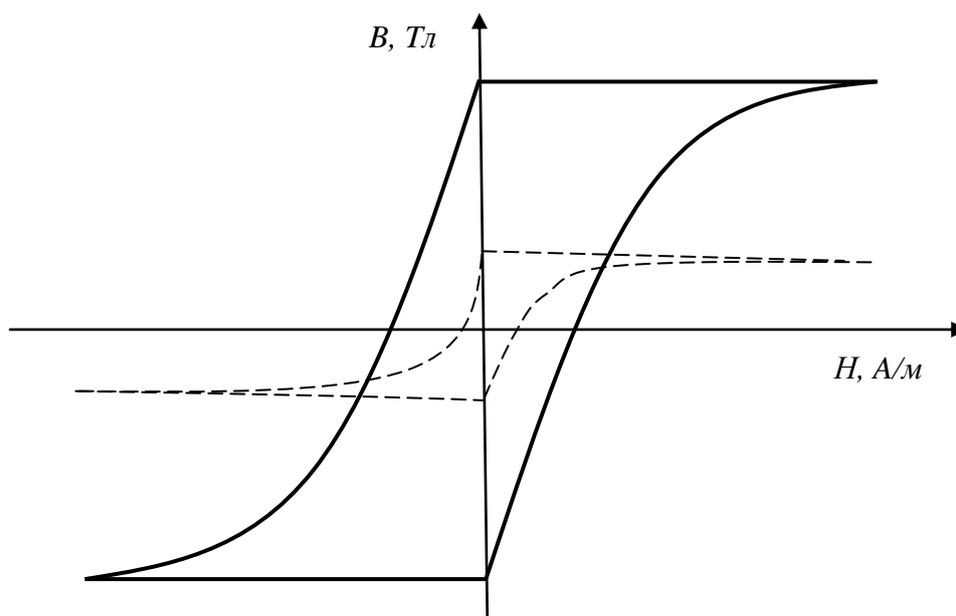


Рисунок 1.21 – Петля гистерезиса низкоуглеродистой стали (петля с меньшей площадью) и петля гистерезиса высокопрочной низколегированной стали

Для контроля структурного состояния металлоизделия можно использовать как импульсные магнитные анализаторы (ИМА), так и коэрцитиметры. Полезную информацию можно получать в зависимости от метода как с полного сечения образца (изделия), так и с его поверхности [10].

Оперативность, невысокая стоимость оборудования, простота процедуры измерения и возможность проведения измерения непосредственно на изделии делают этот метод незаменимым в производственных условиях в качестве метода контроля. Однако недостаток его заключается в том, что анализ структуры можно проводить только на поверхности.

1.5.2 Рентгеновский метод структурного анализа

Для получения данных о структуре веществ так же применяют рентгеновский анализ. В его основе лежит взаимодействие рентгеновского излучения с электронами вещества, в результате которого возникает дифракция рентгеновских лучей (рассеяние). Целью рентгеноструктурного анализа является установление соответствия между атомной структурой исследуемого образца и пространственным распределением рентгеновского излучения, рассеянного образцом.

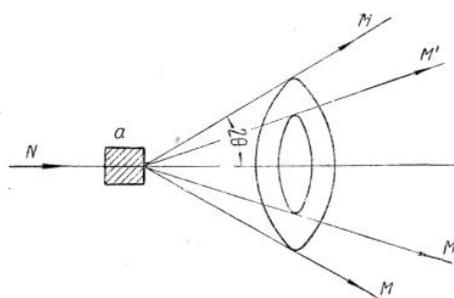


Рисунок 1.22 – Схема получения рентгенограммы структуры металла: N – направление первичного луча; a – исследуемый металл; M и M' – направления отраженных лучей, в которых наблюдаются максимумы

Для решения задач рентгеновского структурного анализа используются дифракционные рентгенограммы (рисунок 1.22, 1.23) (зарегистрированные на

светочувствительном материале (фотоплёнке, фотопластинке) изображения объекта, возникающие в результате взаимодействия рентгеновских лучей с веществом).

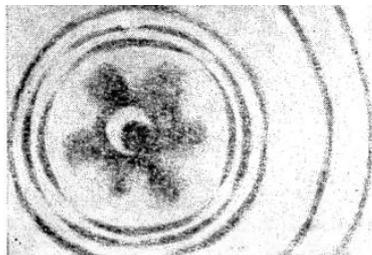


Рисунок 1.23 – Фотография рентгенограммы металла

Для создания условий дифракции и регистрации излучения служат рентгеновские камеры и рентгеновские дифрактометры (прибор для измерения интенсивности и направления рентгеновского излучения, дифрагированного на кристаллическом объекте).

Исследование взаимодействия рентгеновского излучения с веществом дает возможность оценить не только структурные характеристики образца, но и некоторые субструктурные параметры. Субструктуру имеют материалы (железо, титан) в результате изменения строения кристаллической решетки, когда внутри первичного зерна появляются более мелкие вторичные кристаллиты [11].

1.5.3 Ультразвуковая структуроскопия

Для оценки структуры простых материалов, не имеющих субструктуры, в настоящее время преимущественно применяют ультразвуковые методы, т.к. рентгеновский считается локальным, сложным и достаточно дорогим.

Основное достоинство структурного ультразвукового анализа – определение размера зерна металла с достаточной степенью точности без изготовления шлифа. Этот метод основан на том, что затухание ультразвуковых волн на определенных частотах существенно зависит от размера зерна металла.

Предпосылкой возможности ультразвукового структурного анализа металлов явились теоретические и экспериментальные исследования процессов поглощения и рассеяния ультразвука в поликристаллических материалах, проведенные отечественными и зарубежными учеными. Установленные закономерности влияния структуры и химического состава на затухание ультразвуковых колебаний в металлах и сплавах позволили разработать методики производственного контроля и создать специальную аппаратуру. Опыт показывает, что для изучения особенностей структуры металла по затуханию УЗК не всегда необходимо определять коэффициент затухания по известной методике. Измерение абсолютного значения коэффициента затухания довольно трудоемко, а погрешность измерения велика (10 % и более). Например, для оценки общей неоднородности структуры сварного шва достаточно проследить характер изменения амплитуды сигнала по длине шва на некоторой заданной частоте ультразвуковых колебаний без вычисления коэффициента затухания.

Основная особенность такого метода заключается в том, что для определения качества изделия его акустические характеристики сравнивают с характеристиками эталонного образца. Сравнивают амплитуды донных эхо-импульсов в ОК и образцах с известной структурой и одинаково хорошей обработкой поверхности с различной частотой заполнения.

Изменение спектра широкополосного импульса в результате разного затухания различных частотных составляющих дает значительно большую информацию о структуре, чем контроль на одной частоте. При массовом контроле деталей, когда необходимо лишь определить соответствие структуры металла действующим техническим условиям, достаточно вести разбраковку на двух частотах. Эти частоты выбирают путем предварительного исследования частотной зависимости затухания ультразвуковых колебаний в металле изделий. Их выбирают так, чтобы отношение сравниваемых амплитуд сигналов, генерируемых одним пьезоэлементом искательной головки, при допустимом отклонении структуры испытуемого изделия от эталонного

образца было бы больше нуля, а при недопустимом отклонении равно нулю или наоборот. А именно, одну из частот (опорную) выбирают заведомо низкой, такой, чтобы затухание УЗ слабо зависело от структурных составляющих. На этой частоте приравнивают донные сигналы в образцах и ОК. Другие частоты (рабочие) соответствуют области максимального коэффициента рассеяния [12].

Отношения амплитуд сигналов, соответствующих рабочим и опорной частотам, называют структурными коэффициентами (K_i).

$$K_i = \frac{A_i}{A_1}, \quad [1]$$

где $i = f_2, f_3, f_4$ – последовательный ряд выбранных частот; A_i — соответствующая им амплитуда донного эхоимпульса [13].

При работе по этому методу на ОК для различных рабочих частот определяют структурные коэффициенты и сравнивают со структурными коэффициентами, полученными на стандартных образцах, используя частоты от 0,65 до 20 МГц. Затем проводят металлографический анализ и сопоставляют значения структурных коэффициентов с размерами зерен в диапазонах от 1 до 9 баллов. Погрешность определения величины зерна - 1 балл шкалы ГОСТ 5639 [4].

Недопустима камневидная структура, возникающая при перегреве стали. При этой структуре зерна первичного аустенита (превратившегося при понижении температуры в перлит) окружены хрупкой оболочкой из неметаллов. Такая структура вызывает повышенное затухание УЗ на частоте 2,5 МГц и хорошо обнаруживается при сквозном прозвучивании.

1.6 Выводы к первой главе

В первой главе рассмотрены основные характеристики рельсовой стали, свойства которой напрямую зависят от ее структурного состояния.

Особое внимание уделяется рельсовым стыкам, т.к. они являются самым напряженным местом железнодорожного пути и следить за их состоянием сложнее из-за изменения структуры на этапах нагрева, прокатки и сварки. Что,

в свою очередь, приводит к образованию различного рода дефектов, плохо выявляемых известными методами неразрушающего контроля (наиболее значимые из них описаны во второй части первой главы).

Таким образом, дефекты в стыках служат одной из основных причин одиночного изъятия и излома рельсов в пути, а также элементом, вносящим большую долю расходов, приходящихся на содержание пути. Поэтому к совершенствованию технологий контроля структурного состояния бесстыковых плетей с целью повышения их эксплуатационной стойкости уделяется особое внимание.

Наиболее популярные методы структурного анализа представлены в третьей части главы. Наиболее оперативным, недорогим и простым считается магнитный метод. Однако недостаток его заключается в том, что анализ структуры можно проводить только на поверхности. Не менее известна рентгеновская структуроскопия. Она в свою очередь дорогостоящая, локальная и сложная. Поэтому более широкое применение для анализа структурного состояния рельсовых стыков имеет ультразвуковой метод.

2 ДВУХЧАСТОТНЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ СТЫКОВ РЕЛЬСОВ УЗК

Ультразвуковому контролю (УЗК) структурного состояния сварных стыков рельсов подвергают сварные соединения, выполненные методом электродуговой сварки плавлением.

УЗК проводят после проведения визуального и измерительного контроля.

Порядок проведения контроля предусматривает ультразвуковой контроль эхо-методом прямым совмещенным ПЭП контактным способом.

2.1 Основное оборудование

Для проведения ручного ультразвукового контроля необходимо наличие:

- контактного пьезоэлектрического преобразователя ПЭП 111-5-К6;
- ультразвукового дефектоскопа УСД-50;
- соединительных высокочастотных кабелей;
- контактной смазки и средств для ее хранения, нанесения и транспортировки;
- средств для разметки контролируемого соединения и отметки мест расположения выявленных дефектов;
- средств записи результатов контроля.

Применяемый при ультразвуковом контроле дефектоскоп, как средство измерения, имеет сертификат об утверждении типа средств измерений и свидетельство о метрологической поверке, установленных форм.

В качестве контактной смазки в зависимости от температуры окружающего воздуха применяют специальные контактные смазки, в том числе специализированные пасты отечественного и зарубежного производства,

обеспечивающие стабильный акустический контакт в рабочем диапазоне температур окружающего воздуха.

2.1.1 Пьезоэлектрический преобразователь

ПЭП, представленный на рисунке 2.1а, предназначен для контроля сплошности и толщины изделий продольными волнами, вводимыми в объект перпендикулярно поверхности. Основные характеристики ПЭП 111-5-К6 представлены в таблице 2.1.



Рисунок 2.1 – Внешний вид: а – преобразователя ПЭП 111-5-К6; б – дефектоскопа УСД-50

Таблица 2.1 – Основные характеристики ПЭП

Маркировка ПЭП	Частота, МГц	Угол ввода, градусы	Размер пьезоэлемента, мм	Тип ПЭП
П111-5-К6	5,0	0	6	прямой, совмещенный

Основные технические характеристики ПЭП:

- отношение сигнал/шум в зоне контроля не менее 16 дБ;
- возможность работы с импортными приборами;
- диапазон рабочих температур от минус 30 до 55 °С [14].

2.1.2 Дефектоскоп ультразвуковой УСД-50

Дефектоскоп ультразвуковой УСД-50, представленный на рисунке 2.1б, предназначен для измерения координат залегания дефектов и оценке их параметров по амплитуде отраженных сигналов, при контроле материалов. Полуфабрикатов, готовых изделий, сварных соединений на наличие дефектов типа нарушения однородности, а также для измерения толщины изделий.

Принцип действия дефектоскопа основан на способности ультразвуковых колебаний распространяться в контролируемых изделиях и отражаться от внутренних дефектов и граней изделий. Принятый сигнал усиливается, после чего преобразуется в цифровую форму, обрабатывается микропроцессором и в графическом и в цифровом виде отображается на индикаторе.

С дефектоскопом могут использоваться ПЭП, работающие на частотах от 0,5 до 15 МГц.

УСД-50 сохраняет работоспособность при контроле материалов и изделие со скоростями распространения ультразвуковых колебаний в диапазоне от 100 до 9999 м/с, при этом допустимое значение затухания ультразвуковых колебаний в материалах определяется глубиной залегания, размерами и ориентацией дефектов, типом применяемых преобразователей и конкретной методикой контроля.

Дефектоскоп может применяться в машиностроении, энергетике, металлургической промышленности, на железнодорожном, авиационном, автомобильном и трубопроводном видах транспорта для контроля изделий основного производства и технологического оборудования.

Дефектоскоп выполнен в виде электронного блока с дисплеем и клавиатурой. К электронному блоку посредством кабеля подсоединяется ультразвуковой преобразователь.

На УСД-50 установлено программное обеспечение (ПО). При работе прибора пользователь не имеет возможности влиять на процесс расчета и не

может изменять полученные в ходе измерений данные. Вследствие этого ПО не оказывает влияния на метрологические характеристики дефектоскопа. Метрологические и технические характеристики УСД-50 представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Метрологические и технические характеристики УСД-50

Наименование параметра	Значение параметра
Диапазон рабочих частот приемника по уровню минус 3 дБ, МГц	от 0,5 до 10
Диапазон измерения временных интервалов	от 5 до 1000
Дискретность измерения временных интервалов, мкс	
от 5 до 250 мкс	0,025
от 250 до 500 мкс	0,050
от 500 до 1000 мкс	0,100
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения временных интервалов, мкс, не более	$\pm (0,05 + 0,001 \cdot T)$, где T – измеренное значение временного интервала, мкс
Диапазон установки развертки экрана, мкс	от 4 до 1000
Размах импульса возбуждения на нагрузке 50 Ом, В, не менее	300
Максимальная чувствительность приемника, мкВ, не более	80
Диапазон установки усилителя, дБ	от 0 до 110
Пределы допускаемой абсолютной погрешности установки усиления, дБ, не более	$\pm 2,0$
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения амплитуды сигнала, дБ, не более	$\pm 1,0$
Диапазон установки протектора преобразователя, мкс	от 0 до 110
Диапазон измерения толщины изделия, глубины и координат залегания дефектов для стали при скорости УЗК 5950 м/с, мм	от 0 до 2900

Наименование параметра	Значение параметра
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения толщины изделия, глубины и координат залегания дефектов, мм	$\pm (0,1 + 0,05 \cdot S)$, где S – измеренное значение толщины изделия, глубины или координат дефектов, мм
Детектирование сигналов	положительная полуволна, отрицательная полуволна, полный, режим радиосигнала
Питание: – аккумулятор – от сети переменного тока	встроенный блок 220 В, 50 Гц
Условия эксплуатации: – температура окружающего воздуха, °С – относительная влажность воздуха, %	от минус 30 до плюс 50 до 95 (без конденсации)

2.2 Алгоритм проведения предложенного метода

2.2.1 Требования к лаборатории и специалистам, осуществляющим контроль

Ультразвуковой контроль структуры сварных соединений рельсов выполняется специалистами лаборатории контроля качества, которая должна быть аттестована в соответствии с ПБ 03-372-00 [15].

Лаборатория (группа) контроля качества должна быть укомплектована обученными, аттестованными работниками, обеспечена необходимой нормативной документацией, оснащена оборудованием, приборами и инструментами.

К работам по УЗК допускаются аттестованные специалисты, прошедшие обучение, успешно выдержавшие квалификационные испытания, и получившие удостоверения установленной формы согласно ПБ 03-440-02 [16].

