

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

Школа Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности (ИШНКБ)

Направление подготовки 15.04.01 Машиностроение

Отделение школы (НОЦ) Отделение электронной инженерии

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Технология сварки нефтегазопроводов из двухслойных сталей

УДК 621.791.75.042.4:622.692.4.073.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ91	Саидов Фирдавс Бобишович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Першина А.А	к.т.н		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гасанов М.А	д.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Федорчук Ю.М	д.т.н.		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Наталинова Н.М	к.т.н		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Киселев А.С	к.т.н		

Томск – 2021г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код компетенции СУОС	Наименование компетенции СУОС
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
К(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
К(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способностью формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки
ОПК(У)-2	Способностью применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
ОПК(У)-3	Способностью использовать иностранный язык в профессиональной сфере
ОПК(У)-4	Способностью осуществлять экспертизу технической документации
ОПК(У)-5	Способностью организовывать работу коллективов исполнителей, принимать исполнительские решения в условиях спектра мнений, определять порядок выполнения работ, организовывать в подразделении работы по совершенствованию, модернизации, унификации выпускаемых изделий, и их элементов, по разработке проектов стандартов и сертификатов, обеспечивать адаптацию современных версий систем управления качеством к конкретным условиям производства на основе международных стандартов
ОПК(У)-6	Способностью к работе в многонациональных коллективах, в том числе при работе над междисциплинарными и инновационными
ОПК(У)-7	Способностью обеспечивать защиту и оценку стоимости объектов интеллектуальной деятельности
ОПК(У)-8	Способностью проводить маркетинговые исследования и подготавливать бизнес-планы выпуска и реализации перспективных и конкурентоспособных изделий в области машиностроения
ОПК(У)-9	Способностью обеспечивать управление программами освоения новой продукции и технологий, проводить оценку производственных и непроизводственных затрат на обеспечение требуемого качества продукции, анализировать результаты деятельности производственных подразделений
ОПК(У)-10	Способностью организовывать работу по повышению научно-технических

	знаний работников
ОПК(У)-11	Способностью подготавливать отзывы и заключения на проекты стандартов, рационализаторские предложения и изобретения в области машиностроения
ОПК(У)-12	Способностью подготавливать научно-технические отчеты, обзоры, публикации по результатам выполненных исследований в области машиностроения
ОПК(У)-13	Способностью разрабатывать методические и нормативные документы, предложения и проводить мероприятия по реализации разработанных проектов и программ в области машиностроения
ОПК(У)-14	Способностью выбирать аналитические и численные методы при разработке математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов в машиностроении
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способностью разрабатывать технические задания на проектирование и изготовление машин, приводов, оборудования, систем и нестандартного оборудования и средств технологического оснащения, выбирать оборудование и технологическую оснастку
ПК(У)-2	Способностью разрабатывать нормы выработки и технологические нормативы на расход материалов, заготовок, топлива и электроэнергии в машиностроении
ПК(У)-3	Способностью оценивать технико-экономическую эффективность проектирования, исследования, изготовления машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов, принимать участие в создании системы менеджмента качества на предприятии
ПК(У)-8	Способностью организовать и проводить научные исследования, связанные с разработкой проектов и программ, проводить работы по стандартизации технических средств, систем, процессов оборудования и материалов
ПК(У)-9	Способностью разрабатывать физические и математические модели исследуемых машин, приводов, систем, процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере, разрабатывать методики и организовывать проведение экспериментов с анализом их результатов
ПК(У)-10	Способностью и готовностью использовать современные психолого-педагогические теории и методы в профессиональной деятельности

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

Школа **неразрушающего контроля и безопасности**

Направление подготовки **15.04.01 Машиностроение**

Отделение **электронной инженерии**

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ А.С. Киселев

(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
1ВМ91	Саидов Фирдавс Бобишович

Тема работы:

Технология сварки нефтегазопроводов из двухслойных сталей	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	22-75 с от 22.01.2021

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	<i>Объектом исследования являются стыковые соединения труб из низколегированных феррито-перлитных сталей 09Г2С, 20, 20кп, с наконечниками на торце трубы из нержавеющей стали типа 12Х18Н10Т. Сварка стыков труб велась разными электродами в неповоротном положении снизу-вверх.</i>										
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>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обзор литературы. 2. Постановка задачи исследования. 3. Материалы и методы исследования. 4. Результаты и обсуждение. 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 6. Социальная ответственность. 7. Заключение и выводы. 										
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">Раздел</th> <th style="width: 70%;">Консультант</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Основная часть магистерской диссертации</td> <td>Першина Анна Александровна</td> </tr> <tr> <td>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</td> <td>Гасанов Магеррам Али оглы</td> </tr> <tr> <td>Социальная ответственность</td> <td>Федорчук Юрий Митрофанович</td> </tr> <tr> <td>Часть магистерской диссертации на английском языке</td> <td>Марцева Татьяна Александровна</td> </tr> </tbody> </table>	Раздел	Консультант	Основная часть магистерской диссертации	Першина Анна Александровна	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Гасанов Магеррам Али оглы	Социальная ответственность	Федорчук Юрий Митрофанович	Часть магистерской диссертации на английском языке	Марцева Татьяна Александровна	
Раздел	Консультант										
Основная часть магистерской диссертации	Першина Анна Александровна										
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Гасанов Магеррам Али оглы										
Социальная ответственность	Федорчук Юрий Митрофанович										
Часть магистерской диссертации на английском языке	Марцева Татьяна Александровна										
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:											
<ol style="list-style-type: none"> 1. Применение двухслойных сталей 											
<ol style="list-style-type: none"> 2. Основные причины плохой свариваемости 											

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	30.01.2021
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ ИШНКБ	Першина Анна Александровна	к.т.н, доцент		30.01.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ91	Саидов Фирдавс Бобишоевич		30.01.2021

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

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности (ИШНКБ)
 Направление подготовки (специальность) 15.04.01 «Машиностроение»
 Уровень образования магистратура
 Профиль «Машины и технологии сварочного производства»
 Отделение электронной инженерии
 Период выполнения (осенний / весенний семестр 2020 /2021 учебного года)

Форма представления работы:

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
04.02.2021	1 Литературный обзор	25
25.02.2021	2 Материалы, оборудование и методы исследования	5
29.03.2021	3 Экспериментальная часть	35
15.04.2021	4 Выводы	10
22.04.2021	5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
06.05.2021	6 Социальная ответственность	10
13.05.2021	7 Часть магистерской диссертации на английском языке	5

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ ИШНКБ	Першина А. А.	к.т.н, доцент		30.01.2021

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Киселев А.С	к.т.н.		30.01.2021

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

Студенту:

Группа	ФИО
1BM91	Саидов Фирдавс Бобишович

Школа	ИШНКБ	Отделение школы (НОЦ)	ОЭИ
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	15.04.01/Машиностроение

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): Материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость применяемого оборудования для проведения эксперимента, заработная плата с учетом районного коэффициента, стоимость электроэнергии
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды – 30.2%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала инженерного проекта (ИП)	1.1 Потенциальные потребители результатов исследования 1.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения 1.3 FAST - анализ 1.4. SWOT – анализ
2. 2. Разработка устава научно-технического проекта	2.1. Устав проекта 2.2. Организационная структура проекта
3. 3. Составление бюджета инженерного проекта (ИП)	3.1 План проекта (календарный план НТИ) 3.2 Бюджет проекта исследования (планируемые затраты на выполнения НТИ) 3.3 Организационная структура проекта (выбор организационной структуры научного проекта)
4. 4. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИП и потенциальных рисков	4.1 Оценка сравнительной эффективности исследования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<ol style="list-style-type: none"> 1. FAST - анализ 2. Матрица SWOT 3. Оценка готовности проекта к коммерциализации 4. Инициация проекта 5. Планирование управления проектом 6. График разработки и внедрения ИП 7. Инвестиционный план. Бюджет ИП 8. Основные показатели эффективности ИП
--

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гасанов Магеррам Али оглы	д.э.н.		26.02.21г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ91	Саидов Фирдавс Бобишович		26.02.21 г.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1ВМ91	Саидов Фирдавс Бобишович

ШКОЛА	ИШНКБ	Отделение	
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	15.04.01 «Машиностроение»

Тема дипломной работы: «Технология сварки нефтегазопроводов из двухслойных сталей»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Разработка и исследование системы управления сбалансированным манипулятором</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов <ul style="list-style-type: none"> – Природа воздействия – Действие на организм человека – Нормы воздействия и нормативные документы (для вредных факторов) – СИЗ коллективные и индивидуальные 1.2. Анализ выявленных опасных факторов: <ul style="list-style-type: none"> – Термические источники опасности – Электробезопасность – Пожаробезопасности 	<i>Вредные факторы: Недостаточная освещенность; Нарушения микроклимата, оптимальные и допустимые параметры; Шум, ПДУ, СКЗ, СИЗ; Повышенный уровень электромагнитного излучения, ПДУ, СКЗ, СИЗ; Наличие токсикантов, ПДК, класс опасности, СКЗ, СИЗ; Радиоактивность, ПДД, критические органы, СКЗ, СИЗ; Лазерное излучение, классы лазеров, СКЗ, СИЗ. Опасные факторы: Электроопасность; класс электроопасности помещения, безопасные номиналы I, U, Rзаземления, СКЗ, СИЗ; Проведен расчет освещения рабочего места; представлен рисунок размещения светильников на потолке с размерами в системе СИ; Пожароопасность, категория пожароопасности помещения, марки огнетушителей, их назначение и ограничение применения; Приведена схема эвакуации</i>
2. Экологическая безопасность: <ul style="list-style-type: none"> – Выбросы в окружающую среду – Решения по обеспечению экологической безопасности разработать решения по обеспечению экологической безопасности 	<i>Наличие промышленных отходов (бумагачерновики, вторцвет- и чермет, пластмасса, перегоревшие люминесцентные лампы, оргтехника, обрезки монтажных проводов, бракованная строительная продукция) и способы их утилизации;</i>
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: 1.Перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; 2.Разработка превентивных мер по предупреждению	<i>Рассмотрены 2 ситуации ЧС: 1) природная – сильные морозы зимой, (аварии на электро-, тепло-коммуникациях, водоканале, транспорте); 2) техногенная – несанкционированное</i>

ЧС; 3.Разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий	<i>проникновение посторонних на рабочее место (возможны проявления вандализма, диверсии, промышленного шпионажа), представлены мероприятия по обеспечению устойчивой работы производства в том и другом случае.</i>
4. Перечень нормативно-технической документации	– ГОСТы, СанПиНы, СНиПы

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	26.02.21 г.
---	-------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Федорчук Ю.М.	д.т.н.		26.02.21 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ91	Саидов Фирдавс Бобишович		26.02.21 г.

Реферат

Выпускная квалификационная работа 197 страниц, 23 рисунка, 36 таблиц, 67 использованных источников, 4 приложения.

Ключевые слова: низколегированные феррито-перлитные-аустенитные стали, нержавеющая сталь, кольцевая вставка, визуально-измерительный контроль, рентгенографический контроль, механические и статические испытания на растяжение и изгиб, микротвердость.

Объектом исследования являются стыковые соединения труб из низколегированных феррито-перлитных сталей 09Г2С, 20, 20кТ, с наконечниками на торце трубы из нержавеющей стали типа 12Х18Н10Т. Сварка стыков труб велась разными электродами в неповоротном положении снизу-вверх.

Целью совместной работы ООО «Инженерно-производственного центра» и Томского политехнического университета является разработка технологии сборки и сварки промышленных трубопроводов из двухслойных сталей: феррито-перлитная и аустенитная.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- сделан анализ литературы по исследуемому вопросу и осуществлена постановка задачи исследования;
- полученные сварные соединения контролировались визуально-измерительным и рентгенографическим методами;
- проводились механические и статические испытаниями на растяжение и изгиб;
- изучены графики микротвердости;
- проведен анализ полученных результатов и даны рекомендации по дальнейшему исследованию.

Термины, определения и сокращения

Кольцевая вставка (наконечник) – кольцо из нержавеющей стали, выполненное путем вальцевания полосы до требуемого диаметра, и устанавливаемое внутрь трубы без зазора.

Смещение внутреннего слоя – увод кромки кольцевой вставки внутрь трубы в результате деформации нержавеющей стали от термического цикла сварки.

ВИК – визуально-измерительный контроль

РК– рентгенографический контроль

ДНО – дефектов не обнаружено

ЗТВ – зона термического влияния

ОШЗ – околошовная зона

ОМ – основной металл трубы

Нормативные ссылки

ГОСТ 32678-2014. Трубы стальные бесшовные и сварные холоднодеформированные общего назначения.

ТУ 14-3Р-91-2004. Трубы стальные бесшовные горячедеформированные нефтепроводные повышенной стойкости против локальной коррозии и хладостойкие для месторождений ОАО "Сургутнефтегаз".

ГОСТ 1050-2013 Металлопродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей. Общие технические условия.

ГОСТ 19281-2014 Прокат повышенной прочности. Общие технические условия.

ГОСТ 5582-75. Прокат тонколистовой коррозионно-стойкий, жаростойкий, жаропрочный. Технические условия.

ГОСТ 5632-2014. Легированные нержавеющие стали и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки.

ГОСТ 2601-84 Сварка металлов. Термины и определения основных понятий.

ГОСТ 6996-66 Сварные соединения. Методы определения механических свойств.

ГОСТ 9466-75 Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки сталей и наплавки. Классификация и общие технические требования.

ГОСТ 10052-75 Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки

высоколегированных сталей с особыми свойствами. Типы.

ГОСТ Р ИСО 2560-2009 (ИСО 2560:2009) Материалы сварочные. Электроды покрытые для ручной дуговой сварки нелегированных и мелкозернистых сталей. Классификация.

РД 26-17-049-85 Организация хранения, подготовки и контроля сварочных материалов.

ГОСТ 16037-80 Сварные соединения сварных трубопроводов. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.

ОСТ 26.260.480-2003 Сосуды и аппараты из двухслойных сталей. Сварка и наплавка.

Изменение N 8 СТП 26.260.486-2005 Каталог аналогов импортных и отечественных основных и сварочных материалов, применяемых при изготовлении сосудов, аппаратов и трубопроводов, подведомственных Ростехнадзору.

СТО 00220368-011-2007. Сварка разнородных соединений сосудов, аппаратов и трубопроводов из углеродистых, низколегированных, теплоустойчивых, высоколегированных сталей и сплавов на железоникелевой и никелевой основах.

РД 03-606-03. Инструкция по визуальному и измерительному контролю.

ГОСТ 7512-82. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод.