К руководству лабораторией (группой) контроля качества допускаются аттестованные специалисты, имеющие удостоверение на право производства

работ и выдачи заключений по результатам неразрушающего контроля, стаж работы по данной специальности не менее 3-х лет, а также квалификацию по дефектоскопии не ниже II-го уровня в соответствии с ПБ 03-440-02.

Аттестованные специалисты неразрушающего контроля, осуществляющие руководство работами по неразрушающему контролю и непосредственно выполняющие неразрушающий контроль, должны проходить аттестацию на знание правил, норм и инструкций по безопасному ведению работ на объектах рельсосварочного предприятия (РСП).

Правом выдачи заключений по результатам неразрушающего контроля обладают специалисты, имеющие II и III уровень квалификации.

2.2.2 Подготовка сварного соединения к контролю

Необходимо обеспечить доступ к сварному соединению для беспрепятственного сканирования околошовной зоны.

Околошовную зону стыкового сварного соединения по обе стороны от шва и по всей его длине очищают от пыли, грязи, окалины, застывших брызг металла, забоин и других неровностей.

Чистота обработки поверхности околошовной зоны рельса должна быть не хуже Rz 40, волнистость не должна превышать величину 0,015.

Проводят разметку контролируемого соединения в зоне термического влияния на протяженности 40 мм по обе стороны от шва. Разметка должна включать разбивку на участки, соответствующие шагу сканирования, который соответствует 5 мм (рисунок 2.2).

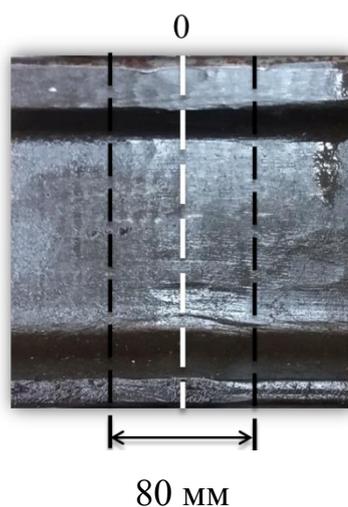


Рисунок 2.2 – Область измерения донного сигнала в зоне стыка рельса: 0 – сварной шов

2.2.3 Настройка дефектоскопа

После проведения внешнего осмотра и устранения в случае необходимости замеченных недостатков производится подключение ПЭП по совмещенной схеме включения к разъему, включение и выбор режима работы дефектоскопа.

В меню «ТРАКТ» выделяется фоном пункт меню "Детектор" и выбирается режим "радио". В меню «ДАТЧИК» фоном выделяется пункт меню "Угол ввода" и выбирается значение $0,0^\circ$. В меню «ГЕНЕРАТОР» выделяется фоном пункт меню "Частота ЗИ" и выбирается в зависимости от условий эксперимента значение частоты 2,5 или 5 МГц.

Немаловажным условием для получения сигнала требуемой частоты необходимо изменение параметра "Фильтр" в режиме «ТРАКТ», который ограничивает диапазон отображаемых частот сигнала. Таким образом, для частоты 5 МГц выбирается диапазон 4,0..6,0, для 2,5 МГц – 1,5..3,0.

Настройку аппаратуры проводят при той же температуре окружающей среды, при которой будет проводиться контроль.

2.2.4 Проведение контроля

Установив ПЭП с частотой зондирующего импульса 5,0 МГц в центральной части рельсовой головки так, чтобы значение Y на экране дефектоскопа соответствовало 180 (высота рельса), плавными движениями находится максимум эхосигнала и изменением усиления доводится до строб-импульса на экране дефектоскопа. Далее, не меняя положение ПЭП, частота в настройке дефектоскопа переключается на значение 2,5 МГц и проводятся аналогичные действия.

2.2.5 Оформление результатов контроля

Информативным параметром является разность изменения амплитуды в стыке и вне стыка, ΔA^1 . После получения значений разности изменения амплитуды на двух частотах в процессе проведения контроля, по таблице 2.3 определяется средний размер зерна в контролируемом стыке.

Таблица 2.4 – Значения ΔA^1 для различных средних размеров зерна, дБ

Частоты $f_1; f_2$ МГц	Размер зерна \bar{D} , мм									
	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10
2,5; 5,0	0	0,3	1,0	2,3	4,6	7,9	12,6	18,7	26,7	36,6

Сварные стыки по результатам ручного ультразвукового контроля считают годными, если в них размер зерна является допустимым.

2.3 Выводы ко второй главе

Таким образом, для контроля структурного состояния сварных стыков рельсов не требуется специальное оборудование. Алгоритм предложенного метода состоит из стандартных этапов проведения ультразвукового контроля:

- подготовка к контролю;
- настройка оборудования;
- проведение контроля;
- оформление результатов контроля.

На рисунке 2.3 представлен алгоритм оценки качества сварных соединений рельсов.

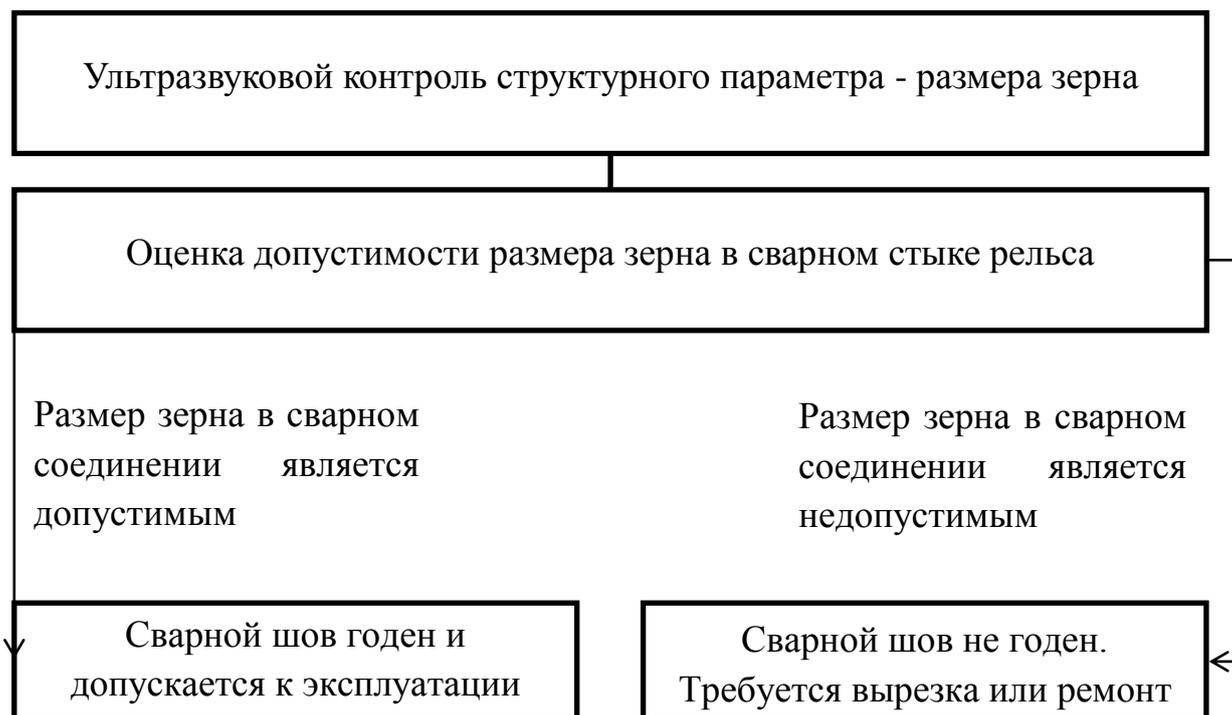


Рисунок 2.3 – Алгоритм оценки качества сварных соединений рельсов

3 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Исследование возможности прозвучивания ОК одним ПЭП на двух частотах

Цель первого эксперимента – доказать следующее утверждение: ПЭП с частотой 5 МГц может прозвучивать ОК как на собственной частоте, так и на частоте 2,5 МГц при изменении определенных параметров в настройках дефектоскопа.

Осуществление эксперимента проводилось на образцах из стали (СОП-3Р, СОП-СА), оргстекла (СО-1) и образце из алюминия (рисунок 3.1) с помощью дефектоскопа УСД-50, которым с преобразователем ПЭП 111-5-К6 возбуждался зондирующий импульс на частотах 2,5 и 5 МГц. Сигнал, проходя через СО, отражался от его дна и поступал на дефектоскоп. На экране дефектоскопа в режиме «радио» наблюдали синусоиду, которая характеризует внутреннюю составляющую донного сигнала и оценивали несущую частоту.

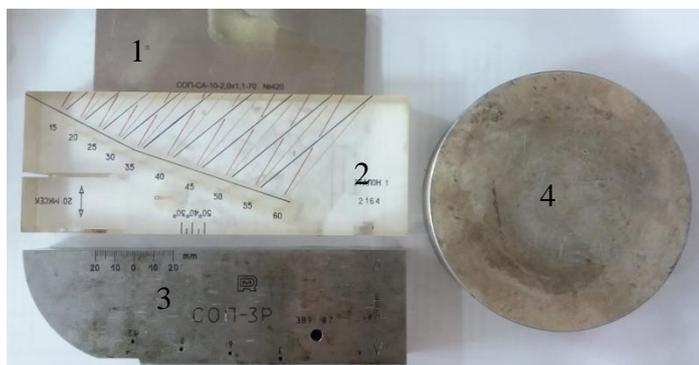


Рисунок 3.1 – Образцы для осуществления эксперимента: 1 – СОП-СА; 2 – СО-1; 3 – СОП-3Р; 4 – образец из алюминия

После настройки дефектоскопа смазали СОП-3Р контактной жидкостью. Установив преобразователь, плавным перемещением ПЭП нашли максимум эхо-сигнала (рисунок 3.2). Огибающая сигнала, отображенная на экране дефектоскопа при настройке "16", представлена на рисунке 3.3.



Рисунок 3.2 – Установка ПЭП на СОП-3Р

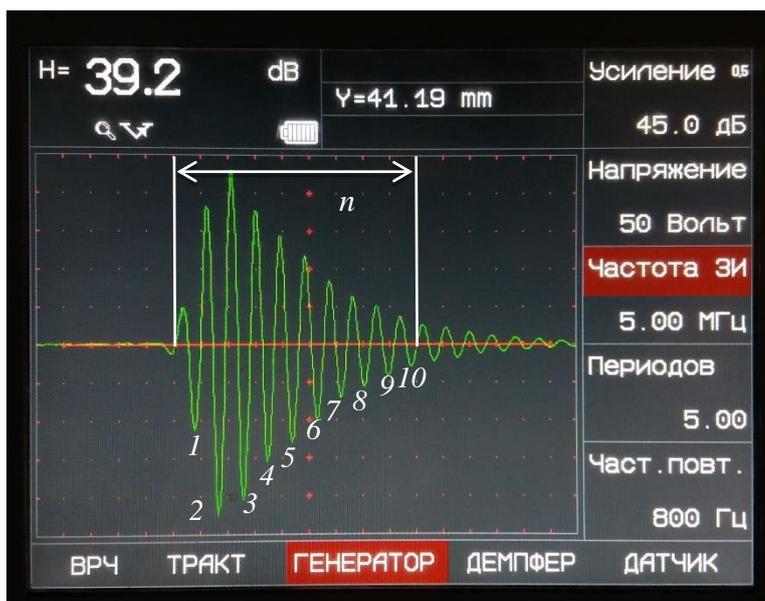


Рисунок 3.3 – Фотография экрана дефектоскопа с огибающей эхо-импульса на частоте 5,0 МГц

Для определения частоты нашли следующие параметры по огибающей эхо-импульса: время, которое соответствует одной клетке на экране, $t_1 = 0,211$ мкс, количество полных периодов и количество клеток, которые занимает огибающая.

Полных периодов сигнала $T = 10$. Огибающая занимает $n = 9$ клеток. Исходя из этого, 9 клеткам соответствует значение времени $t_9 = n \cdot t_1$, получили 1,899 мкс. Время одного периода, $T_1 = t_9 / T$, что соответствует значению 0,1899 мкс. Частота эхо-сигнала находится по формуле:

$$f_{5,0} = \frac{1}{T}, \quad (3.1)$$

$$f_{5,0} = \frac{1}{0,1899} = 5,27 \text{ МГц.}$$

Таким же образом вычислили частоту огибающей эхо-сигнала для настройки "15" (рисунок 3.4).



Рисунок 3.4 – Фотография экрана дефектоскопа с огибающей эхо-импульса на частоте 2,5 МГц

Полных периодов сигнала $T = 4$. Огибающая занимает $n = 7,2$ клеток. Исходя из этого, данному количеству клеток соответствует значение времени $t_{7,2} = n \cdot t_1$, получили 1,519 мкс. Время одного периода, $T_1 = t_{7,2}/T$, что соответствует значению 0,3798 мкс. Частота эхо-сигнала находится по формуле 3.1:

$$f_{2,5} = \frac{1}{0,3798} = 2,63 \text{ МГц.}$$

Аналогичным образом оценили несущую частоту на остальных заявленных образцах. Результаты расчетов представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Несущая частота донных сигналов заявленных образцов, МГц

Образец							
СОП-ЗР		СОП-СА		СО-1		Алюминий	
$f_{2,5}$	$f_{5,0}$	$f_{2,5}$	$f_{5,0}$	$f_{2,5}$	$f_{5,0}$	$f_{2,5}$	$f_{5,0}$
2,58	5,53	2,37	5,53	2,54	5,74	2,37	5,62

По результатам представленной части эксперимента видно, что преобразователь с частотой 5 МГц может излучать при определенных параметрах настройки сигналы частотой как 5, так и 2,5 МГц.

Результаты носят приближенный характер и для их подтверждения с помощью установки, схема которой представлена на рисунке 3.5, была проведена оцифровка эхо-сигналов на частотах 2,5 и 5 МГц.

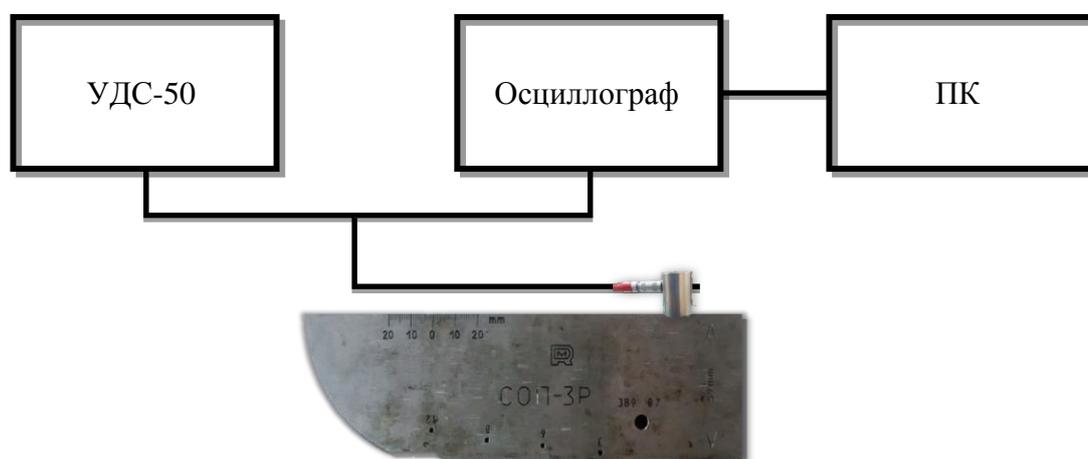


Рисунок 3.5 – Схема исследования параметров эхо-сигналов

После оцифровки сигналов в программной среде Mathcad с помощью функции преобразования Фурье определили их спектры (рисунок 3.6).