Оглавление

Введение	18
1 Обзор литературы.....	20
1.1 Трубопроводы	20
1.2 Надежность сварных трубопроводов	22
1.3. Материалы трубопроводов.	25
1.4 Применение высокопрочных сталей	26
1.5 Прочность магистральных трубопроводов с критическими повреждениями	29
1.6 Двуслойные стали	34
1.7 Технология сварки двухслойных (плакированных) сталей	36
1.7.1 Способы сварки	36
1.7.2 Ручная сварка основного и плакирующего слоёв.....	36
1.7.3 Ручная сварка плакирующего слоя и автоматическая сварка основного слоя (комбинированный способ сварки).....	39
1.7.4 Автоматическая сварка основного и плакирующего слоев двухслойных сталей	41
1.8 Механические свойства двухслойной стали.....	43
1.9 Основные причины плохой свариваемости	48
1.10 Формирование структуры металла шва	49
1.11 Образование кристаллизационной прослойки.....	51
1.12 Образование диффузионных прослоек при сварке, термообработке высокотемпературной эксплуатации.	53
2 Материалы и методы исследования	56
3 Расчеты и аналитика	61
3.1. Пооперационный и визуально-измерительный контроль.....	61
3.2 Рентгенографический контроль.....	65
3.3 Механические статические испытания	68
3.4 Испытание сварных соединений на стойкость к питтинговую коррозию	75
3.4 Измерения микротвёрдости	76
4 Результаты проведенного исследования.....	80

5	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	81
5.1	Предпроектный анализ	81
5.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования	81
5.1.2	Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	82
5.2	Быстрый анализ	83
5.2.1	Определение значимости выполняемых функций объектом	85
5.2.2	Определение значимости функций	87
5.2.3	Анализ стоимости функций, выполняемых объектом исследования ..	89
5.2.4	Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ	91
5.2.5	Оптимизация функций, выполняемых объектом	91
5.3	SWOT – анализ	92
5.4	Оценка готовности проекта к коммерциализации	94
5.5	Методы коммерциализации результатов научно технического исследования	96
5.6	Инициация проекта	97
5.7	Планирование управления проектом	99
5.7.1	Структура работ в рамках научного исследования	99
5.7.2	Определение трудоемкости выполнения работ	100
5.7.3	Разработка графика проведения научного исследования	102
5.8	Бюджет научного исследования. Затраты на материалы и эксперименты	106
5.9	Расчет фонда заработной платы	107
5.10	Определение ресурсной финансовой и бюджетной эффективности исследования	111
5.10.1	Оценка сравнительной эффективности проекта	111
6	Социальная ответственность	115
6.1	Производственная безопасность	115
6.1.1	Отклонение показателей микроклимата в помещении	115
6.1.2	Превышение уровней шума	117
6.1.3	Повышенный уровень электромагнитных излучений	118

6.1.4 Поражение электрическим током	119
6.2 Освещенность	121
6.3 Пожарная опасность.....	124
6.4. Экологическая безопасность	127
6.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	128
Список литературы:	130
Приложение А	137
Приложение Б.....	148
Приложение В	154
Приложение Г.....	183

Введение

Одна из наиболее значимых проблем при проектировании трубопроводов, это выход их из строя в следствии коррозии стен нефте- газопроводов. Защита стальных изделий и конструкций, газо- и нефтепровода от коррозионного разрушения в настоящее время приобретает особую актуальность.

Для защиты внутренней поверхности труб в промышленности предлагается наносить коррозионностойкие эмалевые покрытия. При сборке и сварке таких труб в зоне воздействия теплоты электрической дуги происходит выгорание таких покрытий. Сварное соединение остается без защиты от агрессивного воздействия транспортируемой среды и разрушается в результате коррозионных процессов.

В этой связи возникает необходимость изучить наиболее эффективную технологию для трубопроводов. В отличие от углеродистой и низколегированной стали, коррозионно-стойкая сталь обладает высоким удельным сопротивлением и значительно деформируется при сварке. К тому же при смешивании низколегированной и высоколегированной сталей происходит формирование переходных прослоек, обладающих высокой твердостью и хрупкостью.

Для устранения перечисленных проблем требуется специальная технология сборки и сварки предлагаемой конструкции.

На сегодняшний день технология сварки двуслойных сталей, является важной так, как идет постоянное развитие газо- нефте трубопроводов и возможность правильной сборки и сварки обеспечит качественные и безопасные строение магистралей трубопроводов

Целью данной работы является разработка технологии сборки и сварки трубопроводов из двухслойной стали.

Задачи:

1. Провести анализ литературы и постановка цели, задачи.
2. Получить сварные соединения контролировать визуально-измерительным и рентгенографическим методами
3. Провести механические и статические испытаниями на растяжение и изгиб.
4. Провести анализ полученных результатов и даны рекомендации по дальнейшему исследованию.

1 Обзор литературы

1.1 Трубопроводы

В современном мире при добыче и транспортировке нефти и газа трубопроводы имеют очень значимую роль, так же данный тип конструкций используется и в многих других промышленных отраслях. Так же они подвержены огромному фактору риска при их поломка может сопровождаться значительным экологическим ущербом (многие трубопроводы используют для транспортировки ядовитых, пожароопасных веществ и прочих вредных для природы и здоровья человека) именно за это они относятся к энергонапряженным категориям объектов [1].

Ввиду данного факта надежность трубопроводных конструкций является самым важным критерием при строительстве магистралей, но наряду с надежностью они должны выполнять и свои эксплуатационные свойства в течении своего работоспособного цикла.

И самая главная опасность при той же транспортировке нефти является влияние на экологию, при возникновении дефекта, нарушающего герметичность, что может выйти вплоть до экологической катастрофы.

Из этого можно сказать, что поломка фланцев профилей трубопровода, арматурных деталей влияет на «надежность» всей магистрали. В свою очередь больше всего вероятность возникновения дефекта в сварных швах, поэтому в процессе строительства каждый шов ответственной магистрали должен контролироваться.

Углубляясь в работоспособность и надежность трубопроводов нужно также изучать условия, где они будут размещены, так как в особенности труб с большим диаметром незначительные изменения в погодных условиях могут существенно повлиять на работоспособность, так как в течении всего жизненного цикла трубопроводы могут встретить на себе множество непогодных условий.

Рассмотрим следующую надежность – конструкционную, которая

подразумевает способность выполнять свою работу по назначению в течение определенного времени без влияния на окружающую природу. В плане конструкционной надежности трубопроводы должны соответствовать требованиям экологической безопасности, так как утрачивая работоспособность, удваивается влияние загрязнения экологической среды.

Качество, определяющее совокупность свойств работоспособности объекта является экологическая надёжность трубопроводов. Сама понятие экологической надежности подразумевает способность к сопротивлению как внешним радикальным нагрузкам, так и к внутренним, то есть герметичность при транспортировке не нарушается и не производятся ремонтные и технические работы.

На сегодняшний день исследование новых месторождений способствует повышению спроса на технологию сварки трубопроводов способных справиться с разнообразными климатами, арктические, болотистые места, глубокая Сибирь, и любой из этих климатов может меняться в зависимости от времени года, а трубопровод должен выдерживать эти условия, так же на трубы может оказываться внутреннее и внешнее давление.

На данном этапе производства трубопроводных магистралей мы не имеем четкого представления методики и технологии сборки и сварки эффективных трубопроводов. Систему расчета надежности трубопроводов еще предстоит высчитывать, как и возможные поправки и погрешности.

И несравненно значимым способом избежать поломок и неисправностей будет выбор материала для входящих деталей системы магистралей трубопроводов, которые будут предоставлять нам наибольшую эффективность.

Также не зависимо от аварийных ситуаций само строительство магистрального Разрушение грунта, ухудшение местного ландшафта, все это тоже плохо сказывается на окружении трубопровода имеет не последнее значение, при строительстве.

1.2 Надежность сварных трубопроводов

Давайте, для начала, сравним системы управления и методики строительства зарубежных стран и нашей

Одно из значимых отличий строительства трубопроводов за рубежом то вся система построена на организованности, техничности, собственно данный метод используют многие зарубежные страны, так как четкая система управления лежит в основе всей методики управления.

В нашем отечественном производстве все больший упор идет на приобретение новейших технологий. Вся наша система производства, на сегодняшний день работает по принципу вкусно пахнущего пирога «Сначала купим потом распробуем».

И прогресс не стоит на месте и по мере открытия новых технологий и машин для сварки как трубопроводов, так и изделий во всей промышленности, завод активно все скупают и пытаются адаптировать эту технологию под себя и посмотреть, как она работает. Ведь главная цель сейчас стоит не столько в качестве, сколько в скорости строительства, и вот тут у них идет борьба за технологию что удовлетворит как по качеству, так и по количеству, данным способом «пирога» пользуются в основном большие компании.

Например, строительство газопровода «Ямал-Европа» если пронаблюдать по сводкам из источников, то все больше стало использоваться полуавтоматическое и автоматических машин, создаются программы для автоматических машин, приспособление оснастки, что в свою очередь довольно затратное, но как говорилось выше развитие не стоит на месте и минимизация человеческого фактора будет давать свои плоды.

К настоящему моменту накоплен весьма большой опыт применения оборудования и материалов зарубежных фирм для полуавтоматической и автоматической сварки.

Так же в зарубежном трубопроводном строительстве используются следующие способы сварки стыков трубопроводов:

- ручная дуговая с применением электродов с целлюлозным и основным видами покрытия, для сварки корневого и последующих слоев шва;
- полуавтоматическая сварка самозащитной порошковой проволокой, с использованием специального комплекта оборудования, для сварки всех слоев шва, кроме корневого;
- полуавтоматическая сварка корневого слоя шва в среде защитных газов проволокой сплошного сечения, с использованием источников питания сварочной дуги специального назначения;
- полуавтоматическая сварка неповоротных стыков в среде защитных газов сплошной электродной проволокой;
- механизированная и автоматическая сварка под слоем флюса проволокой сплошного сечения поворотных стыков труб на трубосварочных базах;
- односторонняя автоматическая сварка порошковой проволокой в среде защитных газов с помощью специальных сварочных головок;
- двусторонняя автоматическая сварка проволокой сплошного сечения в среде защитных газов;
- односторонняя автоматическая сварка в среде защитных газов с помощью специальных головок;
- односторонняя автоматическая сварка проволокой сплошного сечения в среде защитных газов с использованием при сварке корневого слоя технологических подкладок.

Большинство приведенных выше способов и процессов нашли применение в составе комбинированных вариантов сварки, а также при сварке всех слоев шва одним способом.

Изоляционные работы. В настоящее время при строительстве и внесении в эксплуатацию магистральных нефтегазопроводов за рубежом, применяются преимущественно стальные трубы с заводским антикоррозионным покрытием.

При этом в качестве заводских покрытий труб могут использоваться следующие типы защитных покрытий:

- заводские эпоксидные покрытия;
- заводские полиэтиленовые покрытия;
- заводские полипропиленовые покрытия.

Данные типы покрытий соответствуют самым современным техническим требованиям и обеспечивают наиболее эффективную защиту трубопроводов от коррозии.

Получившие широкое применение в США, Канаде, Великобритании и ряде других стран тонкопленочные (350—500) мкм заводские эпоксидные покрытия труб отличаются высокими защитными и эксплуатационными характеристиками, повышенной теплостойкостью до (100—110) °С, но при этом имеют недостаточно высокую ударную прочность, в особенности при отрицательных температурах окружающей среды, это в значительной степени ограничивает область их применения.

Заводские полипропиленовые покрытия труб характеризуются высокой теплостойкостью, повышенной стойкостью к продавливанию, истиранию, абразивному износу и в основном предназначены для строительства трубопроводов, строящихся по методам «закрытой» прокладки (проколы, «микротоннелирование», наклонно-направленное бурение). А также, данный тип покрытия рекомендуется к применению при строительстве подводных переходов, морских и шельфовых трубопроводов и для строительства трубопроводов с температурой эксплуатации (80-110) °С.

Сейчас на строящихся нефтегазопроводах в качестве защиты от коррозии используют двуслойные и трехслойные покрытия, состоящие из полиэтилена, что, как показывают данные улучшает защиту от коррозии при рабочих температурах до + 60 °С

Помимо стальных труб, при строительстве магистральных нефтепроводов применяются: запорная арматура, фасонные соединительные детали трубопроводов, кривые «горячего» и «холодного» гнутья. Требования к их

надежности и долговечности должны соответствовать требованиям, предъявляемым к стальным трубам. Из этого можно сделать вывод, что уровень противокоррозионной защиты перечисленных элементов трубопроводов, должен быть сопоставим с уровнем противокоррозионной защиты стальных труб [13].

1.3. Материалы трубопроводов.

В зависимости от условий использования магистрального трубопровода выбирают материалы, из которых трубопровод будет построен, и самым важным являются погодные условия, так как не все стали могут выдержать перепады температур или наоборот температуры максимума и минимума в основном трубы делают из чугуна или стали, но также может быть и применение металлопластика которые делятся на поливинилхлоридные (ПВХ), полиэтиленовые (ПЭ), полипропиленовые и прочие.

Кроме этого, можно встретить системы из бетона, асбестоцемента, керамики, стекла.

Но сталь является все же фаворитом при проектировании трубопроводов, ведь сложности сварки почти нет, так же они надежны, прочны и выгодны в плане покупки и использования, такая труба (при правильной технологии и подобранной марки) прослужит хороший срок

По методу производства все трубы для магистральных конструкций принято разделять на [3]:

1. Не имеющие шва.
2. Имеющие продольный шов.
3. Имеющие спиральный шов.

Труба магистральная бесшовная применяется в конструкциях с диаметром до 529 мм. Сварные трубы используют с диаметром 219 мм и выше. Длина выпускаемых труб, как правило, колеблется от 10,5 до 11,6 м. Диаметр

наружной поверхности и показатели толщины стенок труб подчиняются определённым стандартам.

Помимо этого, все трубы для трубопроводов подразделяют по климату, в котором они применяются на:

1. Обычные.
2. Северные.

Обычные трубы используются при строительстве конструкций в средних и южных широтах, а северные – в холодных климатических условиях. Рабочая температура для первой группы труб – 0 °С и выше. Для северных труб эксплуатационная температура – от минус 20 °С до минус 40 °С.

Сталь, которая используется для трубопроводных элементов, подвергается разным вариантам обработки и является, как правило, низколегированной.

В данной диссертационной работе мы будем рассматривать применение высокопрочных сталей.

1.4 Применение высокопрочных сталей

Для понимания вопросов и задач, связанных со сваркой высокопрочных нефтепроводных сталей, подробно рассмотрены требования к химическому составу и механическим свойствам этих материалов. Можно сделать вывод, что микроструктура и легирование некоторых новейших марок высокопрочных трубопроводных сталей - X70, X80, X90, X100 и X120 позволяют увеличить размер и пропускную способность труб по сравнению с более ранними марками - X42, X46, X52, X56, X60 и X65.