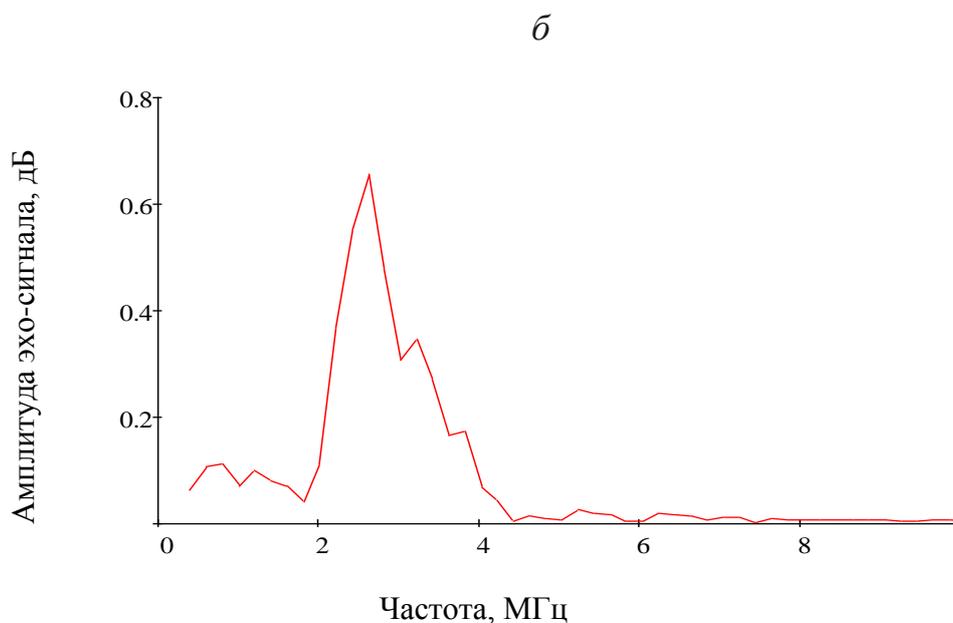
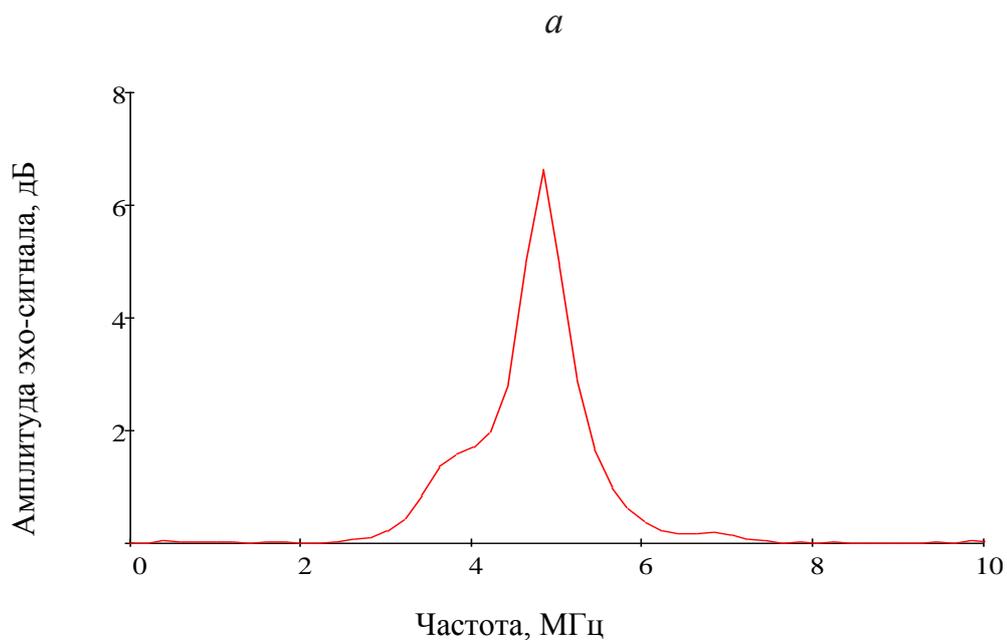


Рисунок 3.6 – Спектры эхо-сигналов: а – спектр эхо-сигнала при установке в настройках дефектоскопа частоты 5 МГц; б – спектр эхо-сигнала при установке в настройках дефектоскопа частоты 2,5 МГц

Представленные АЧХ наглядно доказывают, предположенное в цели эксперимента, утверждение: ПЭП с частотой 5 МГц может прозвучивать объект контроля, как на собственной частоте, так и на частоте 2,5 МГц при изменении определенных параметров в настройках дефектоскопа.

3.2 Изменения амплитуды сигнала при контроле на двух частотах

Следующий эксперимент заключался в исследовании изменения амплитуды сигнала при контроле образцов на двух частотах: 2,5 МГц и 5 МГц. Для его осуществления использовали стандартные образцы, заявленные в первом эксперименте (рисунок 2.4), дефектоскоп УДС-50 и преобразователь П111-5-К6.

Амплитуду сигнала A можно определить по значению усиления N , при котором эхо-сигнал достигает на экране дефектоскопа порогового уровня.

$$-A = N.$$

Таким образом, задача эксперимента заключалась в вычислении разности усиления на двух частотах. Результаты представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Усиление эхо-сигналов в стандартных образцах N , дБ

СОП-3Р (сталь толщиной 59 мм, сверху)			СОП-3Р (сталь толщиной 29 мм, сбоку)			СОП-СА (сталь толщиной 10 мм, сверху)			СО-1 (оргстекло)			Алюминий		
Частота, МГц		ΔN , дБ	Частота, МГц		ΔN , дБ	Частота, МГц		ΔN , дБ	Частота, МГц		ΔN , дБ	Частота, МГц		ΔN , дБ
5,0	2,5		5,0	2,5		5,0	2,5		5,0	2,5		5,0	2,5	
54,0	53,5	0,5	51,0	46,5	4,5	50,5	46,0	4,5	110	75	35	42,5	42,5	0
53,0	53,0	0	50,5	46,5	4,0	51,0	46,0	5,0	110	76	34	43,5	44,0	-0,5
53,5	51,5	2,0	50,5	46,0	4,5	50,5	46,5	4,0	110	76	34	41,5	41,5	0
$\Delta \bar{N}$		0,8	$\Delta \bar{N}$		4,3	$\Delta \bar{N}$		4,5	$\Delta \bar{N}$		34,3	$\Delta \bar{N}$		-0,2

ΔN во всех образцах имеет относительно разные значения. Это объясняется неодинаковым значением коэффициента затухания δ , скоростью распространения волны c и толщиной контролируемого образца r .

На основании справочных данных ΔN можно выразить с помощью следующей формулы [17]:

$$\Delta N = 20 \cdot \log \frac{A_1}{A_2} + 20 \cdot \log \frac{\lambda_2}{\lambda_1} + K \cdot \bar{D}^3 \cdot r \cdot (f_2^4 - f_1^4), \quad (3.2)$$

,где A – амплитуда зондирующего импульса, дБ; λ – длина волны, м; \bar{D} – средний размер зерна, мм; r – расстояние, проходимое волной, м; индекс «1» соответствует значению частоты 5 МГц; индекс «2» – 2,5 МГц; $K = 347 \text{ дБ} / \text{мм}^3 \cdot \text{м} \cdot \text{МГц}^4$.

Информативным параметром является разность изменения усиления в стыке и вне стыка, которую обозначим как ΔN_A .

$$\Delta N_A = K \cdot r \cdot (f_2^4 - f_1^4)(\bar{D}_{\text{ст}}^3 - \bar{D}_0^3), \quad (3.3)$$

,где $\bar{D}_{\text{ст}}^3$ – средний размер зерна в стыке; \bar{D}_0^3 – средний размер зерна вне стыка.

Значение среднего размера зерна в металле основного рельса очень мало, и им можно пренебречь. Таким образом, получим следующую формулу:

$$\Delta N_A = K \cdot r \cdot \bar{D}_{\text{ст}}^3 \cdot (f_2^4 - f_1^4), \quad (3.4)$$

Микроструктура головки термоупрочненных рельсов должна представлять собой пластинчатый перлит, который составляет 7-8 балл по ГОСТ 5639-82. Таким образом, учитывая, что средний размер зерна перлитных блоков в рельсовой стали находится в диапазоне от 10 до 50 мкм, по формуле 3.4 рассчитали ΔN_A при \bar{D} в диапазоне от 10 до 100 мкм. В таблице 3.3 представлены расчетные значения разности изменения амплитуды $\Delta A = -\Delta N_A$.

Таблица 3.3 – Отношение амплитуд донных сигналов ΔN на частотах 2,5 и 5,0 МГц для различных значений среднего размеров зерна \bar{D} , дБ

Размер зерна \bar{D} , мм	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10
Отношение амплитуд, ΔN , дБ	0	0,3	1,0	2,3	4,6	7,9	12,6	18,7	26,7	36,6

3.3 Влияние акустического контакта, типа отражателя и состояния донной поверхности на отношение амплитуд донных сигналов

Влияние акустического контакта на отношение амплитуд донных сигналов исследовалось с помощью искусственной неровности поверхности,

которую имитировали медной фольгой (толщиной 0,05 мм), несколько слоев которой подкладывалось под один край ПЭП (рисунок 3.7).



Рисунок 3.7 – Фотография проведения эксперимента

В таблице 3.4 представлены значения усиления донных сигналов и отношение амплитуд при разной глубине неровности на размере ПЭП, где $N_{5,0}$ – значения усиления донных сигналов на частоте 5 МГц, а $N_{2,5}$ – на частоте 2,5 МГц.

Таблица 3.4 – Значения усиления донных сигналов, дБ

Толщина неровности, мм											
0,05			0,1			0,15			0,2		
$N_{5,0}$	$N_{2,5}$	ΔN	$N_{5,0}$	$N_{2,5}$	ΔN	$N_{5,0}$	$N_{2,5}$	ΔN	$N_{5,0}$	$N_{2,5}$	ΔN
55,5	55,5	0	55	57	2	53,5	61	7,5	53	62	9
55,5	56,5	1	52,5	56	3,5	59,5	58	-1,5	60	62	2
54	54,5	0,5	56,5	58	1,5	62	59,5	-2,5	68,5	61,5	-7
СКО _{0,05} по ΔN		0,5	СКО _{0,1} по ΔN		1,0	СКО _{0,15} по ΔN		5,5	СКО _{0,2} по ΔN		8,0

По данным таблицы 3.4 можно сделать вывод, что имитатор, толщиной до 0,1 мм не влияет на отношение амплитуд донных сигналов. При большем увеличении глубины неровности в размерах ПЭП отношение амплитуд вырастает до 9 дБ по модулю.

В следующем эксперименте определялась зависимость отношения амплитуды сигнала от типа отражателя.

Эксперимент заключался в измерении донного сигнала вне цилиндрического отражателя и над ним. Полученные данные представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Значения амплитуды сигналов, дБ

Значение амплитуды:	Частота, МГц	
	2,5	5,0
Донного импульса	50,5	52,5
Эхоимпульса от отверстия	58,5	61,0
Разность амплитуды на двух частотах	8,0	8,5

По данным таблицы 3.5 разность усиления отличается незначительно.

Для исключения возможности влияния неровностей подошвы рельса произвели ее шлифовку до шероховатости $Rz = 20$ мкм (рисунок 3.8). После зачистки подошвы рельса в зоне сварных соединений на расстояниях до 100 мм в обе стороны, отношение амплитуд донных сигналов не изменилось в пределах ± 2 дБ.



Рисунок 3.8 – Фотографии подошвы рельсов после шлифовки: а – вид снизу; б – вид сбоку

3.4 Исследование зависимости усиления от координаты вдоль сварного шва

Следующим этапом было проведение эксперимента непосредственно на рельсах. Исследованию подлежало более девяти сварных стыков путем

определения донных сигналов на двух частотах в зоне сварного шва с шагом 5 мм (рисунок 3.9).

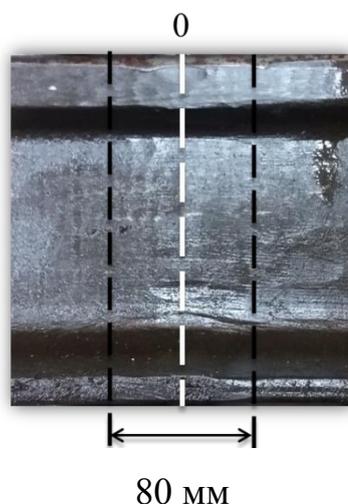


Рисунок 3.9 – Область измерения донного сигнала в зоне стыка рельса: 0 – сварной шов

Установив ПЭП с частотой зондирующего импульса 5,0 МГц в центральной части рельсовой головки так, чтобы значение Y на экране дефектоскопа соответствовало 180 (высота рельса), плавными движениями был найден максимум эхосигнала и изменением усиления доведен до строб-импульса на экране дефектоскопа. Далее, не меняя положение ПЭП, частота в настройке дефектоскопа была переключена на значение 2,5 МГц и проведены аналогичные действия.

Учитывая, что $-A = N$, полученные значения амплитуды A для стыка №4 представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Значения амплитуды A в зоне сварного стыка №4, дБ

Частота, МГц	Длина контролируемой части стыка l , мм										
	-40	-30	-20	-10	-5	0	5	10	20	30	40
1	2	3	4	6	7	8	9	10	12	13	14
2,5	59,5	60,0	60,0	58,0	67,5	65,0	61,5	64,5	62,0	61,0	59,0
5,0	61,0	60,5	60,0	59,0	77,5	85,0	72,0	72,0	63,5	60,5	60,0
ΔN	1,5	0,5	0	1,0	10,0	20,0	10,5	7,5	1,5	-0,5	1,0

По полученным данным построены графики (рисунок 3.10), на которых можно проследить зависимость изменения амплитуды сигнала от удаленности от сварного шва. В зоне рельсового стыка прослеживается уменьшение амплитуды, что свидетельствует об увеличении затухания. Что в свою очередь говорит об изменении в нем структуры, т.е. размера зерна.

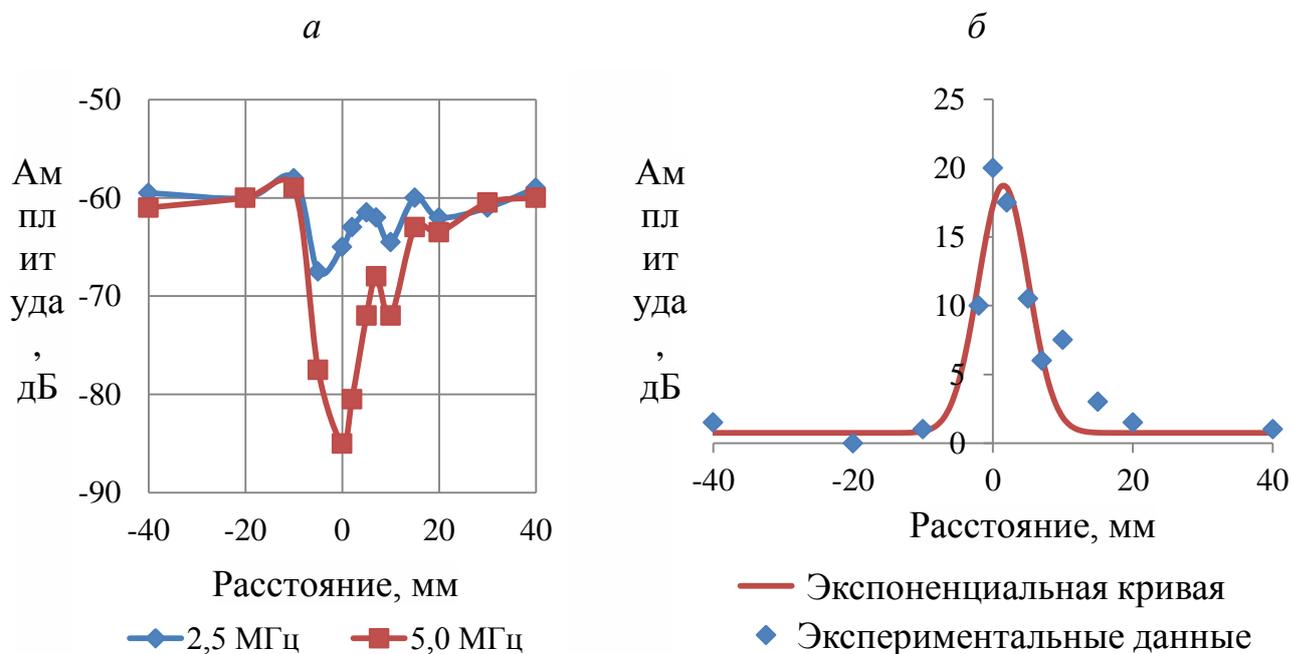


Рисунок 3.10 – Диаграммы: *а* – донных сигналов в зоне сварного шва на двух частотах; *б* – отношения амплитуд

Кривая, отражающая разность усиления дает возможность оценить зависимость амплитуды эхо-сигнала от частоты. Информативным параметром является разность отношения амплитуды в стыке и вне стыка ΔA^1 . В таблице 3.7 представлены рассчитанные значения средних размеров зерен в исследованных сварных швах.

Таблица 3.7 – Рассчитанные значения средних размеров зерен в исследованных сварных швах

Номер сварного стыка	Разность отношения амплитуды, ΔA^1 , дБ	Средний размер зерна, \bar{D} , мкм
1	31,2	95
2	69,0	124
3	25,5	89
4	17,3	78
5	15,0	74
6	34,0	98
7	25,1	88
8	71,2	125

Исходя из рассчитанных значений, максимальный средний размер зерна наблюдается в стыках под номером 2 и 8. Кроме того, стык под номером 2 имеет неравномерное уменьшение амплитуды не только в зоне сварного шва, но и по всей длине одного из свариваемых рельсов.

3.5 Металлографический анализ

Металлографический анализ состоял из следующих этапов:

- 1) вырезка образца;
- 2) шлифование;
- 3) полирование;
- 4) травление.

Травление поверхности шлифа производилось специальными реактивами путем воздействия ими на заготовку. Таким образом, управляемо был удален поверхностный слой материала для очистки от загрязнений, от жировой пленки и окиси.

На рисунке 3.11 представлены фотографии разных участков шлифа в зоне сварного стыка под номером 6 (рисунок 3.11,а) и вне его (рисунок 3.11,б).

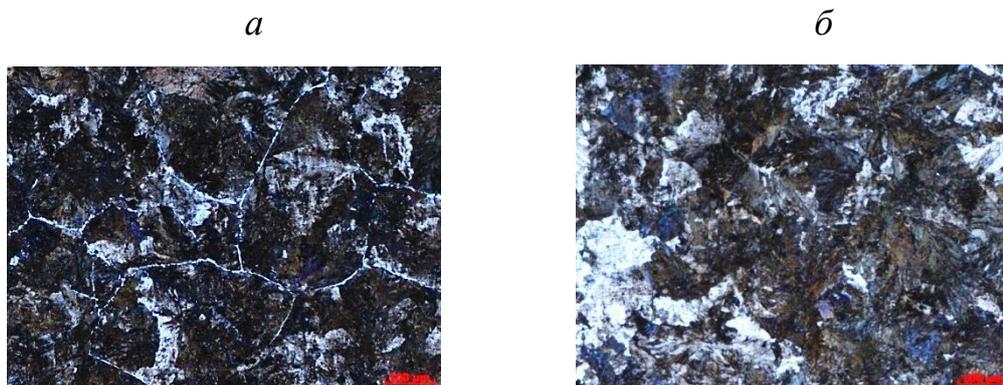


Рисунок 3.11 – Фотографии структуры рельса (увеличение $\times 100$): а – в зоне сварного шва; б – основного металла.

Таким образом, на рисунке 3.11, а видно образование тонкой светлой сетки феррита вокруг темных зерен перлита. Это может говорить о малом содержании углерода в данной области рельса.

3.6 Исследование стальных роликов

Эксперимент заключался в «выращивании» зерен в стальных роликах, изготовленных из стали марки ШХ4 (рисунок 3.12,а).



Рисунок 3.12 – Фотографии стальных роликов

Из трех взятых образцов два нагрели в электропечи до температуры $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выдержали в течении двух часов, после чего медленно охладили до комнатной температуры (рисунок 3.12,б). Затем произвели измерения

твердости по методу Бринелля и определили усиления донных сигналов по третьему донному сигналу в неотожженном (№1) и отожженных (№2, №3) образцах (таблица 3.8).

Таблица 3.8 – Значения твердости и отношения амплитуд стальных роликов

№1		№2		№3	
Твердость, НВ	ΔN_A , дБ	Твердость, НВ	ΔN_A , дБ	Твердость, НВ	ΔN_A , дБ
794	-6,0	203	-6,0	184	-13,0
785	-7,0	200	-16,0	176	-15,0
800	-6,0	209	-12,0	176	-14,5
$\overline{\Delta N_A}$, дБ	-6	$\overline{\Delta N_A}$, дБ	-11	$\overline{\Delta N_A}$, дБ	-14

Твердость стали ШХ4 по ГОСТ 801 [18] должна быть не менее 61 НРС, следовательно не менее 627 НВ. По результатам, представленным в таблице 3.8 можно отметить, что после отжига сталь роликов стала мягче в 4 раза, а отношение амплитуд по модулю увеличилось в 2 раза.

3.7 Выводы к третьему разделу

При использовании одного ПЭП, если переключать его частоту в настройках дефектоскопа, частота эхо-сигнала изменяется.

При хорошем контакте, измеряя донные сигналы в зоне рельсового стыка прослеживается увеличение усиления, что свидетельствует об увеличении затухания в сварном шве. Что говорит об изменении в нем структуры, т.е. предположительно размера зерна.

Неровности поверхности ввода глубиной до 0,1 мм на размере ПЭП вызывают изменения отношения амплитуд не более 2 дБ. Вместе с этим исключено влияние неровностей донной поверхности на отношение амплитуд.

В исследованных сварных стыках обнаружено уменьшение относительной амплитуды на (14 – 32) дБ, что эквивалентно размеру зерна (73 – 96) мкм.

4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Рельсы являются самым дорогим и самым ответственным элементом верхнего строения пути. Безопасность и надежность работы рельсов обеспечивается исполнением многочисленных требований.

Особое внимание уделяется рельсовым стыкам, т.к. они являются самым напряженным местом железнодорожного пути. При обычных условиях рельсы в месте стыка и вблизи от него могут подвергаться серьезным повреждениям, что вызовет необходимость удаления их из пути. Следовательно, стык является первоначальной причиной изъятия рельсов из пути и таким образом элементом, вносящим большую долю расходов, приходящихся на содержание пути.

Отсутствие в рельсовых плетях стыков позволяет улучшить плавность движения поездов, продлить сроки службы элементов верхнего строения пути, снизить расходы на содержание пути, ремонт подвижного состава и на тягу поездов, повысить надежность электрических рельсовых цепей, снизить уровень шума из-за отсутствия ударов колес в стыках. Хотя бесстыковой путь представляет собой сложнапряженную дорогостоящую конструкцию, на содержание и эксплуатацию которой затрачиваются большие экономические, технические и человеческие ресурсы, он отличается высокими эксплуатационными качествами.

Совершенствование технологий изготовления и контроля бесстыковых плетей становится одним из приоритетных направлений работы. Для продления их срока службы необходимо своевременно выявлять несоответствия элементов его конструкций различными способами неразрушающего контроля..

Существующие методы контроля структурного состояния, в том числе и механических характеристик, трудоемки и требуют больших материальных затрат. Исключением является ультразвуковой метод как самый экономически выгодный.

Целью данной выпускной квалификационной работы является анализ и оценка возможностей ультразвукового контроля структурного параметра материала – размера зерна в сварных стыках рельсов.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование научно-исследовательских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

С учетом решения данных задач была сформирована структура и содержание раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».

4.1 Организация и планирование работ

При организации процесса реализации конкретного проекта необходимо оптимально планировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ. В данном пункте составляется полный перечень проводимых работ, определяются их исполнители и рациональная продолжительность. Перечень работ указан в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
1	2	3
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	НР – 100%

1	2	3
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	НР – 100% И – 10%
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	НР – 30% И – 100%
Разработка календарного плана	НР, И	НР – 100% И – 10%
Обсуждение литературы	НР, И	НР – 30% И – 100%
Проведение экспериментальных исследований	НР, И	НР – 60% И – 100%
Анализ социальной ответственности предприятия, анализ и расчеты технико-экономического обоснования НИР	И	И – 100%
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	И – 100%
Оформление графического материала	И	И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 60% И – 100%

4.1.1 Продолжительность этапов работ

Расчет продолжительности этапов работ осуществляется двумя методами:

- технико-экономическим;
- опытно-статистическим.

Первый применяется в случаях наличия достаточно развитой нормативной базы трудоемкости планируемых процессов, что в свою очередь обусловлено их высокой повторяемостью в устойчивой обстановке. Так как исполнитель работы зачастую не располагает соответствующими нормативами,

то используется опытно-статистический метод, который реализуется двумя способами:

- аналоговый;
- экспертный.

Аналоговый способ привлекает внешней простотой и околонулевыми затратами, но возможен только при наличии в поле зрения исполнителя НИР не устаревшего аналога, т.е. проекта в целом или хотя бы его фрагмента, который по всем значимым параметрам идентичен выполняемой НИР. В большинстве случаев он может применяться только локально – для отдельных элементов (этапов работы).

Экспертный способ используется при отсутствии вышеуказанных информационных ресурсов и предполагает генерацию необходимых количественных оценок специалистами конкретной предметной области, опирающимися на их профессиональный опыт и эрудицию. Для определения ожидаемого значения продолжительности работ $t_{ож}$ применяется вероятностный метод – метод двух оценок t_{min} и t_{max} .

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5}, \quad (4.1)$$

где t_{min} – минимальная трудоемкость работ, чел/дн.; t_{max} – максимальная трудоемкость работ, чел/дн.

Для выполнения перечисленных в таблице 1 работ требуются специалисты:

- инженер – в его роли действует исполнитель НИР (ВКР);
- научный руководитель.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести в календарные дни. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ведется по формуле:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д}, \quad (4.2)$$

где $t_{ож}$ – трудоемкость работы, чел/дн.; $K_{ВН}$ – коэффициент выполнения работ ($K_{ВН} = 1$); $K_{д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсации и согласование работ ($K_{д} = 1,2$).

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{Кд} = T_{Рд} \cdot T_{К}, \quad (4.3)$$

где $T_{Рд}$ – продолжительность выполнения этапа в рабочих днях; $T_{Кд}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях; $T_{К}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$T_{К} = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}}, \quad (4.4)$$

где $T_{КАЛ}$ – календарные дни ($T_{КАЛ} = 365$); $T_{ВД}$ – выходные дни ($T_{ВД} = 52$); $T_{ПД}$ – праздничные дни ($T_{ПД} = 10$).

$$T_{К} = \frac{365}{365 - 52 - 10} = 1,205.$$

В таблице 4.2 приведены длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе.

Таблица 4.2 – Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Длительность работ, чел/дн.			
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	$T_{РД}$		$T_{КД}$	
					НР	И	НР	И
Постановка задачи	НР	2	4	2,8	3,36	-	4,05	-
Разработка и утверждение технического задания	НР, И	2	3	2,4	2,88	0,29	3,47	0,35
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	15	17	18,2	6,55	21,84	7,90	26,32
Разработка календарного плана	НР, И	2	4	2,8	3,36	0,34	4,05	0,40
Обсуждение литературы	НР, И	3	6	5,8	2,09	6,96	2,52	8,39
Проведение экспериментальных исследований	НР, И	20	30	28,2	20,30	33,84	24,47	40,78
Анализ социальной ответственности предприятия, анализ и расчеты технико-экономического обоснования НИР	И	5	10	14	-	16,80	-	20,24
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	6	9	8,2	-	9,84	-	11,86
Оформление графического материала	И	5	6	5,4	-	6,48	-	7,81
Подведение итогов	НР, И	5	8	6,2	4,46	7,44	5,38	8,97
Итого:				94	43,01	103,82	51,82	125,11

Таблица 4.3 – Накопление готовности проекта

№	Вид работ	Исполнители	$t_{ож.}$ дни	Продолжительность выполнения работ																		
				февраль			март					апрель				май				июнь		
				2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3
1	Постановка задачи	НР	3	■																		
2	Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	НР, И	2	■	■																	
3	Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	18	■	■	■	■	■	■	■												
4	Разработка календарного плана	НР, И	3						■	■												
5	Обсуждение литературы	НР, И	6						■	■	■											
6	Проведение экспериментальных исследований	НР, И	28								■	■	■	■	■	■						
7	Анализ социальной ответственности предприятия, анализ и расчеты технико-экономического обоснования НИР	И	14														■	■	■	■	■	■
8	Оформление расчетно-пояснительной записки	И	8																■	■	■	■
9	Оформление графического материала	И	5																		■	■
10	Подведение итогов	НР, И	6																		■	■

НР – ■; И – ■.

4.1.2 Расчет накопления готовности проекта

Величина нарастания технической готовности работы показывает, на сколько процентов выполнена работа на каждом этапе. Данная величина вычисляется по формуле:

$$СГ_i = \frac{ТР_i^H}{ТР_{общ}} \cdot 100\%, \quad (4.5)$$

где $ТР_i^H$ – нарастающая трудоемкость с момента начала работы i -го этапа; $ТР_{общ}$ – общая трудоемкость проекта.

Общая трудоемкость вычисляется по формуле:

$$ТР_{общ} = \sum_{i=1}^n t_{ожi}, \quad (4.6)$$

где $t_{ожi}$ – ожидаемая продолжительность i -го этапа.

Удельный вес каждого этапа $У_i$ определяется по формуле:

$$ТР_i = \frac{t_{ожi}}{ТР_{общ}} \cdot 100\% \quad (4.7)$$

Результаты вычислений $СГ_i$ и $ТР_i$ отражены в таблице 8.

Таблица 4.4 – Нарастание технической готовности работы и удельный вес каждого этапа

Этап	ТР _i , %	СГ _i , %
Постановка задачи	2,98	3,17
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	2,55	5,89
Подбор и изучение материалов по тематике	19,36	26,48
Разработка календарного плана	2,98	29,65
Обсуждение литературы	6,17	36,22
Проведение экспериментальных исследований	30,00	68,13
Анализ социальной ответственности предприятия, анализ и расчеты технико-экономического обоснования НИР	14,89	83,97
Оформление расчетно-пояснительной записки	8,72	93,25
Оформление графического материала	5,74	99,37
Подведение итогов	6,60	100,00

4.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта

В состав затрат на создание проекта включается стоимость всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости на выполнение данной разработки производится по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию (без освещения);
- амортизационные отчисления;
- командировочные расходы;
- оплата услуг связи;
- прочие услуги (сторонних организаций);
- прочие (накладные) расходы.

4.2.1 Расчет затрат на материалы

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования. Сюда же относятся специально приобретенное оборудование, инструменты и прочие объекты, относимые к основным средствам, стоимостью до 40 000 руб. включительно. Цена материальных ресурсов определяется по соответствующим ценникам или договорам поставки. Кроме того статья включает так называемые транспортно-заготовительные расходы (ТЗР), связанные с транспортировкой от поставщика к потребителю, хранением и прочими процессами, обеспечивающими движение (доставку) материальных ресурсов от поставщиков к потребителю. Сюда же включаются расходы на совершение

сделки купли-продажи. Приблизительно они оцениваются в процентах к отпускной цене закупаемых материалов, как правило, это $5 \div 20 \%$. Исполнитель работы самостоятельно выбирает их величину в указанных границах.

4.2.2 Расчет заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера, а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя.

Среднедневная тарифная заработная плата ($ЗП_{\text{дн}}$) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{\text{дн}} = \frac{\text{Месячный оклад}}{24,83}. \quad (4.8)$$

Расчеты затрат на полную заработную плату приведены в таблице 5. При расчете учитывалось, что в году 298 рабочих дня и, следовательно, в месяце 24,83 рабочих дня. Затраты времени по каждому исполнителю взяты из таблицы 2. Для учета в ее составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов: $K_{\text{ПР}} = 1,1$; $K_{\text{доп.ЗП}} = 1,188$; $K_{\text{р}} = 1,3$.

Для перехода от тарифной (базовой) суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку необходимо первую умножить на интегральный коэффициент, который находится по формуле:

$$K_{\text{и}} = K_{\text{ПР}} \cdot K_{\text{доп.ЗП}} \cdot K_{\text{р}}; \quad (4.9)$$

$$K_{\text{и}} = 1,1 \cdot 1,188 \cdot 1,3 = 1,699.$$

Коэффициент $K_{\text{доп.ЗП}}$ применяется при шестидневной рабочей неделе.