Рассмотрены исследования по исследованию разрушения труб и обобщены причины их разрушения. Это помогает выявить проблемы, которые должны быть решены заранее, для применения сварной конструкции. В рамках данной обзорной статьи [14], была предпринята попытка критически проанализировать и обсудить вопросы и проблемы, связанные со

свариваемостью высокопрочных трубопроводных материалов. Важнейшими проблемами при сварке трубопроводов являются: коррозия, водородное охрупчивание, остаточные напряжения, ремонт сварного шва и ухудшение зоны термического воздействия, которые отрицательно влияют на эксплуатационные характеристики сварной конструкции.

При подготовке сварочных конструкций сварщик должен учитывать серьезность негативных последствий всех этих проблем для предполагаемого срока службы. Для этой цели представлено базовое понимание каждой проблемы и их роль в ухудшении качества сварного шва. Кроме того, серьезность их влияния на характеристики сварной конструкции критически обсуждается в отношении параметров сварки и микроструктуры материала. Различные типы коррозии, водородного охрупчивания, а также их благоприятные условия и методы предотвращения.

Исследования, касающиеся коррозии сварного шва, водородного охрупчивания сварных конструкций и остаточных напряжений при сварке, сосредоточены в основном для марок стали для трубопроводов X65, X70 и X80.

Остаточные напряжения могут увеличить скорость разрушения или разрушения сварной конструкции; это следует дополнительно изучить для используемых в настоящее время марок, таких как X65, X70 и X80, а также для сверхвысоких марок прочности. Состояние исследований ЗТВ находится в соответствии с текущими потребностями. Он исследуется для большинства марок в связи с различными процессами сварки.

Кроме того, обсуждаются и обобщаются текущие тенденции развития с целью определения будущих направлений. Тенденции развития в области сварки трубопроводов разделены на категории и для каждой категории представлено текущее состояние исследований. Эти категории и их дальнейшее разделение осуществляется следующим образом:

Распределение остаточных напряжений при сварке представляет собой сложное явление, которое изменяется от процесса к процессу из-за условий нагрева и удержания сварки. Поэтому измерение и прогнозирование

распределения остаточных напряжений в сварной конструкции необходимо дополнительно исследовать для каждого материала в зависимости от различных процессов сварки.

Присущая гибридным методам сварки универсальность должна быть полностью исследована для сварки трубопроводных сталей, но одновременно с этим необходимо решить сложные вопросы, связанные с оборудованием и процедурой сварки гибридных сварочных процессов.

Развитие новых материалов и сварочных процессов порождает развитие сварочных расходных материалов. Сварочные материалы для сварки двух разнородных марок Трубной стали и сверхвысокопрочных материалов должны быть разработаны и оценены в полной мере на благо отрасли. Это также поможет в использовании ремонта сварных швов вместо замены компонентов.

Распределение остаточных напряжений при сварке представляет собой сложное явление, которое изменяется от процесса к процессу из-за условий нагрева и удержания сварки. Поэтому измерение и прогнозирование распределения остаточных напряжений в сварной конструкции необходимо дополнительно исследовать для каждого материала в зависимости от различных процессов сварки.

Поскольку полное предотвращение возникновения сварочного дефекта неизбежно, поэтому необходимы постоянные усилия, чтобы избежать выхода сварочных дефектов. Предлагаемые подходы для этой цели нуждаются в дальнейшей проверке для передовых марок, а также для гибридных сварочных процессов.

Оценка восприимчивости водорода к охрупчиванию до сих пор проводится с использованием традиционных методов, которые требуют больших затрат времени. Разработка некоторых новых методов моделирования может помочь получить представление о восприимчивости материала к водородному охрупчиванию.

Современное развитие методов оценки коррозионной восприимчивости сварных швов труб требует все больших усилий исследователей.

1.5 Прочность магистральных трубопроводов с критическими повреждениями

Высокое внутреннее давление в сочетании с внешней нагрузкой (изгиб-растяжение) и агрессивной средой, а также потенциальным наличием локальных повреждений делает оценку прочности и структурной целостности магистральных трубопроводов.

Снижение пластичности и увеличение предела текучести из-за старения; уменьшение операции температуры; остаточные растягивающие напряжения, действующие во внутренней части трубы на вершине обжима во время формирования пластикового обжима; и оцениваются остаточные растягивающие напряжения, вызванные сваркой. Учет влияния этих повреждающих факторов позволяет оценить снижение несущей способности поврежденных трубопроводов. Угроза возникновения повреждений в виде обжимов либо игнорируется, либо принимается во внимание только частично существующими процедурами анализа прочности трубопровода.

Обеспечение прочности и структурной целостности магистральных трубопроводов (МТ) является одной из критических проблем в процесс добычи, транспортировки и переработки углеводородов. В конце XX-го и начала XXI века, эта проблема стала критической для обеспечения не только промышленной и энергетической безопасности, но и для национальной безопасности в России и других странах-производителях и транспортировщиках нефти / газа.

Высокое внутреннее давление в сочетании с внешней нагрузкой и агрессивной средой, наряду с потенциальным присутствием локальных повреждений делают оценку прочности.

Целостность магистральных трубопроводов - сложная задача. Значительное количество аварий на МТ вызвано либо нарушением технологии строительства трубопровода, либо операции или путем несанкционированного

врезания ответвлений, которые связаны с большими пластическими деформациями и существенными изменениями геометрии трубопровода.

Различные локальные повреждения магистрального трубопровода, приводящие к резкому снижению их прочности и срока службы. Потенциально опасными с точки зрения образования обжима являются нагретые и закрепленные зоны трубопроводов, арки, зоны всплытия. Например, на северных газопроводах Российской Федерации можно наблюдать арки длиной (80-150) метров, прогибы длиной до 500 метров, всплывающие участки длиной до 10000 метров.

Формирование обжима может происходить в процессе изготовления и транспортировки компонентов МТ или во время строительства, эксплуатации, технического обслуживания и ремонта МТ. Размер обжима можно сравнить с толщиной стенки трубопровода и его диаметром. Симметричные и асимметричные обжимы, расположенные в зонах сварных соединений, а также комбинации обжимов и сварных соединений представляют собой особую угрозу, поскольку они изменяют геометрическую форму трубопровода и механические свойства его материала и могут вызвать разрушение трубопровода. Высота h , внешний радиус R_{ex} , внутренний радиус R_{in} , разница между ними $\Delta R = R_{ex} - R_{in}$ и отверстие сгиба l являются основными геометрическими характеристиками обжима (рис. 1). В действующих трубопроводах характеристика обжима l / h относительно постоянна и зависит от отношения δ / R_0 (где R_0 - внутренний радиус трубопровода, δ - толщина стенки) и степени развития обжима $\Delta R / R_0$. Максимальное (статистическое) значение при продолжении разрушения трубопроводов находится в диапазоне (2,5-4). Это значение мало зависит от диаметра трубопровода $D_0 = 2R_0$. Обжим на прямой или упруго изогнутой части трубопровода может происходить в местах ограничения или в зонах неоднородности физико-механических свойств материала трубы. Круглое сварное соединение также является зоной такой неоднородности. Усиленный сварной шов имеет более высокую жесткость и

обычно (если он не содержит макродефектов) оказывается прочнее основного металла [5].

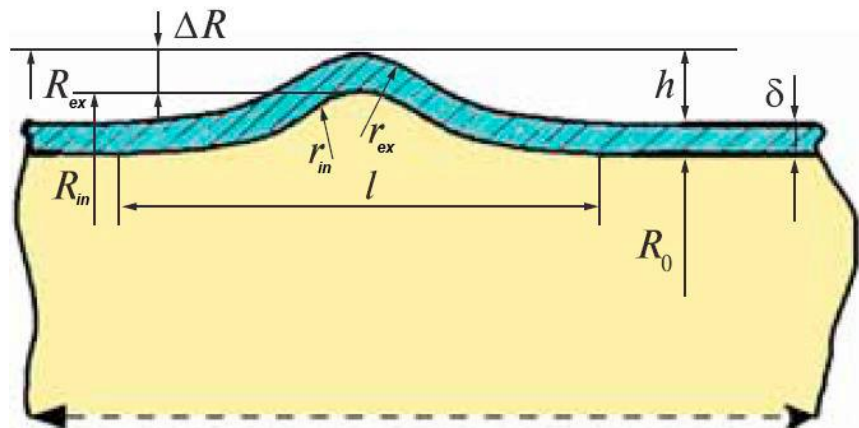


Рисунок 1 – Геометрические характеристики обжимов [5]

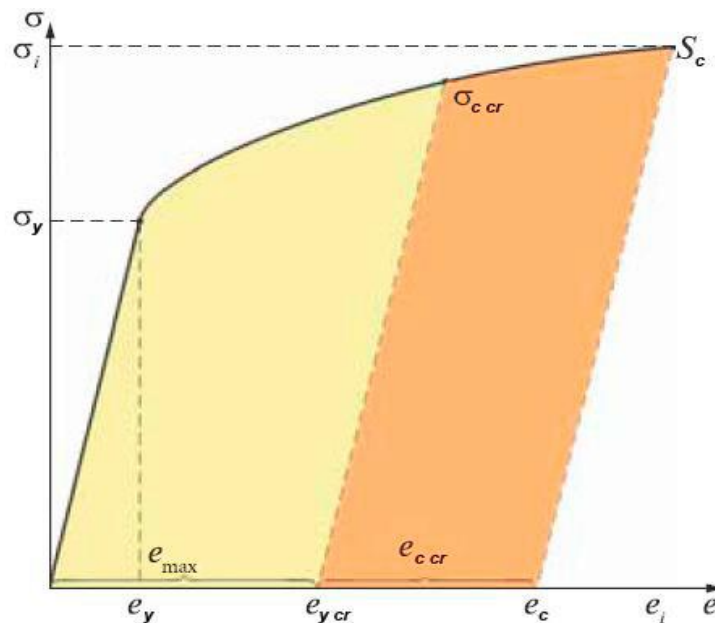


Рисунок 2 – Кривая деформации в истинных координатах и ее параметры [5]

Формирование обжима возможно и в изогнутых сегментах. Геометрическая нелинейность формы трубы, номинальные и локальные пластические деформации стенки, и остаточные напряжения появляются после холодного изгиба. Сочетание этих факторов, а также локальные повреждения, которые могут возникнуть во время изготовления, строительства или эксплуатации, могут привести к образованию обжима в этой части трубы. Симметричный круговой обжим – сравнительно позднее явление. Его формирование обычно вызвано падением температуры и осевым сжатием,

которое может быть результатом ограничения трубопровода. В этом случае основное перемещение трубопровода происходит только вдоль его оси. Широко распространенный полукруглый обжим образуется за счет совместного действия продольных сил и изгибающих моментов с возможностью смещения трубопровода в плоскости и вне плоскости.

Дальнейшее развитие деформации происходит в самых слабых зонах, происходит формирование асимметричных извилин. По внутреннему радиальному изгибу проявляется обжим

Так же под воздействием таких видов нагрузок как: статические и циклические, происходит разрушение магистрали трубопровода в зонах опрессовки.

Стенка трубы в зоне обжима подвергается значительным локальным пластическим деформациям под действием всех силовых факторов, что приводит к изменению физико-механических свойств металла трубы, которыми обычно пренебрегают в традиционных оценка прочности трубопровода.

Локальные деформации ϵ_{\max} , которые измеряются экспериментально с использованием метода сеток и тензометрии, могут существенно превышать предельные упругие напряжения. Излом может произойти в верхней части обжима и в месте, где наклон обжима соединен с цилиндрической частью трубы.

Угроза образования обжима заключается в том, что при повышении внутреннего давления возникают напряжения в зоне обжима увеличиваться более интенсивно, чем напряжения в гладкой части трубопровода, или частично пластичный разрыв или полностью хрупкое становится возможным благодаря истощению пластичности в зоне обжима.

Рассмотренные выше изменения геометрии и механических свойств в зоне обжима в общем случае характеризуется процессами истощения предельной пластичности и увеличением предела локальной текучести в обжиме зона. Поскольку время службы трубопроводов с обжимами проходит, а рабочие температуры увеличивают влияние старение становится более

интенсивным, остаточная локальная пластичность металла в зонах обжима уменьшается.

Проведенные исследования на прочность доказали, что поврежденные обжимами трубопроводы диаметром свыше 720 и до 1020 мм возникают начальные трещины, и возникновение данного дефекта происходит в условиях низких напряжений.

Начальные трещины появляются и развиваются в круглом направлении в верхней части обжима на его внутренняя сторона (рис. 3а). Также возможно разрушение, вызванное обжатием при напряжениях, близких к пределу текучести или выше. В продольном направлении вдоль сварного соединения (рис. 3б), когда высота обжима относительно мала, и она расположена в зоне термического влияния сварного шва.

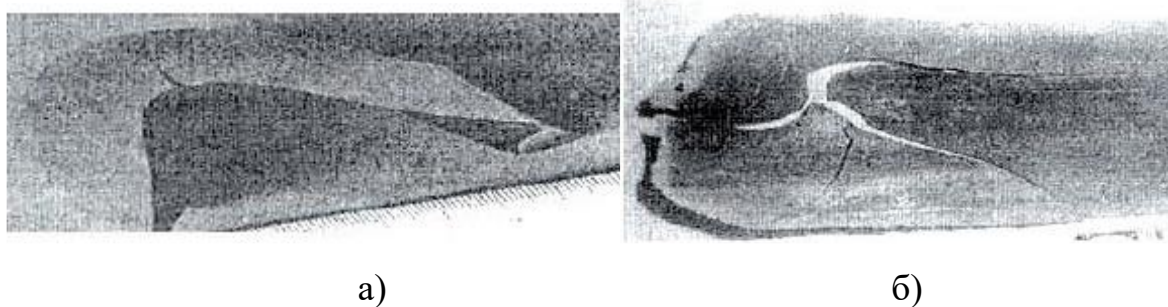


Рисунок 3 – Примеры разрушения трубопровода в зоне обжима (а) и (б) [5]

Обжимы, которые могут быть нанесены при строительстве, эксплуатации и ремонте трубопроводов, на 50 % снижают их статическую прочность, в основном из-за высокой концентрации напряжений и истощения пластичности. Учетная запись влияние этих повреждающих факторов позволяет оценить снижение несущей способности поврежденные трубопроводы. Угроза образования обжима следует считать еще более серьезной, если сокращение пластичность и увеличение предела текучести вследствие старения, снижения рабочей температуры, остаточного растягивающие напряжения, действующие во внутренней части трубы на вершине обжима во время формирования пластикового обжима и остаточные растягивающие напряжения, вызванные

сваркой, также принимаются во внимание. Цикличность загрузки (особенно для нефтепроводов)

Также важным фактором, способствующим повышению риска разрушения трубопроводов, поврежденных обжимами. К сожалению, снижение несущей и деформационной способности трубопроводов, поврежденных обжимами, либо игнорируется или только частично учтены в действующей нормативной и нормативной базе. Это требует широких усилий реализовано для заполнения пробела и разработки надежных процедур проектирования [5].