Таблица 4.5 – Затраты на основную заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес	Среднедневная ставка, руб./день	Затраты времени, дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	23264,86	936,97	52	1,699	82779,05
И	20 000	805,48	125	1,62	163109,7
Итого:					245888,75

Таким образом, затраты на основную заработную плату составили:

$$C_{\text{осн}} = 245888,75 \text{ руб.}$$

4.2.3 Расчет отчислений с заработной платы

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту:

$$C_{\text{соц}} = C_{\text{осн}} \cdot 0,3. \quad (4.10)$$

Таким образом, отчисления из заработной платы составили:

$$C_{\text{соц}} = 0,3 \cdot 245888,75 = 73766,625 \text{ руб.}$$

4.2.4 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию при работе оборудования, а также затраты на электроэнергию, потраченную на освещение. Затраты на электроэнергию при работе оборудования для технологических целей рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{эл.об.}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot Ц_{\text{э}}, \quad (4.11)$$

где $P_{\text{об}}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт; $Ц_{\text{э}}$ – тарифная цена за 1 кВт·час, $Ц_{\text{э}} = 5,257 \text{ руб/кВт·час}$; $t_{\text{об}}$ – время работы оборудования, час.

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных для инженера ($T_{РД} = 1000$ ч) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{ОБ} = T_{РД} \cdot K_t, \quad (4.12)$$

где $K_t \leq 1$ – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к $T_{РД}$. Определяется исполнителем самостоятельно. В ряде случаев возможно определение путем прямого учета, особенно при ограниченном использовании соответствующего оборудования.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{ОБ} = P_{НОМ} \cdot K_C, \quad (4.13)$$

где $P_{НОМ}$ – номинальная мощность оборудования, кВт; $K_C \leq 1$ – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности. Для технологического оборудования малой мощности $K_C = 1$.

Затраты на электроэнергию для технологических целей приведены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Затраты на электроэнергию для технологических целей

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{ОБ}$, час	Потребляемая мощность $P_{ОБ}$, кВт	Затраты $C_{ЭЛ}$, руб.
Персональный компьютер	1000·0,7	0,3	1103,97
Дефектоскоп ультразвуковой УСД 50	1000·0,7	0,05	184
Итого:			1287,97

4.2.5 Расчет амортизационных расходов

В статье «Амортизационные отчисления» рассчитывается амортизация оборудования, используемого во время выполнения проекта.

Амортизационные отчисления рассчитываются на время использования оборудования по формуле:

$$C_{AM} = \frac{N_A \cdot C_{OB} \cdot t_{pф} \cdot n}{F_D}, \quad (4.14)$$

где N_A – годовая норма амортизации, $N_A = 25\%$; C_{OB} – цена оборудования, C_{OB} (ЭВМ) = 25000 руб., C_{OB} (УСД-50) = 239000 руб.; F_D – действительный годовой фонд рабочего времени, $F_D = 247 \cdot 8 = 1976$ часов (при пятидневной рабочей недели); $t_{pф}$ – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта, $t_{pф} = 700$ часов; n – число задействованных ПЭВМ и УСД-50, $n = 1$.

$$C_{AM}(ЭВМ) = \frac{0,25 \cdot 25000 \cdot 700 \cdot 1}{1976} = 2214,07 \text{ руб.},$$

$$C_{AM}(УСД - 50) = \frac{0,25 \cdot 239000 \cdot 700 \cdot 1}{1976} = 21166,49 \text{ руб.}$$

Таким образом, затраты на амортизационные отчисления составили 23380,57 руб.

4.2.6 Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях. Прочие расходы составляют 10% от единовременных затрат на выполнение технического продукта и находятся по формуле:

$$C_{ПРОЧ} = (C_{ОСН} + C_{СОЦ} + C_{ЭЛ} + C_{AM}) \cdot 0,1; \quad (4.15)$$

$$C_{ПРОЧ} = (245888,75 + 73766,625 + 1287,97 + 23380,57) \cdot 0,1 = 34432,39 \text{ руб.}$$

4.2.7 Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет сметы затрат на разработку, можно определить общую стоимость разработки проекта, которая представлена в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Основная заработная плата	$C_{\text{ОСН}}$	245888,75
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{СОЦ}}$	73766,625
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{ЭЛ}}$	1287,97
Амортизационные отчисления	$C_{\text{АМ}}$	23380,57
Прочие расходы	$C_{\text{ПРОЧ}}$	34432,39
Итого:		378756,3

Таким образом, расходы на разработку составили $C = 378756,3$ руб.

4.2.8 Расчет прибыли

Прибыль составляет 20 % от расходов на разработку. В данной работе она составила 75751,26 рублей.

4.2.9 Расчет НДС

НДС составляет 18% от суммы затрат на разработку. Сумма НДС составила 68176,13 руб.

4.3 Оценка экономической эффективности проекта

При внедрении предложенного метода, несмотря на предполагаемое увеличение себестоимости выпускаемых рельсов, повысится их качество и, следовательно, увеличится срок службы. Таким образом, можно предположить о значительном снижении рисков аварийных прерываний в эксплуатации. Также экономический эффект разработанного метода для контроля структуры сварных стыков рельсов может характеризоваться снижением внутрипроизводственных затрат на исправление брака.

5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

В классическом виде социальная ответственность включает в себя: добросовестную деловую практику, развитие персонала организации; охрану здоровья и безопасные условия труда; охрану окружающей среды, использование ресурсосберегающих технологий; развитие местного сообщества.

С 01 апреля 2011 г. в действие введен международный стандарт (МС) IS CSR-08260008000: 2011 «Социальная ответственность организации». В соответствии с данным стандартом под «Социальной ответственностью» понимается ответственность организации за воздействие ее решений и деятельности на общество и окружающую среду через прозрачное и этическое поведение, которое:

- содействует устойчивому развитию, включая здоровье и благосостояние общества;
- учитывает ожидания заинтересованных сторон;
- соответствует применяемому законодательству и согласуется с международными нормами поведения (включая промышленную безопасность и условия труда, экологическую безопасность);
- интегрировано в деятельность всей организации и применяется во всех ее взаимоотношениях (включая промышленную безопасность и условия труда, экологическую безопасность).

Объект исследования – контроль структурного параметра – размера зерна сварных стыков рельсов ультразвуковым методом.

Согласно техническому заданию (ТЗ) планируется проанализировать и оценить возможность ультразвукового контроля структурного параметра – размера зерна в сварных стыках рельсов.

Сварка бесстыковых рельсовых плетей изменяет структуру стали в зоне термического влияния, что негативно сказывается на механических свойствах,

повышает вероятность образования и скорость развития усталостных дефектов. Поэтому совершенствование методов и средств контроля структуры материала сварных соединений рельсов является актуальной задачей.

Разрушающие методы контроля структурного состояния трудоемки, требуют значительных материальных затрат и не позволяют осуществлять сплошной контроль. Наиболее перспективными являются неразрушающие методы, основанные на зависимости параметров акустических волн от свойств материала. Таким образом, предложена методика двухчастотного контроля с применением одного стандартного преобразователя.

В разделе будут рассмотрены опасные и вредные факторы, оказывающие влияние на производственную деятельность персонала при проведении ультразвукового контроля, рассмотрены воздействия при этом на окружающую среду, правовые и организационные вопросы, а также мероприятия в чрезвычайных ситуациях.

5.1 Производственная безопасность

5.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования

Согласно номенклатуре, опасные и вредные факторы по ГОСТ 12.0.003 делятся на следующие группы:

- физические;
- химические;
- психофизиологические;
- биологические.

Перечень опасных и вредных факторов, влияющих на персонал в заданных условиях деятельности, представлен в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Перечень опасных и вредных факторов технологии производства

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
– Управление дефектоскопом; – выполнение визуальных осмотров всех основных и вспомогательных приборов до начала их использования при выполнении работ.	– Повышенная или пониженная температура, влажность и скорость воздуха рабочей зоны; – повышенная напряженность зрения; – отсутствие или недостаток естественного света; – повышенный уровень шума – повышенный уровень ультразвука.	– Движущийся подвижной состав, транспортные средства, движущиеся механизмы, подвижные части производственного оборудования; – Электрический ток.	– Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений СанПиН 2.2.4-548-96; – Нормы естественного и искусственного освещения предприятий, СНиП 23-05-95; – Допустимые уровни шумов в производственных помещениях. ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ; – Гигиенические требования при работах с источниками воздушного и контактного ультразвука промышленного, медицинского и бытового назначения, СанПиН 2.2.4./2.1.8.582—96.

Эти факторы могут влиять на состояние здоровья, привести к травмоопасной или аварийной ситуации, поэтому следует установить эффективный контроль за соблюдением норм и требований, предъявленных к их параметрам.

5.1.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на производстве при внедрении объекта исследования

При внедрении объекта исследования важную роль играет рабочая зона. Она должна соответствовать правилам охраны труда и удовлетворять требованиям удобства выполнения работы, экономии энергии и времени оператора.

Основную опасность при проведении контроля в полевых условиях представляют движущиеся транспортные средства, части производственного оборудования, а так же сам дефектоскоп. При его эксплуатации согласно ГОСТ12.0.003 источником опасности является повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.

5.1.3 Обоснование мероприятий по защите персонала предприятия от действия опасных и вредных факторов

5.1.3.1 Механические опасности

Механическая опасность – опасность способная причинить травму в результате контакта объекта или его частей с человеком. При рассмотрении нашего объекта к ним относятся: движущийся подвижной состав, транспортные средства, движущиеся механизмы, подвижные части производственного оборудования, заготовки, острые кромки, скользкие поверхности. Факторы, увеличивающие опасность: подъемники, недостатки монтажа и конструкции оборудования.

Основные последствия механических опасностей:

- защемление или раздавливание;
- порезы;
- отрезание или разрубание;

- захват или наматывание;
- попадание под удар;
- местный укол или полное прокалывание;
- поверхностное повреждение наружных тканей под действием трения.

К средствам защиты работающих от механического травмирования (физического опасного фактора) относятся:

- ограждения;
- предохранительные – блокировочные устройства (механические, электрические, электронные и т. д.);
- сигнальные устройства (звуковые, световые).
- сигнальные цвета и сигнальная разметка, знаки производственной безопасности.

Сигнализация является одним из звеньев непосредственной связи между машиной и человеком. Она способствует облегчению труда, рациональной организации рабочего места и безопасности работы. Сигнализация может быть звуковая, световая, цветовая и знаковая. Сигнализация должна быть расположена и выполнена так, чтобы сигналы, предупреждающие об опасности, были хорошо различимы и слышны в производственной обстановке всеми лицами, которым может угрожать опасность.

ГОСТ Р 12.4.026-2001 «ССБТ. Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная» устанавливает термины с соответствующими определениями, для правильного понимания их назначения, правила применения и характеристики знаков безопасности, сигнальных цветов и сигнальной разметки.

5.1.3.2 Микроклимат

Значимым физическим фактором является микроклимат рабочей зоны (температура, влажность и скорость движения воздуха).

Температура, относительная влажность и скорость движения воздуха влияют на теплообмен и необходимо учитывать их комплексное воздействие. Нарушение теплообмена вызывает тепловую гипертермию, или перегрев.

Оптимальные нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха производственных помещений для работ, связанных с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг (категория Пб), приведены в таблице 5.2, в соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 и СанПиН 2.2.4.548-96.

Таблица 5.2 – Нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха

Период года	Категория работы	Температура, °С	Относительная влаж. воздуха, %	Скорость движения воздуха, не более м/с
Холодный	Пб	17-19	40-60	0,2
Теплый	Пб	19-21	40-60	0,2

Допустимые микроклиматические условия установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека на период 8-часовой рабочей смены. Они устанавливаются в случаях, когда по технологическим требованиям, техническим и экономически обоснованным причинам не могут быть обеспечены оптимальные величины.

Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Допустимые величины показателей микроклимата

Период года	Категория работы	Температура воздуха, °С	Относительная влаж. воздуха, %	Скорость движения воздуха, не более м/с
Холодный	Пб	15-22	15-75	0,4
Теплый	Пб	16-27	15-75	0,5

Для обеспечения установленных норм микроклиматических параметров и чистоты воздуха на рабочих местах и в помещениях применяют вентиляцию. Общеобменная вентиляция используется для обеспечения в помещениях

соответствующего микроклимата. В холодное время года предусматривается система отопления. Для отопления помещений используются водяные системы центрального отопления. При недостаточной эффективности центрального отопления должны быть использованы масляные электрические нагреватели.

Радиаторы должны устанавливаться в нишах, прикрытых деревянными или металлическими решетками. Применение таких решеток способствует также повышению электробезопасности в помещениях. При этом температура на поверхности нагревательных приборов не должна превышать 95 °С, чтобы исключить пригорание пыли.

5.1.3.3 Освещение

Освещение рабочего места – важнейший фактор создания нормальных условий труда. Освещению следует уделять особое внимание, так как при работе наибольшее напряжение получают глаза.

Освещение делится на естественное, искусственное и совмещенное.

По инструкции для дефектоскописта по магнитному и ультразвуковому контролю в пассажирском комплексе, локомотивном и вагонном хозяйствах ОАО "РЖД" для искусственного освещения рабочих мест следует применять систему комбинированного освещения (общее плюс местное). Освещенность контролируемой поверхности детали должна быть не менее 1000 лк от системы комбинированного освещения, в том числе 200 лк от общего освещения в системе комбинированного освещения [19].

Для местного освещения следует применять светильники с непросвечивающим отражателем, обеспечивающим рассеяние света, и экран, защищающий глаза дефектоскописта от слепящего воздействия света.

При внедрении объекта исследования расчет количества светильников и их размещение будет производиться для каждого РСП отдельно, используя формулы, представленные ниже:

$$F = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot Z}{n}, \quad (5.1)$$

где F – световой поток, падающий на поверхность, Лм; E – нормированная минимальная освещенность, Лк; K – коэффициент запаса, учитывающий уменьшение светового потока лампы в результате загрязнения светильников в процессе эксплуатации (его значение зависит от типа помещения и характера проводимых в нем работ); S – площадь освещаемого помещения, м²; Z – отношение средней освещенности к минимальной; n – коэффициент использования, который выражается отношением светового потока, падающего на расчетную поверхность, к суммарному потоку всех ламп и исчисляется в долях единицы.

Для определения значения n по таблице коэффициентов использования различных светильников вычисляется индекс помещения по формуле:

$$I = \frac{S}{h \cdot (A+B)}, \quad (5.2)$$

где h – расчетная высота подвеса, м; A – ширина помещения, м; B – длина помещения, м.

После определения светового потока F рассчитаем необходимое количество ламп по формуле:

$$N = \frac{F}{F_{\text{л}}}, \quad (5.3)$$

где $F_{\text{л}}$ – световой поток лампы, Лм.

5.1.3.4 Шум

В производственных условиях имеют место шумы различной интенсивности и частотного спектра, которые генерируются источниками шумов.

Для исследуемого объекта основными источниками шумов являются производственное оборудование.

Предельно допустимый уровень (ПДУ) шума в помещениях лабораторий с шумным оборудованием нормируются по ГОСТ 12.1.003-83 и

СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Значения ПДУ согласно этим документам представлены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Значения ПДУ

Рабочие места	Уровни звукового давления (ДБ) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц						Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	
ПУ	91	83	77	73	70	68	75

Для оценки соблюдения ПДУ шума необходим производственный контроль (измерения и оценка). В случае превышения уровней необходимы организационно-технические мероприятия по защите от действия шума (защита временем, расстоянием, экранирование источника, либо рабочей зоны, замена оборудования, использование СИЗ).

5.1.3.5 Ультразвуковое излучение

В зоне прохождения ультразвука в контролируемой детали и в зоне соприкосновения преобразователя с пальцами рук наблюдается повышенный уровень ультразвука. Контактное воздействие ультразвука на руки приводит к нарушению капиллярного кровообращения в кистях рук, снижению болевой чувствительности. При уровне звукового давления 120 дБ наступает поражающий эффект.

Интенсивность ультразвука при работе с дефектоскопом в контактном варианте, т.е. в случае, когда оператор перемещает преобразователь вручную, не превышает 0,1 Вт/см² в соответствии с ГОСТ 12.1.019. Ультразвуковые колебания такой интенсивности носят ярко выраженный положительный терапевтический эффект (используются в медицине для проведения массажа).

Запрещается непосредственный контакт работающих с рабочей поверхностью оборудования в процессе его обслуживания, жидкостью и обрабатываемыми деталями во время возбуждения в них ультразвука.

Для защиты рук от возможного неблагоприятного воздействия контактного ультразвука в твердой или жидкой средах необходимо применять две пары перчаток - резиновые (наружные) и хлопчатобумажные (внутренние) или только хлопчатобумажные.

При систематической работе с источниками контактного ультразвука в течении более 50% рабочего времени необходимо устраивать два регламентированных перерыва – десятиминутный перерыв за 1–1,5 ч до и пятнадцатиминутный перерыв через 1,5-2 ч после обеденного перерыва для проведения физиотерапевтических процедур (тепловых гидропроцедур, массажа, ультрафиолетового облучения), а также лечебной гимнастики, витаминизации.

5.1.3.6 Психофизиологические факторы

Наиболее эффективные средства предупреждения утомления при работе на производстве – это средства, нормализующие активную трудовую деятельность человека. На фоне нормального протекания производственных процессов одним из важных физиологических мероприятий против утомления является правильный режим труда и отдыха (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03).

Существуют следующие меры по снижению влияния монотонности:

- необходимо применять оптимальные режимы труда и отдыха в течение рабочего дня;
- соблюдать эстетичность производства.

5.1.3.7 Электробезопасность

Источником опасности при эксплуатации дефектоскопа согласно ГОСТ12.0.003 является повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.

Для полного обесточивания после выключения дефектоскопа необходимо вынуть кабель блока питания из разъема питания.

Устранение неисправностей прибора производится только после полного обесточивания. Максимальное напряжение на элементах схемы и внутри корпуса дефектоскопа не превышает 200 В.

По способу защиты человека от поражения электрическим током данный прибор относится к классу 01 по ГОСТ 12.2.007.0. По ПУЭ помещение для проведения ультразвукового структурного анализа на РСП относится к классу помещений с повышенной опасностью из-за наличия токопроводящей пыли.

К работе с дефектоскопом допускаются лица, прошедшие инструктаж и аттестованные на II квалификационную группу по технике безопасности при работе с электро- и радиоизмерительными приборами, а также изучившие руководство по эксплуатации на дефектоскоп.

Перед включением прибора в сеть необходимо проверить исправность кабеля питания и соответствие напряжения сети 220 В частотой 50 Гц. Питающая сеть обеспечивается защитой от замыкания на землю, которая устанавливается с действием на отключение [20].

5.2 Экологическая безопасность

5.2.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

В результате выполнения ВКР был предложен двухчастотный ультразвуковой метод контроля структурного параметра – размера зерна в сварных стыках рельсов. Рассмотрим его влияние на окружающую среду.

При действии ультразвука на биологические объекты (в том числе и на человека) в органах и тканях на расстояниях, равных половине длины волны, может возникать разность давлений от 0,01 до 0,1 Па. При небольших интенсивностях ультразвука механические колебания способствуют лучшему

обмену веществ и лучшему снабжению тканей кровью и лимфой. Повышение интенсивности ультразвука может привести к возникновению акустической кавитации, сопровождающейся механическим разрушением клеток и тканей. Анализ влияния процесса эксплуатации объекта на окружающую среду

5.2.2 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

Ввод в технологический процесс ультразвукового излучения во многих технологиях переработки сырья является фактором, существенно снижающим подвод к технологической операции других энергетических потоков и прежде всего – тепловой энергии. Экологическая выгода от этого не требует доказательств.

Ультразвуковые технологии с аппаратным обеспечением на базе многофункциональных маломощных генераторов во многом удовлетворяют требованиям, предъявляемым к ресурсосберегающим и экологически безопасным процессам, и обеспечивают более рациональное по сравнению с традиционными технологиями использование природных ресурсов.

Ультразвуковые системы не нарушают потоки информации природных систем и не создают излучений опасных для существования, развития, воспроизводства и адаптации живых организмов.

При использовании контактного способа регистрации, ультразвуковые колебания не попадают в окружающую среду и могут оказывать влияние на человека только через корпус излучателя или приемника, находящегося в руке человека.

Таким образом, есть все основания утверждать, что ультразвук может быть экологически безопасным, если при проектировании его практических приложений выполняются необходимые ограничения по мощности, интенсивности и защиты. Используемый в ВКР ультразвуковой дефектоскоп обладает всеми необходимыми параметрами для безопасного влияния на окружающую среду.

К отходам от использованных компонентов оборудования при рассмотрении объекта ВКР можно отнести промасленную ветошь, которая относится к III классу опасности. При длительном хранении возникает риск самовозгорания, так как в процессе гниения выделяется достаточно большое количество тепла. При правильной и своевременной утилизации вреда окружающей среде не несет. Ветошь утилизируется после загрязнения маслом не более 15%.

5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.3.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

Перечень возможных ЧС на объекте исследования может быть достаточно широк:

- наводнение;
- удар молнии;
- пожар на объекте;
- взрыв.

В этом разделе наиболее актуальным будет рассмотрение вида ЧС - пожар.

Для обеспечения пожарной безопасности и взрывобезопасности производственных процессов необходимо соблюдать требования ГОСТ 12.1.004 и ГОСТ 12.1.010. Параметры взрывоопасности должны регламентироваться в соответствии с ГОСТ 12.1.044.

Общие требования к устройству, содержанию помещений, а также организация и ведение технологических процессов в РСП и на железнодорожных путях перегонов и станций должны соответствовать Правилам пожарной безопасности в Российской Федерации ППБ 01-03 и Правилам пожарной безопасности на железнодорожном транспорте, другим

нормативным документам, регламентирующим требования пожарной безопасности.

Рабочее место оператора-дефектоскописта должно соответствовать требованиям ФЗ Технический регламент по ПБ и норм пожарной безопасности (НПБ 105-03) и удовлетворять требованиям по предотвращению и тушению пожара по ГОСТ 12.1.004 и СНиП 21-01.

Помещение РСП для объекта исследования в соответствии с нормами пожарной безопасности, строительными нормами и правилами и ведомственными нормами технологического проектирования, утвержденными в установленном порядке, относится к категории В по взрывной, взрывопожарной и пожарной опасности.

Основным поражающим фактором пожара для помещений данной категории является наличие открытого огня и отравление ядовитыми продуктами сгорания оборудования.

5.3.2 Анализ причин, которые могут вызвать ЧС на производстве при внедрении объекта исследований

Пожар в помещении оператора-дефектоскописта может возникнуть вследствие причин неэлектрического и электрического характера.

К причинам неэлектрического характера относятся халатное и неосторожное обращение с огнем (курение).

К причинам электрического характера относятся:

- короткое замыкание;
- перегрузка проводов;
- большое переходное сопротивление;
- искрение;
- статическое электричество.

Режим короткого замыкания – появление в результате резкого возрастания силы тока, электрических искр, частиц расплавленного металла, электрической дуги, открытого огня, воспламенившейся изоляции.

Причины возникновения короткого замыкания:

- ошибки при проектировании.
- старение изоляции.
- увлажнение изоляции.
- механические перегрузки.

5.3.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

Пожарная безопасность объекта должна обеспечиваться системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями.

Должны быть приняты следующие меры противопожарной безопасности:

- обеспечение эффективного удаления дыма, т.к. в помещениях, имеющих оргтехнику, содержится большое количество пластиковых веществ, выделяющих при горении летучие ядовитые вещества и едкий дым;
- обеспечение правильных путей эвакуации;
- наличие огнетушителей и пожарной сигнализации;
- соблюдение всех противопожарных требований к системам отопления и кондиционирования воздуха.

Снабжение средствами пожарной сигнализации и средствами пожаротушения помещения для рассматриваемого объекта, находящегося в ведении РСП, должно соответствовать требованиям Норм оснащения объектов и подвижного состава железнодорожного транспорта первичными средствами пожаротушения.

Использование пожарного оборудования и инвентаря для хозяйственных нужд не допускается.

Для тушения пожаров на участке производства необходимо применять углекислотные (ОУ-5 или ОУ-10) и порошковые огнетушители (например, типа ОП-10), которые обладают высокой скоростью тушения, большим временем действия, возможностью тушения электроустановок, высокой эффективностью борьбы с огнем.

В РСП должны быть разработаны и вывешены на видных местах планы (схемы) эвакуации работников на случай пожара или аварийной ситуации, планы тушения пожаров.

План эвакуации представляет собой заранее разработанный план (схему), в которой указаны пути эвакуации, эвакуационные и аварийные выходы, установлены правила поведения людей, порядок и последовательность действий в условиях чрезвычайной ситуации по п. 3.14 ГОСТ Р 12.2.143.

Так как планируется внедрение объекта исследования на существующие РСП, дефектоскописты, производящие контроль структуры сварных стыков, при ЧС должны придерживаться уже разработанного плана эвакуации на конкретном предприятии.

Руководитель (начальник) РСП обязан обеспечить охрану труда работников РСП.

Руководители (начальники) и работники РСП, допустившие нарушение требований нормативных актов, содержащих требования по охране труда и пожарной безопасности, настоящих Правил, несут ответственность в соответствии с законодательством Российской Федерации.

5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

Нормы трудового права – это правила трудовых отношений, установленные или санкционированные государством посредством законодательных актов.

Нормы трудового права регулируют любые отношения, связанные с использованием личного труда.

Формы их реализации разнообразны:

- собственно, трудовые отношения;
- организация труда и управление им;
- трудоустройство работников;
- социальное партнерство, коллективные отношения;
- содействие занятости безработных лиц;
- организация профессиональной подготовки и повышения квалификации;
- обеспечение мер по охране труда граждан;
- осуществление контроля и надзора за соблюдением законодательства;
- социальная и правовая защита работников, решение трудовых споров;
- деятельность профессиональных союзов;
- отношения взаимной материальной ответственности работника и работодателя;
- защита прав и интересов работодателей.

Рассмотрим регулирование коллективных отношений.

Настоящий коллективный договор является правовым актом, регулирующим социально-трудовые отношения работников РСП с работодателем.

Основной задачей коллективного договора является создание необходимых организационно-правовых условий для достижения оптимального согласования интересов сторон трудовых отношений.

По заключенному коллективному договору работодатель обязан:

- соблюдать трудовое законодательство и иные нормативные правовые акты, содержащие нормы трудового права, локальные нормативные акты, условия коллективного договора, соглашений и трудовых договоров;
- предоставлять работникам работу, обусловленную трудовым договором;
- обеспечивать безопасность и условия труда, соответствующие государственным нормативным требованиям охраны труда;
- обеспечивать работников оборудованием, инструментами, технической документацией и иными средствами, необходимыми для исполнения ими трудовых обязанностей;
- обеспечивать работникам равную оплату за труд равной ценности, постоянно совершенствовать организацию оплаты и стимулирования труда, обеспечить материальную заинтересованность работников в результатах их труда;
- выплачивать в полном размере причитающуюся работникам заработную плату в сроки, установленные в соответствии с ТК РФ, коллективным договором, настоящими Правилами, трудовыми договорами;
- вести коллективные переговоры, а также заключать коллективный договор в порядке, установленном ТК РФ;
- знакомить работников под роспись с принимаемыми локальными нормативными актами, непосредственно связанными с их трудовой деятельностью;

- создавать условия, обеспечивающие участие работников в управлении организацией в предусмотренных ТК РФ, иными федеральными законами и коллективным договором формах;
- осуществлять обязательное социальное страхование работников в порядке, установленном федеральными законами;
- возмещать вред, причиненный работникам в связи с исполнением ими трудовых обязанностей, а также компенсировать моральный вред в порядке и на условиях, которые установлены ТК РФ, федеральными законами и иными нормативными правовыми актами РФ;
- принимать необходимые меры по профилактике производственного травматизма, профессиональных или других заболеваний работников, своевременно предоставлять льготы и компенсации в связи с вредными (опасными, тяжелыми) условиями труда (сокращенный рабочий день, дополнительные отпуска и др.), обеспечивать в соответствии с действующими нормами и положениями специальной одеждой и обувью, другими средствами индивидуальной защиты;
- постоянно контролировать знание и соблюдение работниками всех требований инструкций по охране труда, производственной санитарии и гигиене труда, противопожарной безопасности.

Работодатель обязуется проводить аттестацию и сертификацию рабочих мест один раз в пять лет с участием представителя профкома.

Если по результатам аттестации рабочее место не соответствует санитарно-гигиеническим требованиям и признано условно аттестованным, разрабатывать совместно с профкомом план мероприятий по улучшению и оздоровлению условий труда на данном рабочем месте и обеспечивать их выполнение.

Порядок обеспечения работников спецодеждой, спецобувью и средствами индивидуальной защиты, стирки и дезинфекции устанавливается локальными нормативными актами работодателя, принимаемыми по согласованию с профкомом.

Перечень изменений и дополнений к нормативам, утвержденным законодательством РФ выдачи спецодежды, спецобуви и средств индивидуальной защиты определяется приложением к коллективному договору.

5.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Для каждого работника РСП должно быть обеспечено удобное рабочее место, не стесняющее его действий во время выполняемой работы и отвечающее требованиям ГОСТ 12.2.033.

Рабочие места должны находиться вне линии перемещения грузов грузоподъемными средствами. Оно должно быть защищено от сквозняков.

Способ укладки материалов, деталей и изделий на рабочем месте должен обеспечивать наибольшую устойчивость материалов, деталей и изделий.

Рабочее место должно содержаться в чистоте. Уборка рабочих мест, проходов и проездов должна производиться в течение рабочего дня по мере накопления на рабочих местах отходов и после каждой смены.

Дефектоскопист должен иметь определенное рабочее место, расположенное в соответствии с установленным технологическим процессом. Для удобства и безопасности осмотра поворота и перемещения проверяемых деталей необходимо использовать специальные стенды, стеллажи, подъемные и другие приспособления. Дефектоскоп, пьезоэлектрический преобразователь и вспомогательный инструмент должны храниться на рабочем месте в шкафу или в специально отведенном помещении.

Рабочие места дефектоскопистов по ультразвуковому контролю должны быть фиксированы, ограждены ширмами для создания световой и звуковой тени, оборудованы деревянным настилом и механической вентиляцией с подогревом воздуха в холодный период года.

Создание благоприятных условий труда и правильное эстетическое оформление рабочих мест на производстве имеет большое значение как для облегчения труда, так и для повышения его привлекательности, положительно влияющей на производительность труда.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В первой главе рассмотрены основные характеристики рельсовой стали, свойства которой напрямую зависят от ее структурного состояния.

Из наиболее популярных методов структуроскопии выделяют магнитный. Несмотря на его оперативность, простоту и экономичность, анализ структуры можно проводить только на поверхности. Не менее известна рентгеновский метод структурного анализа. Он в свою очередь дорогостоящий, локальный и трудоемкий. Поэтому более широкое применение для анализа структурного состояния рельсовых стыков имеет ультразвуковой метод.

В работе отработана методика двухчастотного контроля с применением одного стандартного преобразователя типа П111-5,0-К6. Неровностей поверхности ввода глубиной до 0,1 мм на размере ПЭП вызывают вариации отношения амплитуд не более 2 дБ. Вместе с этим исключено влияние неровностей донной поверхности на отношение амплитуд. В исследованных сварных стыках обнаружено уменьшение относительной амплитуды на (14 – 32) дБ, что эквивалентно размеру зерна (73 – 96) мкм.

При внедрении предложенного метода, несмотря на предполагаемое увеличение себестоимости выпускаемых рельсов, повысится их качество и, следовательно, увеличится срок службы. Таким образом, можно предположить о значительном снижении рисков аварийных прерываний в эксплуатации. Также экономический эффект разработанного метода для контроля структуры сварных стыков рельсов может характеризоваться снижением внутрипроизводственных затрат на исправление брака.

Ультразвуковой контроль неметаллических включений в рельсовой стали по скорости ультразвуковых волн, с одной стороны, весьма перспективен и актуален, с другой стороны, несмотря на всю свою привлекательность и простоту реализации, в настоящее время не нашел широкого промышленного применения. Причина этому, прежде всего, - отсутствие высокоточного,

прецизионного оборудования промышленного образца, необходимого для выполнения контроля.