1.6 Двуслойные стали

Двуслойная сталь является уникальным материалом, который не только относится к классу биметаллов, что подразумевает включение конструкционной стали в основном слое и плакирующий слой который является коррозионностойким. Данные стали прекрасно сочетают в себе как необходимые механические свойства, так и обеспечивает нужную нам защиту от коррозии

Основными показателями качества двухслойного проката, определяющими его технологичность при изготовлении оборудования и эксплуатационные свойства изделия, являются сплошность и прочность соединения слоев, а также специальные свойства плакирующего слоя (коррозионная стойкость, износостойкость и др.). В настоящее время в России требования к листовым двухслойным сталям регламентируются ГОСТ 10885-85, ориентированном на биметалл, получаемый по схеме пакетной прокатки. Возрастающие потребности в высокопроизводительном оборудовании для нефтегазоперерабатывающих и химических производств, работающем в самых экстремальных условиях (высокие и низкие температуры, давление, действие агрессивных сред, циклические нагрузки), вызывают необходимость применения надежных биметаллов, обеспечивающих соблюдение требований.

Для обеспечения амортизационного срока службы достаточен слой коррозионностойкого материала толщиной в несколько миллиметров, а для обеспечения условий прочности нужна стенка значительной большей толщины.

Применение двухслойных металлов кроме экономии дефицитных металлов и сплавов даёт возможность получить такое сочетание нужных свойств, которого нельзя достичь при использовании какого-либо одного металла.

Наиболее широкое использование получили двухслойные стали с плакирующим слоем из аустенитных хромоникелевых сталей 08X18H10 и 12X18H10, стабилизированных титаном или ниобием, а также хромистой ферритной стали 08X13 и хромоникелевой стали с молибденом (10X17H13M2T).

Способность плакирующего слоя двухслойной стали противостоять коррозии в той или иной среде определяет области ее применения. Сталь 12X18H10T относится к сталям для применения в средах средней агрессивности. Сталь способна к сопротивлению с органическими кислотами и такого родам кислот как фосфорная, азотистая. к растворам многих солей и щелочей, морской воде, влажному воздуху; неустойчивы в соляной, серной, плавиковой, горячей фосфорной, кипящих органических кислотах. Сама по себе сталь достаточно хорошо выдерживает коррозия [30].

1.7 Технология сварки двухслойных (плакированных) сталей

1.7.1 Способы сварки

По степени механизации сварку продольных кольцевых швов аппаратов из двухслойных сталей выполняют следующими основными методами:

- 1) автоматической сваркой основного и плакирующего слоёв;
- 2) автоматической сваркой основного слоя и ручной сваркой разделительного и плакирующего (комбинированная сварка);
- 3) ручной сваркой основного и плакирующего слоёв [32].

1.7.2 Ручная сварка основного и плакирующего слоёв.

Метод ручной сварки двухслойных сталей является наиболее трудоёмким, но в то же время наиболее освоенным машиностроительными заводами.

Этот метод имеет своё преимущество особенно в условиях монтажа или при ремонтных работах. Ручная сварка допускает значительно менее точную обработку кромок под сварку. Поэтому обрабатывать кромки под сварку можно любыми имеющимися в наличии методами огневой или механической обработки, в том числе пневматическим зубилом и наждачным камнем. Практически ручной сваркой можно выполнить различные типы сварных соединений. Двухслойные стали можно сваривать или двусторонней ручной сваркой с предварительным наложением основного (малоуглеродистого) слоя и последующей подваркой со стороны плакирующего слоя, или односторонней сваркой как со стороны плакирующего слоя, так и со стороны основного слоя. Во всех случаях формы разделки могут быть различными. Поэтому единого стандартного метода сварки двухслойных сталей не существует.

Волгоградским научно-исследовательским институтом технологии машиностроения совместно с институтом электросварки им. Е.О. Патона

предложены два типа сварных соединений, выполняемых ручной сваркой с двусторонними и односторонними швами.

Разделку кромок выполняют со стороны основного слоя: при толщине листа от 8 до 20 мм с V-образной разделкой и с U-образной разделкой кромок для больших толщин.

Для обеих форм разделки кромок сварку выполняют в следующей последовательности:

- а) ручная многослойная сварка основного углеродистого слоя;
- б) вырубка корня основного шва со стороны плакировки до чистого металла;
- в) ручная сварка плакирующего слоя.

Ввиду различия составов и свойств металлов основного и плакирующего слоёв двухслойных сталей, сварку их выполняют соответственно разными присадочными материалами.

Таблица 1– Сварочные электроды для ручной сварки основного слоя двухслойных сталей

Марка стали основного слоя	Тип электрода	Примерные марки электродов
ВСт. 3, 10, 15К	Э42А или Э50А	ОММ-5, ЦМ-7, УОНИ-13/45 и им равноценные
20К	Э50А	УОНИ-13/55, УП1 и им равноценные
12МХ	ЭМХ	ГЛ-14, ЦЛ-2МХ, ЦЛ-14 и им равноценные

Таблица 2 – Сварочные электроды для ручной сварки плакирующего слоя двухслойных сталей

Марки сплава плакирующего слоя	Электроды		Марка электрода (покрытый)
	Тип электрода	Стержень электрода	
		Марка проволоки	
ЭИ496 или X18H10T	ЭА-2	ЭП-75 (Св-Х25Н12Т)	СЛ25
	ЭА-2	Эп-87 (Св-Х25Н12ТЮ)	СЛ25
	ЭА-2	Св-07Х25Н13	ГЛ10
	ЭА-2	Св-08Х20Н9Г7Т	СЛ16
	Для 1-го слоя		
	ЭА-2	ЭП-75 (Св-Х25Н12Т)	СЛ25
	ЭА-2	Эп-87 (Св-Х25Н12ТЮ)	СЛ25
	ЭА-2	Св-07Х25Н13	ГЛ10
X17H13M2T	Для 2-го слоя		
	ЭА1Б	Св-08Х19Н10Б	Л-38М
	ЭА1Б	Св-04Х19Н9	Л-40М
	Для 1-го слоя		
	ЭА-2	Св-07Х25Н13	КБ-3М
	Для 2-го слоя		
	ЭА-1М2	Св-04Х19ННМ3	ЭА-410/10
	ЭА-2	Св-07Х25Н13	КБ-3М
Для 2-го слоя			
ЭА-1М2Б	Св-04Х19ННМ3	НЖ-13(с легированием через покрытие)	

В таблице 2 указаны марки электродов в зависимости от предъявляемых требований к сварным соединениям по стойкости их к межкристаллитной коррозии. В тех случаях, когда по условиям конструкции сварка со стороны плакирующего слоя практически недоступна, например, для аппаратов малого диаметра, сварные соединения можно выполнять с односторонними швами.

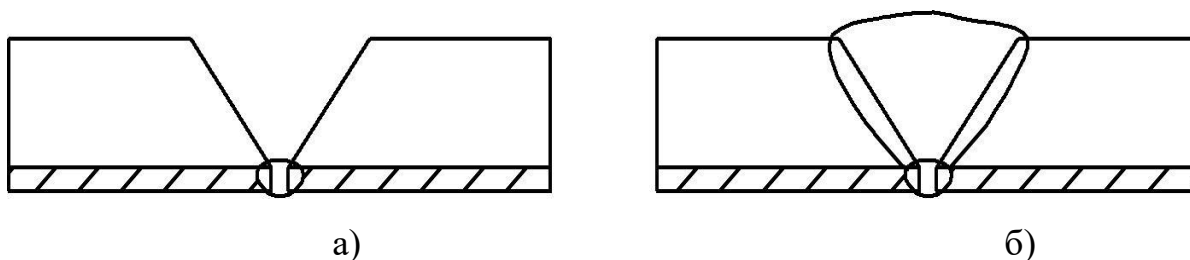


Рисунок 3 – Последовательность наложения швов при односторонней сварке

Последовательность наложения швов при односторонней сварке:

- а) ручная аргоно-дуговая плакирующего слоя;
- б) ручная многослойная сварка основного слоя.

Последовательность выполнения сварки приведена на рисунке 3, при этом:

а) ручная аргоно-дуговая сварка плакирующего слоя неплавящимся электродом без присадочной проволоки или, для менее ответственных конструкций, ручная электродуговая сварка аустенитными электродами $\varnothing 3$ мм в 1-2 прохода; для обеспечения полного провара желательна применение удаляющихся подкладных колец;

б) ручная многослойная сварка основного углеродистого слоя электродами [33].

1.7.3 Ручная сварка плакирующего слоя и автоматическая сварка основного слоя (комбинированный способ сварки)

Комбинированную сварку применяют в тех случаях, когда по конструктивным особенностям (недоступность автоматической сварки внутренних швов) или производственным условиям применения полной автоматической сварки плакирующего и основного слоев двухслойной стали затруднено. При этом способе сварки требуется более точная обработка кромок листов под сварку и их сборка.

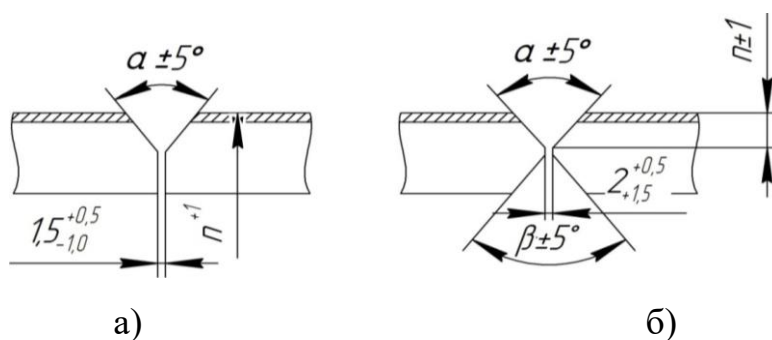


Рисунок 4 – Разделка кромок двухслойных листов толщиной до 20 мм при комбинированном способе сварки:

а - V образная; б- X образная.

Подготовку кромок в зависимости от толщины листов выполняют с V-образной (рис. 4, а) и с X-образную разделку (рис. 3, б). Для листов толщиной более 20 мм рекомендуют только X-образную разделку.

Сварку с V-образной разделкой выполняют в следующей последовательности (рис. 4а):

1) ручная дуговая сварка разделительного шва (шов 1) малоуглеродистыми электродами со стороны плакирующего слоя до уровня границы между плакирующим и основным слоем;

2) автоматическая сварка шва (шов 2) со стороны основного металла с расчетом надёжного проплавления разделительного шва.

3) ручная сварка плакирующего шва (шов 3).

Углеродистый разделительный шов служит для предотвращения проплавления легированного металла плакировки при последующей автоматической сварке основного слоя.

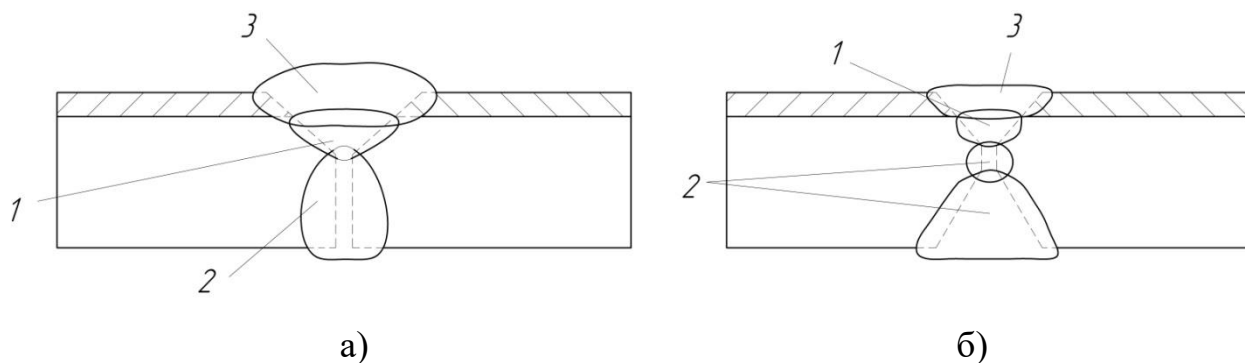


Рисунок 5 – Последовательность сварки листов двухслойных сталей

а) V - образная разделка кромок при комбинированном способе сварки, б)

X -образная разделка кромок при комбинированном способе сварки

При сварке разделительного шва особое внимание обращают на обеспечение необходимого провара и на заполнение разделки до уровня плакирующего слоя, так как тщательность выполнения этой операции оказывает решающее влияние на качество последующей автоматической сварки основного слоя. В случае недостаточной глубины проплавления разделительного шва возможен непровар соединения в целом после автоматической сварки. При недостаточном заполнении разделки возможны

прожоги разделительного шва в процессе автоматической сварки основного слоя. Кроме того, при сварке разделительного шва соблюдают особые меры предосторожности от проплавления и повреждения плакирующего слоя.

При сварке с X-образной разделкой желательно соблюдать следующую последовательность (рисунок 5б):

- 1) ручная сварка промежуточного шва (шов 1) со стороны плакирующего слоя;
- 2) автоматическая сварка основного слоя (шов 2) в несколько проходов в зависимости от толщины листа;
- 3) ручная сварка плакирующего шва (шов 3) [33].

1.7.4 Автоматическая сварка основного и плакирующего слоев двухслойных сталей

Автоматическая сварка - самый производительный и эффективный метод сварки.

Подготовка кромок свариваемых элементов аппаратов выполняется по форме и размерам, приведённым в таблице 3, путём удаления строжкой плакирующего слоя на глубину h и ширину a с углом скоса 15° . Величины h , a и угол скоса зависят от толщины проката. При этом глубина строжки h должна обеспечить полное удаление металла плакирующего слоя.

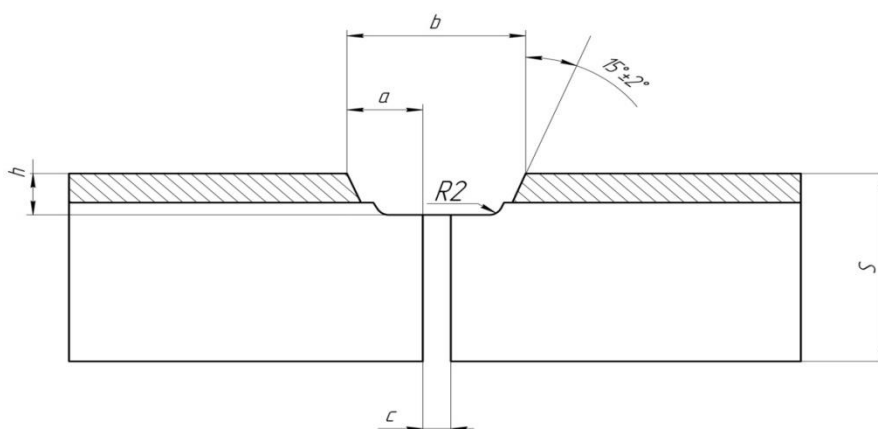


Рисунок 6 – Форма разделки кромок листов двухслойных сталей при автоматической сварке

В таблице 3 приведены размеры подготовки кромок для двух вариантов сварки.