Развитие высокоточной, многофункциональной процессорной техники и все большее ее внедрение в процесс производства и контроля, в том числе и дефектоскопию, позволит в ближайшем будущем выполнять контроль структуры материала ультразвуковым методом.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

1. Die Analyse des Gefügestructurs von Schienenstoßen durch Ultraschallprüfung. Ryzhova A.O. Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / под редакцией И.А. Курзиной, Г.А. Вороновой. – Томск: Изд-во – Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2016. – Режим доступа: http://science-persp.tpu.ru/Arch/Proceedings_2016_vol_6.pdf – 302 с.

2. Анализ структурного состояния сварных стыков рельсов ультразвуковым методом. Рыжова А.О. Наука Промышленность Оборона: труды XVII Всероссийской научно-технической конференции / коллектив авторов; под редакцией С.Д. Саленко. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ Р 51685-2013 Рельсы железнодорожные. Общие технические условия
2. Шур Е.А., Повреждения рельсов /Е.А. Шур. - М.: Интекст, 2012. - 192 с.
3. ГОСТ 5640-68 Сталь. Металлографический метод оценки микроструктуры листов и ленты
4. ГОСТ 5639-82 Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна
5. ТУ-2000. Технические указания по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути
6. ТУ 0921-12701124323-2005 «Сварка рельсов алюминотермитным методом промежуточного литья»
7. Дефекты и качество рельсовой стали: Справ. изд./ В.В. Павлов, М.В. Темлянцев, Л.В. Корнева и др. – М.: Теплотехник, 2006 – 218 с.: ил.
8. Дефекты стальных слитков и проката: Справ, изд. / В.В. Правосудович, В.П. Сокуренок, В.Н. Данченко и др. – М.: Интермет Инжиниринг, 2006. – 384 с.
9. Стуканов В. А. Материаловедение: учебное пособие / В. А. Стуханов. – М. : Форум , 2011. – 368 с.
10. ГОСТ 30415-96 Сталь. Неразрушающий контроль механических свойств и микроструктуры металлопродукции магнитным методом
11. Асланов Л. А., Инструментальные методы рентгеноструктурного анализа, М., 1983
12. Химченко Н.В., Бобров В.А. Неразрушающий контроль в химическом и нефтяном машиностроении. М., «Машиностроение», 1978. – 264 с.
13. ГОСТ Р 53205-2008 Определение размеров зерен стали акустическим методом

14. ГОСТ Р 55725-2013 Контроль неразрушающий. Преобразователи ультразвуковые пьезоэлектрические. Общие технические требования
15. ПБ 03-372-00 Правила аттестации и основные требования к лабораториям неразрушающего контроля
16. ПБ 03-440-02 Правила аттестации персонала в области неразрушающего контроля
17. И.Н. Ермолов, А.Х. Вовилкин, В.Г. Бадалян Расчеты в ультразвуковой дефектоскопии (краткий справочник). – М.: ООО НПЦ НК “ЭХО+” 2004. – 110с.
18. ГОСТ 801-78 Сталь подшипниковая. Технические условия
19. Инструкция по охране труда для дефектоскописта по магнитному и ультразвуковому контролю в пассажирском комплексе, локомотивном и вагонном хозяйствах ОАО "РЖД", 2007
20. УСД-50 Дефектоскоп ультразвуковой универсальный: Паспорт (Руководство по эксплуатации) / Ногинск: Кропус, 2013
21. Мультитран// 2015. URL:
<http://www.multitran.ru/c/m.exe?11=3&12=2&CL=1&a=0>

Приложение А

(обязательное)

Раздел 1

Теоретические основы объекта исследования

Theoretische Grundlagen des Untersuchungsobjekts

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ51	Рыжова Анна Олеговна		

Консультант кафедры ЭДС (СГУПС):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий НИЛ «ФМК», доцент кафедры ЭДС СГУПС	Бехер Сергей Алексеевич	к.т.н., доцент		

Консультант – лингвист кафедры ИЯСГТ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ИЯСГТ	Прохорец Елена Константиновна	к.п.н., доцент		

Theoretische Grundlagen des Untersuchungsobjekts

1 Schienenherstellung

Die Herstellung des Schienenstahls erfolgt in Europa ausschließlich nach dem Sauerstoffaufblasverfahren. Das angelieferte Roheisen wird gezielt auf die einzustellenden niedrigen Schwefelgehalte reduziert. Bei dem rechnergesteuerten Blassprozess wird reiner Sauerstoff von oben auf das Bad geblasen, während gleichzeitig inerte Rührgase von unten durch den Konverterboden zugeführt werden. Beim Abstich des Rohstahls erfolgt die Zugabe der Legierungselemente, wie z.B. Mangan und Chrom.

Die anschließende pfannen- oder sekundärmetallurgische Behandlung der Schmelze wird mit Hilfe einer Umlaufentgasungsanlage durchgeführt. Die wesentlichen Aufgaben sind:

- Erreichen niedriger Wasserstoffgehalte,
- Erzielung eines guten oxydischen Reinheitsgrades,
- Einstellung einer gleichmäßigen chemischen Zusammensetzung.

2 Schienenprofile

Das Schienenprofil wird unterteilt in Schienenkopf, Schienensteg und Schienenfuß. Die Schienenkopfunterseite und die Schienenfußoberseite sind schräg und bilden so die Laschenanlagefläche (Laschenkammer).

Ein Schienenprofil (Abb.1) soll folgenden Anforderungen genügen:

- die Lauffläche soll genügend breit und so geformt sein, dass die Berührungsverhältnisse zwischen Rad und Schiene möglichst günstig und die Flächenpressung möglichst klein werden;

- der Kopf soll so hoch sein, dass ein ausreichender senkrechter Abnutzungsspielraum vorhanden ist im Hinblick auf eine lange Liegedauer der Schienen;

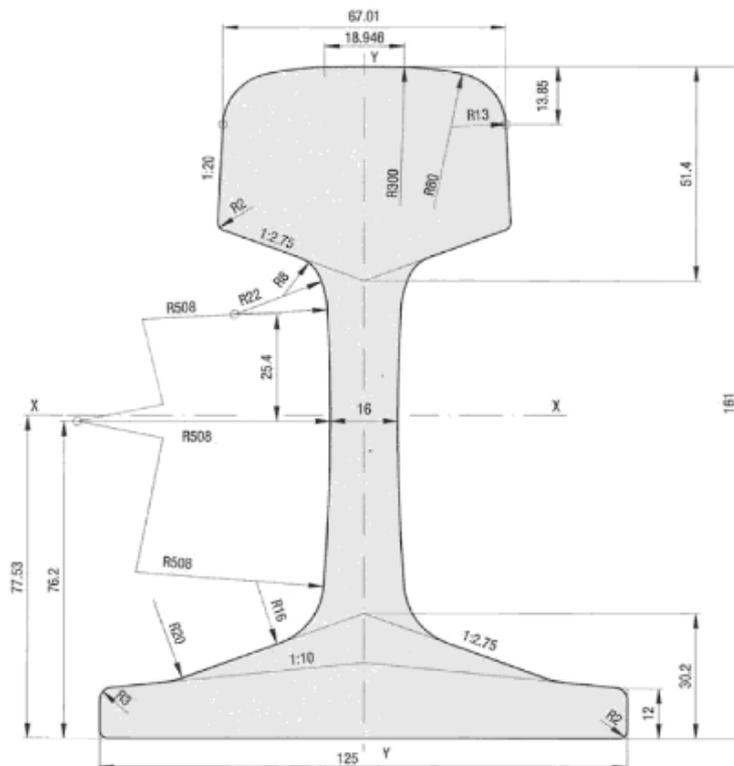


Abbildung 1 – Vignolschiene 54 E 2

- Steg und Fuß müssen genügend dick sein im Hinblick auf ausreichende Tragfähigkeit und Biegesteifheit sowie auf Schwächung durch Korrosion;
- der Fuß soll im Hinblick auf gute Standfestigkeit möglichst breit sein, damit die auf die Schwelle oder Unterlagsplatte ausgeübte Flächenpressung nicht zu groß wird;
- das Widerstandsmoment der Schiene gegen Biegebeanspruchung soll groß sein, das heißt die Schienenhöhe muss möglichst groß sein, desgleichen der Kopf- und Fußquerschnitt im Vergleich zum Stegquerschnitt;
- das Widerstandsmoment der Schiene gegen horizontale Kräfte quer zur Fahrtrichtung soll möglichst groß sein zur Erzielung ausreichender Seitensteifigkeit, des heißt der Schienenkopf und -fuß sollten eine optimierte Breite haben;

- die Schiene soll möglichst standfest gegen Kippen sein, das heißt die Höhe darf gegenüber der Fußbreite nicht zu groß sein;
- aus statischen Gründen soll der Schwerpunkt der Querschnittsfläche etwa in halber Schienenhöhe liegen;
- die obere und die untere Begrenzung der Laschenkammer müssen in Übereinstimmung mit der Form der Stoßlaschen in bestimmter Weise gestaltet sein;
- aus walztechnischen Gründen und im Hinblick auf einen günstigen Spannungsverlauf im Schienenquerschnitt sollen alle Übergänge – besonders die Hohlkehlen der Laschenkammer – mit möglichst großen Halbmessern ausgerundet sein.

3 Die Mikrostruktur der Schienen

Moderne Hochleistungsschienen werden gegenwärtig dadurch hergestellt, daß Stahl geeigneter Zusammensetzung ausgewalzt und dann abgekühlt wird. Die Schiene kann entweder direkt nach Verlassen des Walzstuhles abgekühlt werden, möglicherweise nach einer Wiedererhitzung, oder nach einer folgenden Wärmebehandlung. Die Abkühlung wird gesteuert und man beabsichtigt, Perlit als Hauptbestandteil des Schienenkopfes zu schaffen. Dieses Perlit besitzt günstige Eigenschaften bezüglich der Härte, und die Abkühlrate wird tatsächlich so gesteuert, daß sie unter einer speziellen Rate der betreffenden Stahlzusammensetzung liegt, so daß man in den Perlit-Bereich bei dem kontinuierlichen Abkühlungs-Übergangdiagramm (Abb. 2) für den Stahl gelangt. In gewissen Fällen kann die Abkühlung im einzelnen so gesteuert werden, daß der Pfad auf dem Diagramm durch den "Perlit-Nasenbereich" hindurchläuft, wenn ein Perlit mit einem feinen interlamellaren Abstandes und infolgedessen mit höherer Festigkeit und Härte erzeugt wird. Leider erreicht heute die Schienen-Technologie die Grenzen der Härte, die durch einen Perlit-Kopf erreicht werden kann, weil der Prozeß zur Erreichung einer erhöhten Härte mit einer Verminderung der Zähigkeit verknüpft ist [2].

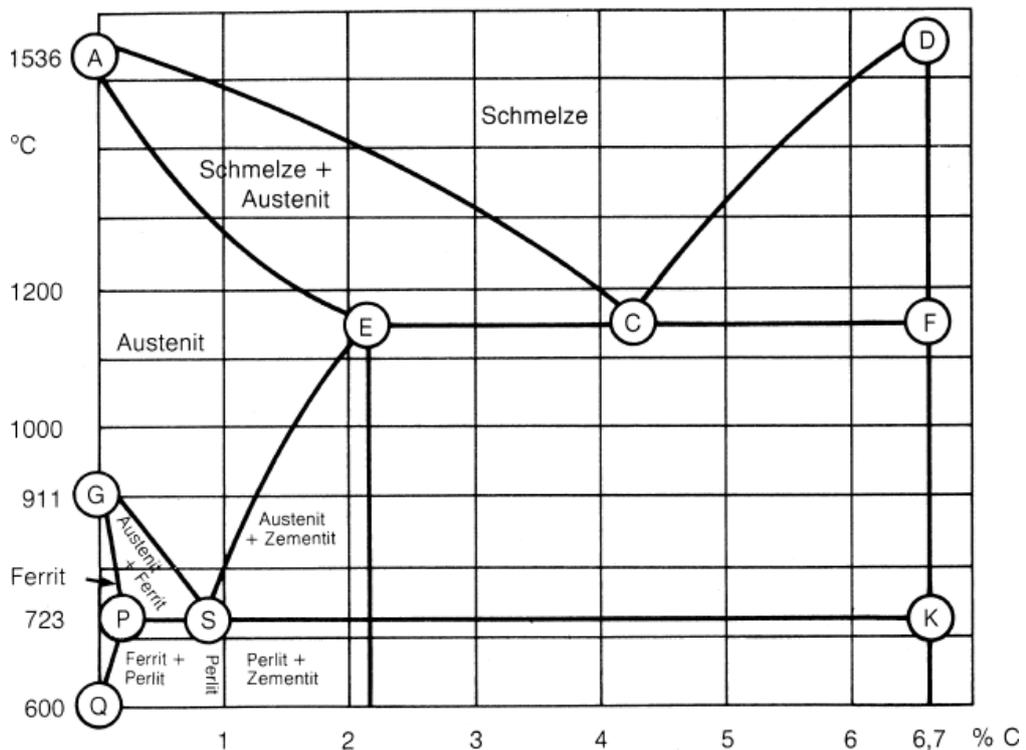


Abbildung 2 – Das Eisen-Kohlenstoff-Schaubild

Die mechanischen Eigenschaften sind eine Funktion der Gefügekenngrößen des Perlits in Form von Lamellenabstand, Zementitlamellendicke und Korngröße. Die Festigkeitseigenschaften werden im wesentlichen vom Lamellenabstand bestimmt, dabei nimmt die Streckgrenze und die Zugfestigkeit mit abnehmendem Lamellenabstand zu. Bei groblamellarem Perlit beträgt der Zementitlamellenabstand ca. 0,3 μm . Bei Feinperlit beträgt der Zementitlamellenabstand etwa 0,1 μm . Der Feinperlit ist also stärker belastbar.

4 Schienenschweißung

Praktisch finden drei Methoden zum Schweißen von Schienen für ranbahnen ihren Einsatz, sei es für ebenerdige als auch hochliegende Anlagen:

- Lichtbogenschweißen;
- Aluminiumthermitschweißverfahren (Abb. 3);

- Das Elektrisches Widerstands – Schweißverfahren.



Abbildung 3 – Aluminiumthermitschweißverfahren

4.1 Schweißverfahren mit Kurzvorwärmung

Die Schienenenden werden per Auge und danach fein mit einem 1m langem Lineal ausgerichtet. Die Schienen müssen gerade ausgerichtet sein, weil das sonst später hohen Einfluss auf die Fahrfläche nimmt. Auch die Schienenfüße müssen gegenseitig ausgerichtet werden, damit die Schweißflächen so viel wie möglich an Angriffsfläche für die Schweißung aufweisen können.

Die fertigen Formen (2 Hälften) müssen dem zu schweißenden Schienenprofil ohne Probleme anpassen werden können. Nach dem Anbringen der Formhälften werden diese in sogenannte Haltebleche gespannt und später mit der Spannvorrichtung mittig über der Schweißlücke verspannt.

Die Spannvorrichtung wird nach dem ermittelten Einstellmaß an einen der beiden Schienenköpfe angebracht und dient später zur Halterung der Halbformen in die Haltebleche.

Mittels des Quarzsandes werden die Lücken zwischen den Fertigformen, der Spannvorrichtung und den zu schweißenden Schienenenden verfüllt. Er soll dafür Sorge tragen, dass keine heiße Schweißmasse beim Einfüllen in die Fertigformen auslaufen kann.

Der Abstand zwischen Tiegel und der Form soll nach dem Ausrichten nicht mehr als ca. 4 cm betragen. Die Öffnung des Tiegels darf die Form nicht berühren, weil sonst der Verschluss nicht frei liegt und das Auslaufen des heißen flüssigen Thermit-Stahls somit nicht möglich wäre.

Das Entzündungsstäbchen wird nun an der Flamme des Brenners entzündet, danach steckt man es in die Schweißportion und leitet damit die Umsetzung ein. Nun wird der Tiegel mit der dazugehörigen Tiegelkappe abgedeckt.