Таблица 3 – Размеры элементов кромок при автоматической сварке

Варианты	Толщина проката, в мм	Элементы подготовки кромок в, мм			
		h	a	c	b
а) сварка в один проход	8	3±0,5	7+1	1-1,5	15-17,5
	10-14	3+1	7+1	1,5-2	15,5-18
	16-20	4±0,5	8±0,5	2-3	17-20
	22-26	5±0,5	8±0,5	3-4	18-21
	28-32	5±0,5	8+1	3-4	19-22
	34-40	6±0,5	8+1	4-5	20-23
б) сварка в два прохода	8	3+1	9±0,5	1-2	18-21
	10-14	4±0,5	9±0,5	2-3	19-22
	16-20	5±0,5	9±0,5	2-3	19-22
	22-26	6±0,5	9±0,5	3-4	20-23
	28-32	6±0,5	9±0,5	3-4	20-23
	34-40	7±0,5	9±0,5	4-5	21-24

В случае отсутствия требований к сварному шву по стойкости его к межкристаллитной коррозии допускают сварку плакирующего слоя в один проход и подготовку кромок производят по варианту а). При наличии этих требований автоматическую сварку плакирующего слоя выполняют в два прохода и размеры подготовки кромок принимают по варианту б) той же таблицы.

Сборку кромок под автоматическую сварку выполняют с тщательным соблюдением зазора с.

Сварку выполняют в следующей последовательности:

- 1) автоматическая сварка основного углеродистого слоя с внутренней стороны на флюсовом поджиге;
- 2) автоматическая сварка основного углеродистого слоя с наружной стороны;
- 3) автоматическая сварка плакирующего слоя в один или два прохода.

Применяемая форма разделки при подготовке кромок исключает необходимость в наложении разделительного шва, и технология сварки

двухслойной стали практически сводится к обычной двусторонней автоматической сварке углеродистой стали, без разделки кромок, и последующей автоматической сварке плакирующего слоя [32].

1.8 Механические свойства двухслойной стали

Расчет напряженно-деформированного состояния заготовки, силовых параметров и формообразующих возможностей процесса удушения с подавлением стенки из двухслойных материалов возможен только при наличии информации о характеристиках механических свойств и параметрах исходных кривых подачи упрочнения. Для конкретного материала эти величины определяются экспериментально. В отличие от известных методов механической характеристики двухслойных материалов, при которых механические свойства двухслойных материалов оценивают свойства материала основного слоя, предлагается оценивать их как свойства основного и дополнительного слоев материала.

Анизотропия механических свойств листовой горячекатаной стали 12ХЗГНМФБА, плакированной слоем стали 08Х13, оценивали по свойствам материала основного и плакирующего слоев. Для этого вырезали образцы из металла со снятым плакирующим слоем толщиной $s_0=3$ мм и со снятым основным слоем $s_0=1$ мм. Образцы с разной исходной толщиной s_0 изготавливали фрезерованием. Пропорциональные образцы вырезались в соответствии с ГОСТ 11701-84 (при $s_0 < 3$ мм) и ГОСТ 1497-84 (при $s_0 < 3$ мм) в пределах одного листа под углами 0, 45 и 90° к направлению прокатки по шесть штук каждого вида. Точность размеров образцов обеспечивалась их обработкой в специальных шаблонах. Схема раскроя листов и вырезки образцов приведена на рисунке 9.

Предварительно перед испытаниями на образец в зоне расчетной длины l_0 наносилась делительная сетка со стороной квадрата 10 мм. Делительная сетка с точностью до 0,025...0,03 мм наносилась алмазным

индентором на измерительном микроскопе УИМ-21 по методике, изложенной в работах. До и после испытаний размеры ячеек образцов измерялись на том же микроскопе. Растяжение образцов, вырезанных под углами 0, 45 и 90° к направлению прокатки, осуществлялось на универсальной испытательной машине «Instron 5982»

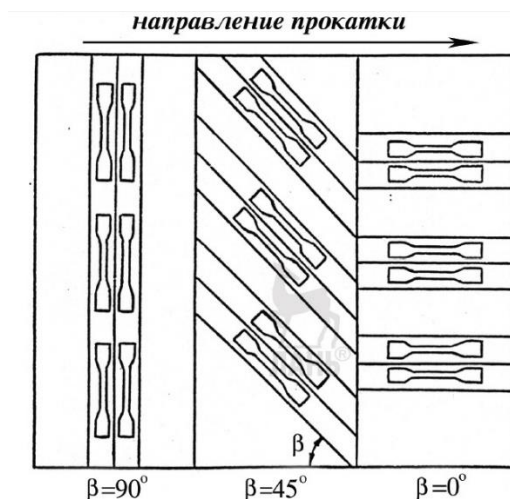


Рисунок 7 – Схема раскроя листов и вырезки для испытания на анизотропию механических свойств листового материала

Величина коэффициента анизотропии образца, вырезанного под углом α , находилась по формуле

$$R_{\beta} = \varepsilon_b / \varepsilon_z, \quad (1)$$

где: ε_b – деформации по ширине;

ε_l – деформации по длине;

ε_z – деформации по толщине, которые определялись соответственно по выражениям:

$$\varepsilon_b = \ln(b_1/b_2); \quad \varepsilon_l = \ln(l_1/l_0); \quad \varepsilon_z = -\varepsilon_b - \varepsilon_l, \quad (2)$$

где, b_1 и l_1 - размеры ячейки соответственно поперек и вдоль образца после разрыва; b_0 и l_0 – ее начальные размеры ячейки.

Среднее значение коэффициента анизотропии в плоскости листа R_{cp} вычислялось так:

$$R_{cp} = (R_0 + R_{45} + R_{90}) / 3 \quad (3)$$

Степень плоскостной анизотропии механических свойств оценивалась величиной λ_R

$$\lambda_R = |R_{\max} - R_{\min}| / R_{\text{ср}} \quad (4)$$

где: R_{\max} и R_{\min} – максимальное и минимальное значения коэффициента анизотропии в плоскости листа.

В таблице 4 приведены экспериментальные значения коэффициентов анизотропии $R_{\text{ср}}$, степени анизотропии λ_R и отношений параметров анизотропии G/F , H/F и N/F определяли по формулам

$$\frac{H}{F} = R_{90}; \quad \frac{G}{F} = \frac{R_{90}}{R_0}; \quad \frac{N}{F} = \left(R_{45} + \frac{1}{2} \right) \left(1 + \frac{R_{90}}{R_0} \right). \quad (5)$$

Таблица 4 – Значения коэффициентов анизотропии и величин отношений параметров анизотропии

Материал	R_{α} при угле вырезки образца β , град			$R_{\text{ср}}$	λ_R	Отношение параметров анизотропии		
	0	45	90			H/F	G/F	N/F
Сталь 12Х3ГНМФБА	1,05	1,10	0,85	1,00	0,250	0,850	0,809	2,894
Сталь 08Х13	0,55	0,48	0,66	0,56	0,321	0,550	1,200	2,156

Значение экспериментальных величин R_{β} , $\sigma_{0,2\beta}$, $\sigma_{\text{тл}\beta}$, E_{β} , σ_{ϵ} , δ_{β} , ψ_{β} , $\delta_{\text{р}\beta}$ для испытанных материалов приводятся в таблице 2. Для получения наиболее достоверных результатов по определению равномерного относительного удлинения $\delta_{\text{р}}$ использовалась та часть разорванного образца, в которой ячейка была наиболее удалена от очага локальной деформации (места разрыва).

На рисунке 8 мы можем наблюдать как пропорционально изменению угла вырезки образцов меняется значение предела текучести $\sigma_{0,2\beta}$ относительно направления проката Рисунок 8 построен по данным полученным из расчётов.

$$\sigma_{s\beta}^2 = \sigma_{s90}^2 \left(1 + \frac{H}{F} \right) / \left[\sin^2 \beta + \frac{G}{F} \cos^2 \beta + \frac{H}{F} + \left(2 \frac{N}{F} - 1 - \frac{G}{F} - 4 \frac{H}{F} \right) \sin^2 \beta \cos^2 \beta \right] \quad (6)$$

где, σ_{s90} – предел текучести материала образца.

Таблица 5 – Механические характеристики исследуемых материалов от угла вырезки образцов

Материал	β. Град	R _β	σ _{0,2} , МПа	σ _{тл} , МПа	E, МПа	σ _ε
Сталь 12Х3ГНМФБА	0	1,05	$\frac{535,0}{538,5}$	447,3	87792,5	622,2
	45	1,10	$\frac{500,0}{503,9}$	397,3	78238,2	561,6
	90	0,85	$\frac{510,0}{510,0}$	417,0	84879,1	595,5
Сталь 08Х13	0	0,55	$\frac{435,0}{439,3}$	534,6	98763,0	534
	45	0,48	$\frac{472,0}{468,5}$	578,6	98859,3	578,6
	90	0,66	$\frac{465,0}{465,0}$	589,9	109934,9	589,6
Материал	β. Град	δ, %		Ψ, %		δ _p , %
Сталь 12Х3ГНМФБА	0	28,7		52,0		6,8
	45	23,3		59,9		8,1
	90	26,0		51,1		5,78
Сталь 08Х13	0	27,5		54,8		11,1
	45	26,0		52,4		10,3
	90	25,0		51,7		9,5

На рисунке 8б, показано изменение величин коэффициентов анизотропии R_β и условного предела текучести σ_{0,2β}, полученных экспериментально (обозначенных точками) по выражению

$$R_{\beta} = \frac{\frac{H}{F} + \left(2\frac{N}{F} - 1 - \frac{G}{F} - 4\frac{H}{F}\right) \sin^2\beta \cos^2\beta}{\sin^2\beta + \frac{G}{F} \cos^2\beta} \quad (7)$$

Для исследуемых материалов установлено хорошее согласование (с погрешностью в среднем до 5 %) экспериментальных и расчетных значений пределов текучести и коэффициентов анизотропии, что позволяет рекомендовать эти зависимости для вычисления пределов текучести и коэффициентов анизотропии в любых направлениях относительно направления

прокатки (при известных отношениях параметров анизотропии G/F, H/F и N/F) (см. табл. 4).

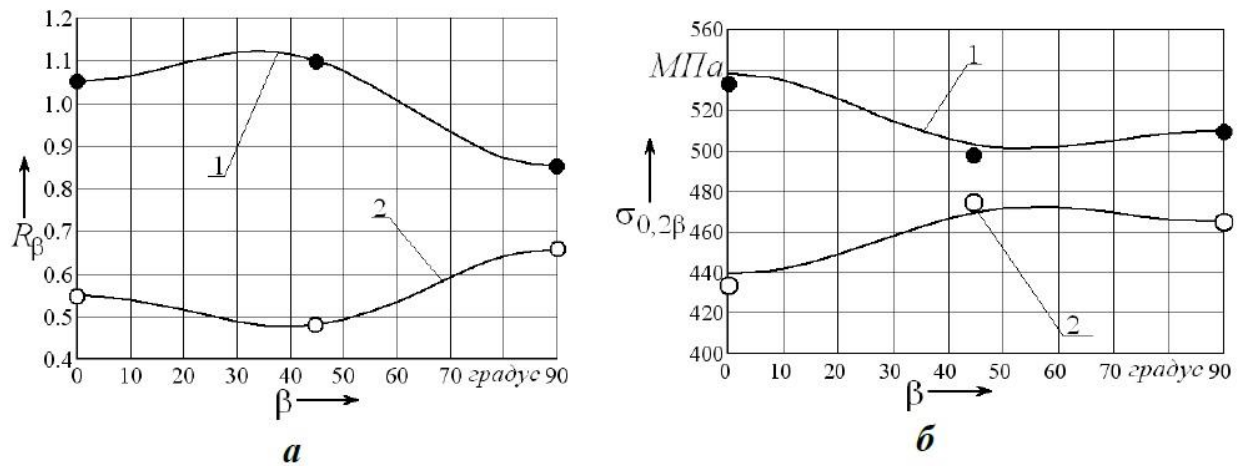


Рисунок 8 – Зависимости изменения коэффициентов анизотропии $R(a)$, пределов текучести $\sigma_{0,2\beta}$ (б) от угла вырезки образцов: кривая 1 – сталь 12ХЗГНМФБА; кривая 2 – сталь 08Х13

Выполненные экспериментальные исследования позволили рассчитать константы кривых упрочнения, которые представлены в таблице ниже.

$$\sigma_{ik} = \sigma_{i0.2k} + Q_k (\varepsilon_{ik})^{n_k}, \quad k=1,2 \quad (8)$$

Константы кривой упрочнения для исследуемых материалов определялись путем обработки индикаторных диаграмм «сила – путь» в области равномерной деформации с учетом постоянства объема материала на базовой длине образца. Экспериментальные константы Q_k и n_k находились с использованием методики нелинейного оценивания параметров.

Таблица 6 – Константы кривых упрочнений исследуемых материалов

Материал	$\sigma_{i0.2k}$, МПа	Q_k , МПа	n_k
Сталь 12ХЗГНМФБА	520,2	496,04	0,435
Сталь 10Х13	432,5	512,05	0,498

Обработка экспериментальных данных осуществлялась в предположении изотропного упрочнения анизотропного материала, что позволило значительно упростить обработку опытных данных и сократить объем экспериментальных исследований при построении единой кривой упрочнения.

Принимая в качестве базовых экспериментальные данные $\sigma_{s90} = \sigma_{s90}(\epsilon_{90})$ при растяжении плоских образцов в направлении оси y , рассчитывались величины интенсивности напряжения σ_i и интенсивности деформации ϵ_e по выражениям:

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{3R_0(R_{90}+1)}{2(R_0+R_0R_{90}+R_{90})}} \sigma_{s90}; \epsilon_i = \sqrt{2 \frac{(R_0+R_0R_{90}+R_{90})}{3R_0(R_{90}+1)}} \quad (9)$$

Где σ_{s90} , ϵ_{90} сопротивление материала пластическому деформированию и степень логарифмической деформации при растяжении образца в направлении оси y . Аналогично в качестве базовых данных могут быть приняты результаты экспериментальных исследований, полученных при растяжении плоских образцов, вырезанных под углами 0 и 45° по отношению к направлению прокатки (оси x). Сопоставление экспериментальных данных об изменении сопротивления материала пластическому деформированию $\sigma_{s\beta}$ в зависимости от степени логарифмической деформации ϵ_β при $\beta = 0,45^\circ$ с расчетными позволило судить о справедливости принятой выше гипотезы об изотропном упрочнении анизотропного материала при пластическом формоизменении.

1.9 Основные причины плохой свариваемости

Получение качественных сварных соединений разнородных сталей, называется свариваемостью, которая является комплексной характеристикой, включающая в себя показатели технологической прочности и уровень эксплуатационных свойств соединений.

Неоднородность различного типа, присущая сварным соединениям рассматриваемого вида, обуславливает зависимость их эксплуатационной прочности от температуры и времени. Поэтому свариваемость разнородного сочетания неадекватна свариваемости его составляющих, а достижение требуемого уровня свариваемости требует применения специальной технологии сварки для решения ряда самостоятельных проблем, вызванных

существенными различиями сталей по химическому составу, типу кристаллической решетки, коэффициентам линейного расширения, температуре плавления и теплофизическим свойствам, температуре фазовых и структурных превращений.

Поэтому при формировании сварных швов эти различия приводят к аномальному химическому составу, которые принципиально отличаются от каждой из свариваемых сталей по механическим свойствам, фазовому составу, склонности к закалке при сварке и структурным изменениям при нормальных и рабочих температурах в процессе эксплуатации [48].

Неоднородность химического состава сварного соединения, сложившаяся после его кристаллизации, вызывает внутренние напряжения, их концентрацию в отдельных зонах с пониженной прочностью, что приводит к локальным разрушениям соединения или понижению его антикоррозионных свойств [49].

Высокотемпературная эксплуатация сварных соединений инициирует развитие диффузионных процессов, которые обуславливают образование хрупких и малопрочных прослоек, понижение длительной прочности, коррозионной стойкости и агрегатной прочности всего соединения [50].

Специальная технология сварки позволяет свести к минимуму указанные негативные явления путем управления формированием структуры соединения при сварке разнородных сталей.

1.10 Формирование структуры металла шва

При сварке и наплавке ряда сочетаний различных сталей происходит смешивание в различных пропорциях перлитной стали с аустенитными или ферритными сварочными материалами. Получаемый при этом химический состав шва имеет промежуточные значения и различную структуру, оцениваемую по эквивалентам хрома и никеля с помощью диаграммы Шеффлера. Металл шва с однофазной аустенитной структурой (область А) весьма склонен к образованию ГТ кристаллизационного и подсолидусного

типов. Шов с аустенитно-ферритной структурой (область А + Ф), при повторных нагревах претерпевает охрупчивание в результате превращения δ -феррита в сигма-фазу (σ) [51].

Для швов со структурой Ф (феррит) характерен рост зерна при высоких температурах, обуславливающий хрупкость при нормальных температурах. Швы со структурами М, М + А, М + Ф, М + А + Ф имеют мартенситную составляющую, вызывающую образование ХТ. Возможность формирования швов с перечисленными отдельными структурами осложняет обеспечение свариваемости при сварке разнородных сочетаний, так как различные дефекты возникают не только в шве, но и в зоне сплавления каждой стали, входящей в сочетание [52,53]

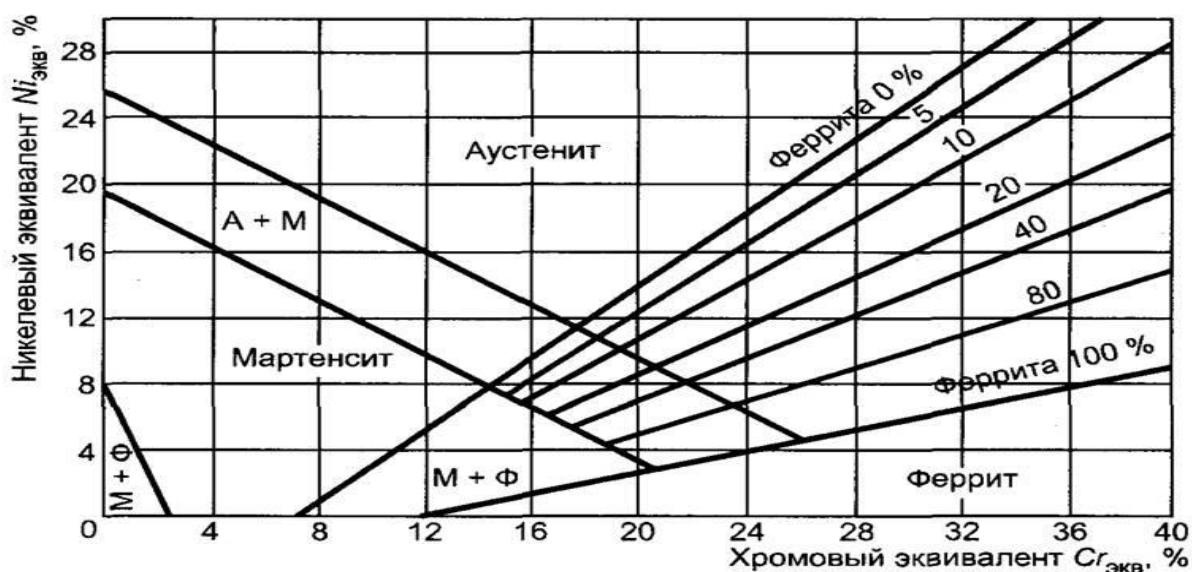


Рисунок 9 – Прогнозирование структуры в корне и отдельных слоях металла шва с помощью диаграммы Шеффлера : А - аустенит; М - мартенсит; Ф - феррит; точками А, П и Э обозначено положение на диаграмме аустенитной, перлитной сталей и аустенита электрода соответственно; точка Г - результат перемешивания сталей А и П при сварке без участия электрода Э; точка Б характеризует структуру 1-го слоя шва с участием электрода Э; точки Д и Е характеризуют структуру 2-го и 3-го слоев шва соответственно; отрезками а-б, в-г и д-е показаны колебания структуры корня шва, 2 -го и 3 -го слоев в зависимости от доли участия электрода соответственно.

1.11 Образование кристаллизационной прослойки

Кристаллизационная прослойка возникает при одновременной кристаллизации двух разнородных сталей в зоне сплавления, которая образуется из расплавленных частей свариваемых кромок, перемешенных турбулентными потоками в ванне.

Самым сложным является формирование зоны сплавления при сварке перлитных сталей с аустенитными. Оно имеет место во многих вариантах комбинированных конструкций и отличается несколькими особыми явлениями:

- различным объемом расплавляемых заготовок при образовании ванны, что зависит от теплофизических свойств свариваемых сталей и долей участия основного металла в шве;
- различием температур плавления сталей и металла шва, приводящим к перегреву ОШЗ стали, если температура солидуса металла шва выше температуры ликвидуса основного металла;
- образованием «кристаллизационной» прослойки аномального состава в результате перемешивания основного и наплавленного металлов, что обуславливает химическую, структурную и механическую неоднородности в сварном соединении;
- диффузионным перераспределением углерода из твердого основного металла в расплавленный металл шва вследствие более высокой растворимости углерода в жидкой фазе, чем в твердой;
- благодаря влиянию различных теплофизических свойств в процессе остужения металла возникают многозначительные внутренние напряжения в переходных слоях.

Во время образования сварного шва или сварочной ванны учувствуют аустенитные и перлитные стали, но их доля влияние достаточно разница между собой в следствии того что данные стали имеют различную температуру плавления. В своей значимости на сварной шов аустенит и перлит, при

одинаковых внешних условиях воздействия температуры составляют в пределах 60 и 40 % от объёма.

Как правило, аустенитная и перлитная стали составляют до 60 и 40 % объема шва соответственно в условиях равного теплового воздействия.

В зоне сплавления перлитной и аустенитной сталей участок кристаллизационной прослойки в среднем содержит 3...12 % Cr и 2...7 % Ni, который после охлаждения может иметь структуру высоколегированного материала, обнаруживаемую в виде белой нетравящей полоски.

Толщина кристаллизационных прослоек изменяется от 0,05 до 0,6 мм в зависимости от степени аустенитности металла шва и температуры подогрева. Чем выше концентрация никеля в шве и выше скорость охлаждения, тем тоньше кристаллизационная прослойка между перлитной и аустенитной сталями. Наиболее заметны результаты этих процессов при измерении твердости в поперечном сечении сварного соединения.

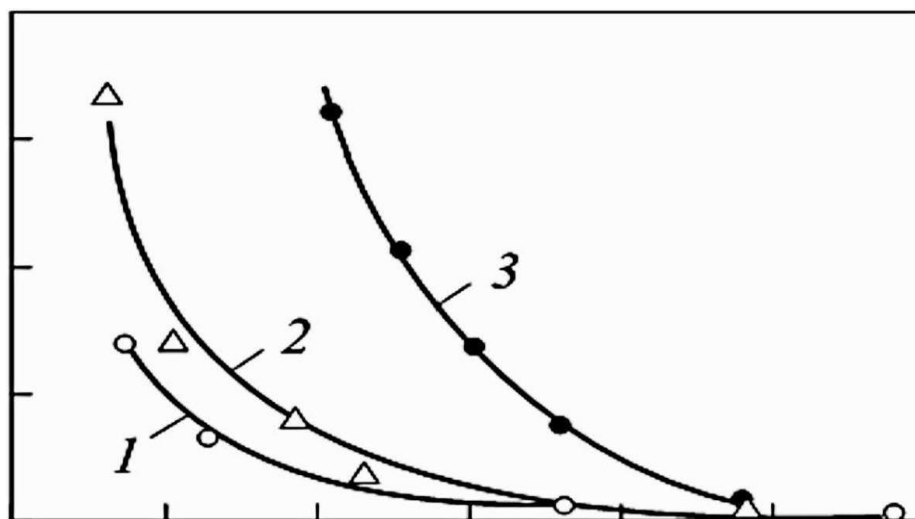


Рисунок 10 – Толщина кристаллизационных (1, 2) и диффузионных (3) прослоек в зоне сплавления стали 20 и 12Х18Н10Т в зависимости от доли никеля в металле шва: 1, 2 - кристаллизационная прослойка при сварке без подогрева и с подогревом до 500 °С; 3 – диффузионная прослойка в аустенитном шве при нагреве до 650 °С и выдержке в течение 1000 ч.

Характер изменения твердости разный в зависимости от степени аустенитности металла шва. При малом значении $Cr_{ЭКВ} Ni_{ЭКВ}$, кривые изменения

твердости имеют ниспадающий характер, а ширина зоны переменной твердости минимальна. При увеличении $Cr_{\text{экв}}Ni_{\text{экв}}$ растет ширина этой зоны. Максимуму $Cr_{\text{экв}}Ni_{\text{экв}}$ соответствует максимум значения твердости. В том же порядке увеличивается склонность к появлению ХТ, образующихся в зоне сплавления со стороны аустенитного металла шва, претерпевшей закалку; ХТ такого вида получили название «отрыв», что в макромасштабе подразумевает отрыв аустенитного шва от перлитной стали [50].



Рисунок 11 – Микроструктура мартенситной зоны сплавления перлитной стали (I) с аустенитным швом (II) в районе ХТ типа «отрыв»

1.12 Образование диффузионных прослоек при сварке, термообработке высокотемпературной эксплуатации.

Большое значение в обеспечении прочности и надежности сварного соединения имеют специфические процессы, развивающиеся после кристаллизации шва в ОШЗ. Они связаны с тем, что при перемешивании сталей с высокой и низкой температурами плавления металл шва имеет промежуточную температуру плавления и затвердевания. Это приводит к тому, что на свариваемую перлитную сталь после дугового нагрева,

обуславливающего оплавление кромок и заполнение сварочной ванны жидким металлом, при затвердевании шва воздействует теплота перегрева жидкого металла, а также скрытая теплота кристаллизации, выделяемая при затвердевании металла шва. Это вызывает повторное локальное оплавление границ зерен в основном металле со стороны перлитной стали, металл которой не может участвовать в турбулентном перемешивании ванны вследствие высокой вязкости закристаллизовавшегося шва у стенок ванны.

Оплавленные границы зерен обогащаются в результате восходящей диффузии из объемов зерен легирующими элементами и примесями в связи с повышенной растворимостью элементов в жидкой фазе. Последующая кристаллизация таких межзеренных прослоек из ликватов обособленно от ванны создает микрохимическую неоднородность в ОШЗ, негативно влияющую на сопротивляемость образованию ГТ и ХТ, на жаропрочные и коррозионные свойства сварного соединения средне- и высоколегированных сталей [9].

После затвердевания металла по всему сечению шва доминирующее значение приобретают диффузионные процессы в твердой фазе, развивающиеся при термической обработке и длительной высокотемпературной эксплуатации. Они протекают по двум противоположным направлениям: выравниванию химического состава и восходящей диффузии, обусловленной химическим сродством элементов друг к другу. Восходящая диффузия приводит к тому, что углерод, имеющий большую скорость диффузии, диффундирует в зоны, где имеются карбидообразующие элементы. Главное значение в этом процессе имеет скорость диффузии отдельных элементов в объемах с ГЦК- и ОЦК решетками. При всех температурах диффузионная подвижность углерода в Fe_{α} заметно выше, чем в более плотноупакованной решетке Fe_{γ} , а коэффициент диффузии углерода в Fe_{α} выше, чем в Fe_{γ} , при 900, 755 и 500 °С соответственно в 3,9, 1,26 и 835 раз. Диффузионная подвижность других

легирующих элементов, образующих твердые растворы замещения, значительно меньше и проявляется лишь при температуре выше 1000 °С [48].

Такое соотношение приводит к локальному обеднению углеродом приконтактного слоя перлитной стали и сосредоточению углерода прилегающих слоев аустенитного шва, имеющих повышенное содержание хрома. Это создает условия образования карбидов хрома

Это создает условия образования карбидов хрома в виде слоя высокой твердости с большой концентрацией карбидов («карбидная гряда»), имеющего высокую травимость [34,35].

Три фактора управляют процессом образования диффузных прослоек: температура, время пребывания при высоких температурах и концентрация углерода в твердом растворе. Процесс начинается в условиях сварки и получает существенное развитие при повторных дуговых нагревах, в условиях термической обработки и при использовании высоких температур.

Данный процесс способствует возникновению прослоек от части перлитной стали, прослойки сами собой представляют диффузионную обезуглероженную часть, так же она насыщается углеродом в аустените его шва. Толщина прослоек на прямую зависит по экспоненте пропорционально величине выдержки металла и температуры термического влияния, что представляет закономерность диффузионного процесса.

В итоге данной методики развития на выходе появляется своего рода «переходная зона» в которой находятся разного рода слои разных прочностей и состава [50].

2 Материалы и методы исследования

В работе выполнялись стыковые соединения труб из низколегированных феррито-перлитных сталей, имеющих две кольцевые вставки на торце трубы из нержавеющей стали типа 12Х18Н10Т.

На рисунке 9 представлена схема трубы в разрезе.