Nach der Umsetzung + Ablauf der Wartezeit kann der flüssige Thermit-Stahl über die Kanäle in die Formhöhlräume laufen. Nun wird der Stahl vermischt und durch die Erstarrung mit den Schienenenden verschweißt.

Nach etwa 3 Minuten ist der Stahl in der Form erstarrt. Nun können die Formhaltebleche vorsichtig abgenommen werden. Die Kopfwulst wird vorsichtig mit einem Abschergerät abgetrennt, die Fußsteiger und die restlichen Formteile bleiben bis zum völligen Erkalten an der Schweißung bzw. an den Schienenenden.

Nach Beendigung des Abschrottens am Schienenkopf wird die Fahrfläche und die Fahrkante im noch heißen Zustand vorgeschliffen.

Der Schweißstoß muss von Formsandresten und der Halbformen gereinigt werden. Die Schiene darf aber nicht durch Benutzung der Schlagwerkzeuge berührt werden.

4.2 Das Lichtbogen – Schweißverfahren

Beim Zusammenfügen von Schienenstählen ist das Lichtbogenschweißen ein wichtiges Schweißverfahren geworden. Der benötigte Strom dient zur Erzeugung eines elektrischen Lichtbogens, um genügend Hitze zu entwickeln und das Metall zum Schmelzen zu bringen. Die gebräuchlichsten Lichtbogenverfahren sind das

Wolfram-Inertgas-Verfahren, das Metall-Inertgas-Verfahren, das atomare Lichtbogenschweißen und das atomare Lichtbogenschweißen.

4.2.1 Das Wolfram-Inertgas-Verfahren

Beim Wolfram-Inertgas-Verfahren wird eine Wolframelektrode verwendet. Hier nutzt man ein chemisch reaktionsträges Gas, um das Metall vor der Oxidation abzusichern. Die Wärme des Lichtbogens lässt die Metallkanten schmelzen. Das Metall für die Schweißnaht kann hinzugefügt werden, indem man einen blanken Draht in den Lichtbogen oder an die Spitze der Schweißnaht hält. Dieses Verfahren erzeugt eine Schweißnaht von hoher Qualität, aber die Schweißgeschwindigkeit ist beträchtlicher als bei anderen Schweißverfahren.

4.2.2 Das Metall-Inertgas-Verfahren

Das Metall-Schutzgasschweißen ist ein Verfahren wobei eine blanke Metallelektrode von der Luft abgeschirmt wird und sie mit Argon oder Kohlendioxid umgeben wird. Die Elektrode wird in den elektrischen Lichtbogen eingeführt und schmilzt und vermischt sich dabei mit dem flüssigen Metall.

4.3 Das Elektrisches Widerstands – Schweißverfahren

Beim elektrischen Widerstandsschweißen wird die zum Schweißen erforderliche Wärme durch den elektrischen Strom, unter Nutzung des elektrischen Widerstandes in der Schweißzone, erzeugt.

Die elektrische Abrennstumpfschweißung kann sowohl stationär und auch mit mobilen Maschinen durchgeführt werden.

Jeder Werkstoff setzt dem fließenden Strom einen Widerstand entgegen. Die Größe des Widerstandes ist abhängig von dem Querschnitt und der Leitfähigkeit des jeweiligen Werkstoffes.

Der erforderliche elektrische Strom geht nicht verloren, sondern setzt sich in Wärme um. Die Stromstärke sollte möglichst hoch gewählt werden. Die Spannung des Stromes wird so bemessen, dass sie für die Überwindung des Widerstandes ausreicht.

Beim Abbrennstumpfschweißen gibt es zwei Verfahren:

- das Abbrennstumpfschweißen mit Vorwärmen;
- das Abbrennstumpfschweißen ohne Vorwärmen.

4.3.1 Das Abbrennstumpfschweißen mit Vorwärmen

Das Abbrennstumpfschweißen mit Vorwärmen werden die Arbeitsabläufe in mehrere Schritte eingeteilt. Die Schritte sind Planbrennen, Vorwärmen, Abbrennen, Stauchen, Nachwärmen oder Zwischenwärmen und 2. Stauchschiel. Unebene Schienenstoßflächen müssen vor dem Schweißvorgang gerichtet werden. Durch das Planbrennen, das mit hoher Stromstärke bei Annäherung der zu verschweißenden Enden erfolgt, geschieht das ebenen.

4.3.2 Das Abbrennstumpfschweißen ohne Vorwärmen

Das Schweißen ohne Vorwärmen werden die Enden in Verbindung gebracht, wodurch sofort das Abbrennen beginnt. Mit fortschreitendem Abbrand wird die Geschwindigkeit gesteigert. Für dieses Verfahren ist eine 3 bis 6 mal größere Stromstärke als beim Schweißen mit Vorwärmen erforderlich.

5 Prüfverfahren des Gefügestandes

Die Materialwissenschaft behandelt den Zusammenhang zwischen dem Aufbau und den nützlichen Eigenschaften aller Werkstoffgruppen. Für die Strukturen unterscheiden wir drei Größenbereiche: makro (1 mm), mikro (10 nm - 1 mm), nano (0,1 nm - 10 nm). Die zugehörigen Methoden werden entsprechend als Makroskopie,

Mikroskopie, Nanoskopie bezeichnet. Diese sind in der Lage eine vollständige Beschreibung vom Aufbau der festen Stoffe zu geben.

Die Mikroskopie ist in der Werkstoffprüfung ein unverzichtbares Hilfsmittel. Ein Verständnis der Werkstoffeigenschaften setzt eine vollständige Kenntnis der Mikrostruktur voraus. So liefert die Korngrößenbestimmung wesentliche Hinweise auf die Festigkeit und Qualität eines Materials. Zum Beispiel die Farbätzung einer Schweißnaht erlaubt Rückschlüsse auf die Qualität Beurteilung der Schweißung.

Gibt es Zerstörungsfreie- und Zerstörungsprüfverfahren (ZfP-Verfahren) des Gefügestructurs. Zu den Prüfverfahren ohne Zerstörungen gehört das Röntgen-, Magnetpulver- und Ultraschallverfahren. Jedes dieser Verfahren hat seinen mehr oder weniger weiten Anwendungsbereich, in dem es vor allen anderen Verfahren die beste Information über einen mikroskopischen Parameter liefert.

5.1 Röntgenbeugung

Die Röntgenbeugung ist eine elementare Methode zur Strukturbestimmung von Festkörpern. Ziel der Methode ist es, die Wechselwirkung von Röntgenstrahlen mit einem Kristall kennen zu lernen.

Das Beugungsdiagramm ist für jede Substanz charakteristisch und kann daher als „Fingerprint“ für eine kristalline Substanz angesehen werden.

Das Grundprinzip: In einem Kristall sind die Atome in eindeutig definierten Abständen zueinander angeordnet und bilden ein Kristallgitter. Das Grundmodell des definierten Kristallgitters wiederholt sich in periodischen Abständen immer wieder. Die Abstände dieser Perioden (Gitterabstände) liegen in der Größenordnung von 0.02 bis 2.5 Å. Durch die Gitterabstände werden sogenannte Kristallgitterebenen definiert, deren Lage in Kristall durch ganzzahlige Vielfache der Gitterabstände bestimmt wird. An den Kristallgitterebenen wird nun Strahlung entsprechender Wellenlänge (Röntgenstrahlung) vergleichbar der Beugung von Licht an Strichgittern, gebeugt.

Bei der Kristallstrukturanalyse mittels Röntgen-, Elektronen- oder Synchrotronstrahlung werden streng genommen nicht die Positionen der Atome,

sondern wird die Verteilung der Elektronen in der Elementarzelle bestimmt, da diese mit der Strahlung in Wechselwirkung treten. Man erhält also eigentlich eine Elektronendichtekarte, und bei sehr exakten Kristallstrukturanalysen von Molekülen mit leichten Atomen findet man in der Tat Bindungselektronen. Neutronen treten dagegen mit dem Atomkern in Wechselwirkung. Allerdings ist der Unterschied in der Position in den meisten Fällen vernachlässigbar.

Vorteil: Die Röntgendiffraktometrie ermöglicht eine qualitative und halbquantitative, in bestimmten Fällen auch eine quantitative Bestimmung kristalliner Substanzen. Die Untersuchungsmethode ist zerstörungsfrei, d. h. es können anschließend noch weitere Untersuchungen an der Probe durchgeführt werden.

Nachteil: Idealerweise wird die Beugung an einem Einkristall durchgeführt. Häufig ist dies aber nicht möglich, da nicht immer genügend große Einkristalle einer Substanz zur Verfügung stehen. Allerdings geht durch die hierbei auftretende Überlagerung von Beugungsmaxima Information verloren, so dass die Ergebnisse im Allgemeinen von geringerer Qualität sind [11].

5.2 Mikromagnetisches Prüfverfahren

Ferromagnetische Werkstoffe bestehen aus magnetisch abgeschlossenen kleinen Bereichen, den sogenannten Weiss'schen Bezirken oder Domänen. Die Abgrenzung der einzelnen Domänen erfolgt durch sog. Blochwände, in denen sich die Magnetisierungsrichtungen ändern. Da der Werkstoff aus einer Vielzahl solcher unterschiedlich orientierter Domänen aufgebaut ist, heben sich die magnetischen Momente der einzelnen Domänen auf, sodass der Werkstoff makroskopisch unmagnetisch ist (Abb. 4).

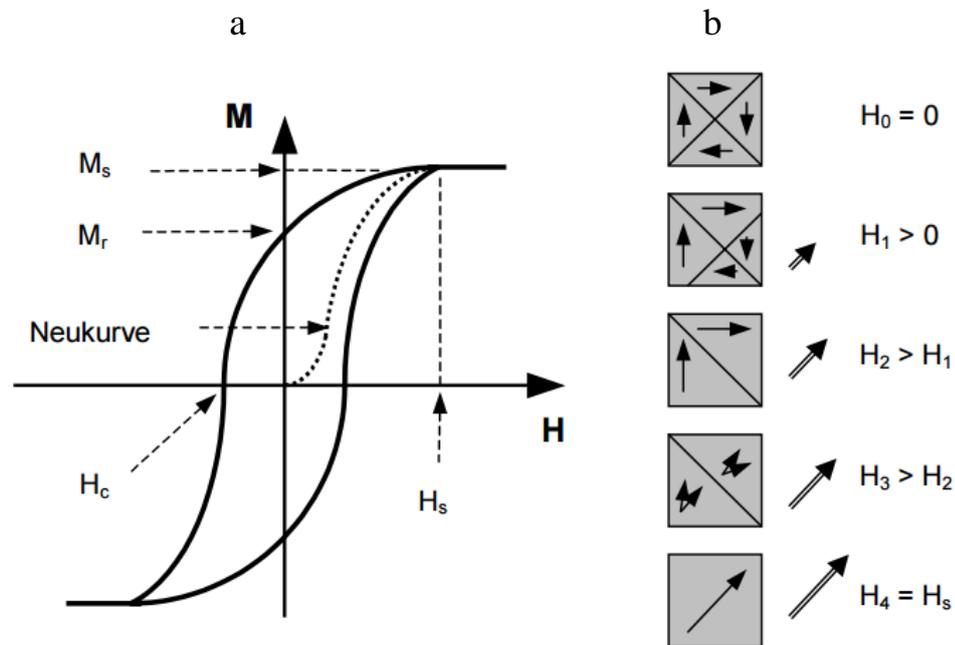


Abbildung 4 – Ferromagnetische Hysteresekurve:

a – wichtigste Kenngrößen, b – Domänenwandverschiebung und Rotation der Magnetisierung bei der Aufmagnetisierung entlang der Neukurve

Ausgehend von einem vollständig entmagnetisierten Material, führt eine Erhöhung des externen Magnetfeldes zur Ausrichtung der magnetischen Momente infolge von Domänenwandverschiebungen und Rotationsprozessen. Dadurch wird das Material magnetisiert. Mit der Zunahme des äußeren Feldes steigt die Magnetisierung an, bis alle Domänen bzw. Momente vollständig in Feldrichtung orientiert sind. Diese Feldstärke wird als Sättigungsfeldstärke H_s und die zugehörige Magnetisierung als Sättigungsmagnetisierung M_s bezeichnet. Reduziert man das äußere Magnetfeld wieder, so folgt die Magnetisierung nicht der Neukurve, da Wandverschiebungs- und Rotationsprozesse zum Teil irreversibel ablaufen. Als Remanenzmagnetisierung M_r wird der Wert der Magnetisierung angegeben, wenn kein äußeres Feld mehr anliegt. Um die Magnetisierung wieder auf Null herabzusetzen, muss die Koerzitivfeldstärke H_c aufgebracht werden. Die Koerzitivfeldstärke dient als wichtige Kenngröße zur Einteilung der Materialien in hartmagnetische ($H_c > 1000 \text{ A/m}$) und weichmagnetische Werkstoffe ($H_c < 1000 \text{ A/m}$).

So mikromagnetisches Verfahren basiert auf der Gefügebestimmung durch die Koerzitivfeldstärke und die Remanenzmagnetisierung.

Vorteil:

- die Reaktionszeit;
- die leistbare Prüftechnik;
- die Einfachheit des Meßvorgangs.

Nachteil:

- Gefügeanalyse kann man nur auf der Oberfläche des Werkstoffs durchführen [10].

5.3 Ultraschallverfahren

In den letzten Jahren haben akustische Methoden zur zerstörungsfreien Riss- und Gefügeprüfung eine immer stärkere Bedeutung erfahren, da sie sich kostengünstig und mit geringem Aufwand in eine Serienfertigung integrieren lassen.

Auch hat die Ultraschallprüfung folgende Vorteile:

- Oberflächen-, oberflächennahe und Volumenfehler sind nachweisbar.
- Die Eindringtiefe für den Fehlernachweis ist deutlich größer als bei allen anderen ZfP-Verfahren.
- Einseitiger Zugang zum Prüfgegenstand reicht bei Einschallung in Impuls-Echo-Technik.
- Die Lage von Fehlern lässt sich sehr genau ermitteln.
- Fehlergröße und -orientierung sind hinreichend genau abschätzbar.
- Im Vergleich zu anderen Prüfverfahren ist die Anforderung an die Prüfflächenqualität gering.
- Moderne Ausrüstung liefert sofort Prüfergebnisse.
- Prüfung und Bewertung lassen sich relativ einfach automatisieren.
- Neben dem Fehlernachweis gibt es weitere Anwendungen wie Waddickenmessung.

Wie alle ZfP-Verfahren ist auch die Ultraschallprüfung eingeschränkt:

- Die Ausbildung des Personals für eine effektive Anwendung ist deutlich aufwendiger als für andere ZfP-Verfahren.
- Die Oberfläche muss zum Einleiten des Ultraschalls ggf. vorbereitet werden.
- Üblicherweise wird ein flüssiges Koppelmittel zur Schalleinleitung benötigt.
- Prüfgegenstände mit sehr rauen Oberflächen, mit sehr inhomogenem oder sehr grobkörnigem Gefüge können nur eingeschränkt geprüft werden.
- Sehr dünnwandige oder komplex geformte Prüfgegenstände sind nur schwer prüfbar.
- Von Fehlern, die kleiner als die halbe Wellenlänge sind, gibt es keine gerichteten Reflexionen, sondern nur schwache Beugungsanzeigen.

Zur zerstörungsfreien Untersuchung des Gefügezustandes hat sich die Methode der Ultraschall(US)-Rückstreuung als äußerst brauchbar erwiesen. Die Empfindlichkeit des Ultraschalls bzgl. der Mikrostruktur eines Werkstoffs resultiert aus der im MHz-Bereich mit den Abmessungen der das Gefüge aufbauenden Körner vergleichbaren Wellenlänge des Ultraschalls. Die Messung der US-Rückstreuung sowohl qualitativ zur Homogenitätsbeurteilung als auch quantitativ zur Bestimmung der Korngröße von Werkstoffen mit guter Genauigkeit im Bereich genutzt werden kann [13].

Ist es möglich, mit hoher Genauigkeit die Korngröße zu ermitteln, insbesondere die effektive Korngröße, die praktisch die mechanischen Eigenschaften bestimmt, und zwar auf der Basis des ermittelten Schwächungskoeffizienten für die Ultraschallwellen in Stahl.