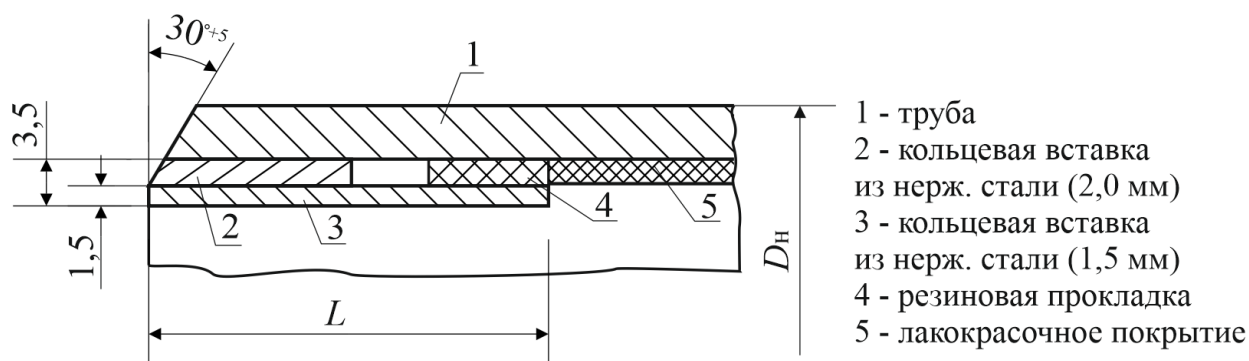


Рисунок 11. Эскиз поперечного сечения стенки трубы

Длина вставки L для труб диаметром до 159 мм составляет (90 ± 5) мм, для труб диаметром 325 мм $L=(150\pm 5)$ мм.

В таблице 4 представлены марки сталей труб, их размеры и применяемые сварочные материалы, а также приведены условные обозначения стыков, применяемые в дальнейших исследованиях.

Таблица 7 – Варианты свариваемых стыковых соединений

Типоразмеры труб	Марка стали труб	Покрытые электроды на корневой слой шва		
		ЭА-395/903,0	ОК 61.3002,5	ОК 61.3003,2
		Партия 1	Партия 2	Партия 3
Ø114×6	09Г2С	№6	№3	№3
Ø114×6	Сталь 20	№5	№2	№1
Ø114×6	Сталь 20кТ	№4	№1	№2
Ø159×6	09Г2С	№3	№6	№5
Ø159×6	Сталь 20	№2	№5	№7
Ø159×6	Сталь 20кТ	№1	№7	№6
Ø325×8	09Г2С	№9	№10	№9
Ø325×8	Сталь 20	№8	№9	№10
Ø325×8	Сталь 20кТ	№10	№8	№8
Ø114×8	09Г2С	№7	№4	№4

В таблице 8 представлен типичный химический состав используемых в работе материалов.

Таблица 8 – Химический состав металла труб и металла, наплавленного электродами

Марка стали/ электрода	Содержание химических элементов, %											
	C	Si	Mn	P мене е	S мене е	Cr	Ni	Cu	V	Nb	Ti	Al
09Г2С ¹	≤0,1 2	0,50 - 0,80	1,30 - 1,70	0,03	0,035	≤0,3 0	≤0,3 0	≤0, 3	≤0,1 2	-	-	-
Сталь 20 ²	0,17- 0,24	0,17 - 0,37	0,35 - 0,65	0,03	0,035	<0,2 5	<0,3	<0, 3	<0,0 5	<0,0 5	-	≥0,02
Сталь 20кт ³	0,17- 0,24	0,17 - 0,37	0,35 - 0,80	0,015	0,012	<0,2 5	<0,3	<0, 3	<0,8	<0,0 6	-	0,01- 0,05
12Х18Н10 Т ⁴	≤0,1 2	≤0,8	≤2,0	0,020	0,040	17,0- 19,0	9,0- 11,0	-	-	-	≤0, 8	-
LB-52U	0,06	0,52	1,02	0,013	0,06	0,03	0,10	-	-	-	Mo 0,01	
OK 61.30	<0,0 3	0,7	0,9			19,5	10,0	<0, 5	Mo<0,5			
ЭА-395/9	0,09	0,6	1,2	0,02	0,007	15,5	25,0	-	Mo 5,0			

Механические свойства используемых в работе материалов представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Механические свойства металла труб и металла шва, наплавленного электродами

Марка стали/ электрода	Предел прочности σ_B , Н/мм ²	Предел текучести σ_T , Н/мм ²	Относительное удлинение, δ_5 %
09Г2С (ГОСТ 32678-2014)	470	265	21
Сталь 20 (ГОСТ 32678-2014)	412	245	21
Сталь 20кт по ТУ 14-3Р-91-2004	К 48	470	294
	К 52	510	353
12Х18Н10Т (ГОСТ 5582-75)	530	205	40
OK 61.30 (CSA W48 E 308L-17)	560	430	43
ЭА-395/9 (ISO E16.25.6B20)	690	470	37
LB-52U (ISO 2560-A E42 2 B ⁵)	490	380	20

Параметры режимов сварки представлены в таблице 10.

¹ ГОСТ 19281-2014

² ГОСТ 1050-2013

³ ТУ14-3Р-91-2004

⁴ ГОСТ 5632-2014

⁵ГОСТ Р ИСО 2560-2009

Таблица 10 – Параметры режимов сварки

Параметры	Корневой слой шва			Заполняющий слой шва	Облицовочный слой шва
	ЭА-395/9 Ø3,0	ОК 61.30 Ø2,5	ОК 61.30 Ø3,2	LB-52U Ø3,2	LB-52U Ø3,2
Сила тока, А	75-85	45-50	55-60	90-110	90-110
Напряжение на дуге ⁶ , В	23-24	22-23	22-23	24-25	24-25

На рисунке 12 представлен эскиз сварного соединения.

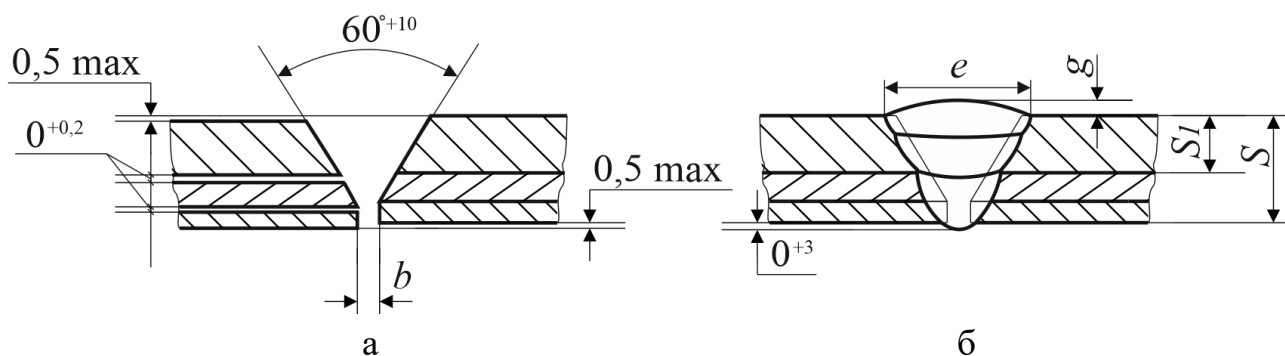


Рисунок 12 – Эскиз сварного соединения:

а – конструктивные элементы стыка, б – конструктивные элементы сварного шва

Притупление равно толщине нижней кольцевой вставки. Зазор в стыке зависит от диаметра и марки электрода, применяемого для сварки корневого слоя шва. Рекомендуемые размеры зазора по результатам исследования представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Величина зазора в стыке

Зазор, мм	Марка и диаметр (мм) электрода		
	ЭА-395/9 Ø3,0	ОК 61.30 Ø2,5	ОК 61.30 Ø3,2
<i>b</i> (рис. 2,а)	3,0 ^{±0,2}	2,0 ^{-0,2}	3,0 ^{-0,2}

Размеры сварного шва (таблица 12) зависят от суммарной толщины заваренного слоя (*S*) и определяются в соответствии с ГОСТ 16037-80.

⁶Не измеряется. Примерное значение определяется из соотношения $U=20+0,04I_{св}$

Таблица 12 – Размеры сварного шва

Суммарная толщина (S), мм	Ширина облицовочного слоя шва (e), мм	Высота облицовочного слоя шва (g), мм	Минимальное количество слоев
9,5	16^{+4}	$2^{+2}_{-1,5}$	3
11,5	18^{+4}	$2^{+2}_{-1,5}$	3

Сварка стыков выполнялась в неповоротном положении снизу-вверх (В1).

Схема наложения слоев представлена на рисунке 13.

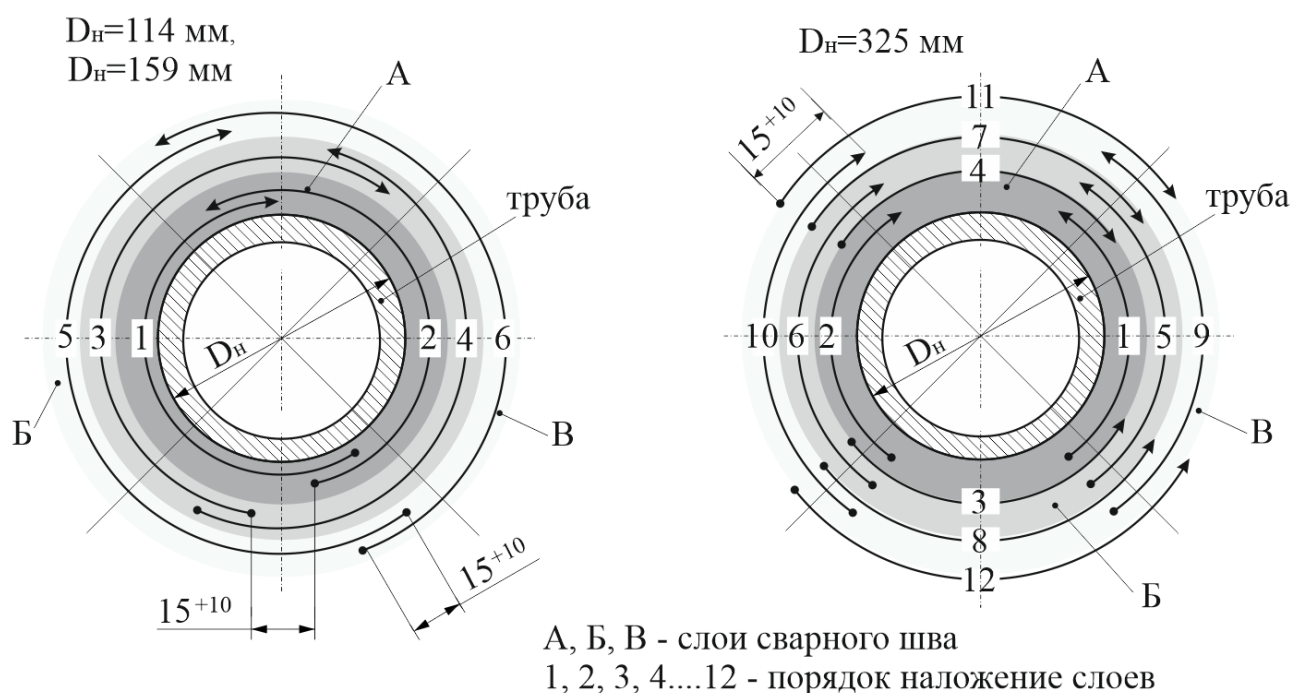


Рисунок 13 – Схема сварки стыков

В процессе сварки осуществлялся пооперационный контроль.

Полученные сварные соединения контролировались визуально-измерительным и рентгенографическим методами, а также механическими статическими испытаниями на растяжение и изгиб.

Визуально-измерительный контроль проводился в соответствии с РД 03-606-03. Для контроля использованы УШС-3 (сертификат калибровки средств измерения №12936/202 действует до 07.12.2019 г.), линейка измерительная металлическая (сертификат калибровки средств измерения №12938/202 действует до 07.12.2019 г.), лупа измерительная HORIZON 10x (сертификат калибровки средств измерения №12937/202 действует до 07.12.2019 г.).

Рентгенографический контроль проводился в соответствии с ГОСТ 7512-82. Для контроля использовался портативный рентгеновский аппарат Арина-3 и эталоны чувствительные канавочные (класса чувствительности 0,3) ЭЧК-1 (сертификат калибровки средств измерения №1572/202 действует до 01.12.2022 г.).

Статическое испытание на растяжение проводилось по методике в соответствии с ГОСТ 6996-66 на образцах типа XII.

Статическое испытание на изгиб проводилось по методике в соответствии с ГОСТ 6996-66 на образцах типа XVII.

Корневой слой шва совместно с внутренними вставками из нержавеющей стали, а также облицовочный слой шва снимались и зачищались механическим способом до уровня основного металла трубы.

Механические статические испытания проводились с использованием универсальной разрывной машины ИР 5082-500 (свидетельство о поверке №5396/202 действует до 29.11.2019 г.).

3 Расчеты и аналитика

3.1. Пооперационный и визуально-измерительный контроль

Пооперационный контроль заключался в оценке качества подготовки кромок труб, качества сборки, а также оценке стабильности сварочного процесса.

При оценке качества подготовки кромок труб выявлено наличие неравномерного зазора между внутренними кольцами и трубой, а также снижение величины притупления на отдельных участках до 0...0,2 мм. Перед сборкой притупление доводилось до требуемой величины 1,5 мм механическим способом. Неравномерность зазора не выправлялась. Овальности труб не наблюдалось.

Стыки были собраны без смещения с использованием прихваток, расположенных равномерно по периметру.

Таблица 13 – Требования к прихваткам

Диаметр трубы, мм	Количество прихваток	Длина прихваток, мм	Высота прихваток, мм
114	3	5...10	3...3,5
159	4	10...15	3...3,5
325	4	50...60	3...3,5

Прихватки выполнялись электродами, предназначенными для сварки корневого слоя шва. В процессе наложения корневого слоя шва прихватки переплавлялись.

В связи с тем, что электроды марки ЭА-395/9 в своем составе имеют тугоплавкий элемент – Мо и высокое количество Ni (25%) наблюдается затрудненное формирование корневого слоя шва в потолочном положении. В этом случае для увеличения стабильности процесса формирования шва и удержания сварочной ванны необходимо увеличить силу сварочного тока на 10...15 % от рекомендованного значения, приведенного в таблице 7. Во всех

остальных положения при сварке сила сварочного тока должна соответствовать требованиям таблицы 7.

При сварке корневого слоя шва электродами марки ОК 61.30 затруднений в формировании шва не наблюдалось.

Для выявления наружных дефектов сварные соединения подвергались ВИК по всей протяженности швов и прилегающей к ним зоны основного металла на расстоянии не менее 20 мм от границы шва. Оценка качества сварных соединений проводилась в соответствии с требованиями СТО 00220368-011-2007 п. 12. 6.

Согласно требованиям п. 12.6 СТО 00220368-011-2007 в сварных соединениях не допускаются дефекты по п. 6.10.2 ГОСТ Р 52630-2012:

- трещины всех видов и направлений;
- свищи;
- подрезы;
- наплывы, прожоги и незаплавленные кратеры;
- смещение и совместный увод кромок свариваемых элементов свыше 1,5...2,0 мм;
- несоответствие формы и размеров швов требованиям ГОСТ 16037-80;
- поры диаметром более 1 мм в количестве более 5 шт. на 100 мм шва;
- чешуйчатость поверхности и глубина впадин между валиками шва, превышающие допуск на усиление шва по высоте.

В таблице 14 представлены результаты ВИК.

Таблица 14 – Результаты ВИК

№ образца	Размеры облицовочного слоя шва, мм		Наличие дефектов	Соответствие требованиям ГОСТ Р 52630-2012
	Ширина (<i>e</i>)	Высота (<i>g</i>)		
Партия 1				
№1	16...17	2...2,5	ДНО	Соответствует
№2	16...17	2...2,5	Смещение внутреннего слоя ⁷ на длине 30...40% периметра стыка	Соответствует
№3	16...17	2...2,5	ДНО	Соответствует
№4	16...17	2...2,5	ДНО	Соответствует
№5	16...17	2...2,5	ДНО	Соответствует
№6	16...17	2...2,5	ДНО	Соответствует
№7	18...19	2...2,5	ДНО	Соответствует
№8	18...19	2...2,5	ДНО	Соответствует
№9	18...19	2...2,5	ДНО	Соответствует
№10	18...19	2...2,5	Смещение внутреннего слоя на длине 20...25% периметра стыка	Соответствует
Партия 2				
№1	16...17	2...2,5	Смещение внутреннего слоя на длине 5...10% периметра стыка	Соответствует
№2	16...17	2...2,5	ДНО	Соответствует
№3	16...17	2...2,5	ДНО	Соответствует
№4	18...19	2...2,5	ДНО	Соответствует
№5	16...17	2...2,5	ДНО	Соответствует
№6	16...17	2...2,5	Смещение внутреннего слоя на длине 25...30% периметра стыка	Соответствует
№7	16...17	2...2,5	Смещение внутреннего слоя на длине 5% периметра стыка	Соответствует
№8	18...19	2...2,5	Смещение внутреннего слоя на длине 40...50% периметра стыка	Соответствует
№9	18...19	2...2,5	Смещение внутреннего слоя на длине 40...50% периметра стыка	Соответствует

№ образца	Размеры облицовочного слоя шва, мм		Наличие дефектов	Соответствие требованиям ГОСТ Р 52630-2012
	Ширина (<i>e</i>)	Высота (<i>g</i>)		
№10	18...19	2...2,5	Смещение внутреннего слоя на длине 20...30% периметра стыка	Соответствует
Партия 3				
№1	16...17	2...2,5	ДНО	Соответствует
№2	16...17	2...2,5	ДНО	Соответствует
№3	16...17	2...2,5	ДНО	Соответствует
№4	18...19	2...2,5	ДНО	Соответствует
№5	16...17	2...2,5	Смещение внутреннего слоя на длине 10% периметра стыка	Соответствует
№6	16...17	2...2,5	Смещение внутреннего слоя на длине 5% периметра стыка	Соответствует
№7	16...17	2...2,5	Смещение внутреннего слоя на длине 5% периметра стыка	Соответствует
№8	18...19	2...2,5	Смещение внутреннего слоя на длине 40% периметра стыка	Соответствует
№9	18...19	2...2,5	Смещение внутреннего слоя на длине 50...60% периметра стыка	Соответствует
№10	18...19	2...2,5	Смещение внутреннего слоя на длине 50...60% периметра стыка	Соответствует

Облицовочный слой швов всех сварных соединений имеет равномерную чешуйчатость. Недопустимых дефектов не обнаружено. В приложении Б представлены фотографии с внешним видом сварных соединений.

На рисунке 13 представлены фото с нормальным формированием корневого слоя шва (а) и с наличием термдеформационного смещения внутреннего слоя (б).



Рисунок 13 – Корневой слой шва: а – нормальное формирование, б – наличие участка со смещением внутреннего слоя за счет деформации от термического цикла сварки

3.2 Рентгенографический контроль

Оценка качества сварных соединений по результатам рентгенографического контроля проводилась в соответствии с п. 6.10.3 ГОСТ Р 52630-2012.

- В сварных соединениях не допускаются следующие внутренние дефекты:
- трещины всех видов и направлений, в том числе микротрещины, выявленные при металлографическом исследовании;
 - свищи;
 - смещение основного и плакирующего слоев в сварных соединениях двухслойных сталей выше норм 1,5...2,0 мм;
 - непровары (несплавления), расположенные в сечении сварного соединения;
 - поры и шлаковые включения, выявленные радиографическим методом, выходящие за пределы норм, установленных допустимым классом дефектности сварного соединения по ГОСТ 23055.

Смещение внутреннего слоя, обнаруженное по результатам ВИК (рисунок 12б), на соответствующих снимках РК отображается в виде тёмной

полосы вдоль кромки по корневому слою шва (Приложение Б). Высота смещения варьируется от 0,5 до 1,0 мм, что не выходит за пределы требований по ГОСТ Р 52630. В работе принято обозначение представленного дефекта «Fd» в соответствии с ГОСТ 7512.

В таблице 15 представлены результаты РК.

Таблица 15 – Результаты РК

№ образца	Клеймо	№ снимка	Дефекты	Соответствие требованиям ГОСТ Р 52630
Партия 1				
№1	1A1	1	ДНО	Соответствует
	1A2	2	ДНО	Соответствует
	1A3	3	ДНО	Соответствует
№2	2A1	1	Fd150	Соответствует
	2A2	2	Fd150	Соответствует
	2A3	3	ДНО	Соответствует
№3	3A1	1	ДНО	Соответствует
	3A2	2	ДНО	Соответствует
	3A3	3	ДНО	Соответствует
№4	4A1	1	ДНО	Соответствует
	4A2	2	Fd20	Соответствует
	4A3	3	Fd50	Соответствует
№5	5A1	1	ДНО	Соответствует
	5A2	2	ДНО	Соответствует
	5A3	3	ДНО	Соответствует
№6	6A1	1	ДНО	Соответствует
	6A2	2	ДНО	Соответствует
	6A3	3	ДНО	Соответствует
№7	7A1	1	ДНО	Соответствует
	7A2	2	ДНО	Соответствует
	7A3	3	ДНО	Соответствует
№8	181	1	ДНО	Соответствует
	182	2	Fd300	Соответствует
	183	3	ДНО	Соответствует
	184	4	ДНО	Соответствует
№9	191	1	ДНО	Соответствует
	192	2	ДНО	Соответствует
	193	3	ДНО	Соответствует
	194	4	Aa0,8 ⁸	Соответствует
№10	101	1	ДНО	Соответствует
	102	2	ДНО	Соответствует
	103	3	Fd50	Соответствует
	104	4	ДНО	Соответствует
Партия 2				

⁸ Обозначение одиночной поры (Aa) и её диаметра в мм

№ образца	Клеймо	№ снимка	Дефекты	Соответствие требованиям ГОСТ Р 52630
№1	21A1	1	ДНО	Соответствует
	21A2	2	ДНО	Соответствует
	21A3	3	Fd18	Соответствует
№2	22A1	1	ДНО	Соответствует
	22A2	2	ДНО	Соответствует
	22A3	3	ДНО	Соответствует
№3	23A1	1	ДНО	Соответствует
	23A2	2	ДНО	Соответствует
	23A3	3	ДНО	Соответствует
№4	24A1	1	ДНО	Соответствует
	24A2	2	ДНО	Соответствует
	24A3	3	ДНО	Соответствует
№5	21A1-с	1	ДНО	Соответствует
	21A2-с	2	ДНО	Соответствует
	21A3-с	3	ДНО	Соответствует
№6	22A1-с	1	ДНО	Соответствует
	22A2-с	2	Fd40	Соответствует
	22A1-с	3	Fd100	Соответствует
№7	23A1-с	1	Σ Fd70	Соответствует
	23A2-с	2	ДНО	Соответствует
	23A3-с	3	ДНО	Соответствует
№8	281	1	Fd100	Соответствует
	282	2	Σ Fd100	Соответствует
	283	3	Σ Fd150	Соответствует
	284	4	Fd50	Соответствует
№9	291	1	Fd50	Соответствует
	292	2	Σ Fd70	Соответствует
	293	3	Σ Fd100	Соответствует
	294	4	Σ Fd200	Соответствует
№10	2101	1	Aa0,5	Соответствует
	2102	2	ДНО	Соответствует
	2103	3	Fd130	Соответствует
	2104	4	Fd50	Соответствует
Партия 3				
№1	31A1	1	ДНО	Соответствует
	31A2	2	ДНО	Соответствует
	31A3	3	ДНО	Соответствует
№2	32A1	1	ДНО	Соответствует
	32A2	2	Aa0,5	Соответствует
	32A3	3	ДНО	Соответствует

№ образца	Клеймо	№ снимка	Дефекты	Соответствие требованиям ГОСТ Р 52630
№3	33A1	1	ДНО	Соответствует
	33A2	2	ДНО	Соответствует
	33A3	3	ДНО	Соответствует
№4	34A1	1	ДНО	Соответствует
	34A2	2	2Aa0,8	Соответствует
	34A3	3	ДНО	Соответствует
№5	35A1	1	Fd20	Соответствует
	35A2	2	ДНО	Соответствует
	35A3	3	Fd50	Соответствует
№6	36A1	1	Aa0,5	Соответствует
	36A2	2	Σ Fd20	Соответствует
	36A3	3	Σ Fd30	Соответствует
№7	37A1	1	Σ Fd10	Соответствует
	37A2	2	Da ⁹ 20	Не соответствует
	37A3	3	ДНО	Соответствует
№8	381	1	Σ Fd10	Соответствует
	382	2	Σ Fd200	Соответствует
	383	3	ДНО	Соответствует
	384	4	Fd100	Соответствует
№9	391	1	Fd200	Соответствует
	392	2	Σ Fd200	Соответствует
	393	3	ДНО	Соответствует
	394	4	Σ Fd200	Соответствует
№10	301	1	Σ Fd150	Соответствует
	302	2	Σ Fd220	Соответствует
	303	3	Fd200	Соответствует
	304	4	Fd200	Соответствует

В приложении В представлены фотографии с внутренним видом сварных соединений.

3.3 Механические статические испытания

Согласно п. 12.9 СТО 00220368-011-2007 механические свойства разнородных сварных соединений должны быть не ниже механических свойств свариваемых сталей, а также должны соответствовать требованиям п. 6.10.1 ГОСТ Р 52630-2012 (табл. 15).

Таблица 15 – Минимальные нормы механических свойств сварных соединений

⁹ Обозначение непровара в корне шва

Наименование показателя	Сталь 20, Сталь 20кт	Сталь 09Г2С	Сталь типа 12Х18Н10Т
Временное сопротивление разрыву при температуре 20°С	Не ниже нижнего значения временного сопротивления разрыву основного металла по стандарту или техническим условиям для данной марки стали		
Минимальный угол изгиба при толщине не более 20 мм, °:	100	80	100
<i>Примечание:</i> Показатели механических свойств сварных соединений по временному сопротивлению разрыву и углу изгиба определяют, как среднеарифметическое результатов испытаний отдельных образцов. Общий результат считают неудовлетворительным, если хотя бы один из образцов показал значение временного сопротивления разрыву более чем на 7% и угла изгиба более чем на 10% ниже норм, указанных в данной таблице.			

Результаты испытания на статическое растяжение представлены в таблице 15.

На статическое растяжение испытывалось по два образца из каждого соединения. В таблице 16 приведено среднее арифметическое значение полученных результатов, а также указано место разрушения образцов через запятую.

Таблица 16 – Результаты испытания сварных соединений на статическое растяжение

Номер образца	R_T , кН	σ_T , МПа	R_B , кН	σ_B , МПа	Место разрыва образцов	Соответствие требованиям ГОСТ Р 52630
Партия 1						
1	49	390	65	515	ЗТВ, ЗТВ	Соответствует
2	44	346	64	507	ОМ, ОМ	Соответствует
3	44	351	63	502	ОМ, ОМ	Соответствует
4	57	452	75	596	ОМ, ОМ	Соответствует
5	59	469	72	567	ОМ, ОМ	Соответствует
6	47	378	63	501	ОМ, ОМ	Соответствует
7	58	348	76	454	ОМ, ОМ	Соответствует
8	47	278	70	415	ОМ, ОМ	Соответствует
9	48	300	76	472	ОМ, ОМ	Соответствует
10	70	414	91	542	ОМ, ОМ	Соответствует
Партия 2						
1	58	460	72	570	ОМ, ОМ	Соответствует
2	58	461	74	591	ОМ, ШОВ	Соответствует

Номер образца	P_T , кН	σ_T , МПа	P_B , кН	σ_B , МПа	Место разрыва образцов	Соответствие требованиям ГОСТ Р 52630
3	54	425	71	560	ЗТВ, ОМ	Соответствует
4	65	389	86	514	ОМ, ОМ	Соответствует
5	42	331	63	501	ОМ, ОМ	Соответствует
6	45	354	64	506	ОМ, ОМ	Соответствует
7	45	373	62	518	ОМ, ОМ	Соответствует
8	64	384	83	493	ОМ, ЗТВ	Соответствует
9	52	315	76	460	ШОВ, ОМ	Соответствует
10	59	353	61	366	ШОВ, ОМ	Не соответствует
Партия 3						
1	53	423	70	558	ОМ, ОМ	Соответствует
2	57	454	73	578	ОМ, ОМ	Соответствует
3	53	421	70	558	ОШЗ, ОМ	Соответствует
4	55	437	76	603	ОШЗ, ОШЗ	Соответствует
5	44	350	63	501	ОМ, ОМ	Соответствует
6	49	394	64	508	ЗТВ, ОМ	Соответствует
7	38	302	58	464	ОМ, ОМ	Соответствует
8	60	359	82	489	ЗТВ, ОМ	Соответствует
9	52	325	79	475	ОМ, ОМ	Соответствует
10	52	309	71	422	ОМ, ОМ	Соответствует

Примечание: P_T – усилие при пределе текучести, σ_T – предел текучести, P_B – усилие при пределе прочности, σ_B – предел прочности.

Статический изгиб проводили на двух образцах из каждого соединения. В растянутой зоне располагался корень шва. Все образцы изгибались до заданного угла 100 град. Угол изгиба, при котором появлялась первая трещина, фиксировался в таблице 14.

В таблице 17 представлены результаты испытаний на статический изгиб.

Таблица 17 – Результаты испытания сварных соединений на статический изгиб

Номер стыка	Диаметр оправки, мм	Расстояние между опорами	Образец	Угол изгиба	Наличие трещины (есть/нет)	Соответствие требованиям ГОСТ Р 52630
Партия 1						
1	12	30	1.1	100	нет	соответствует
			1.2	100	нет	соответствует
2	12	30	2.1	100	нет	соответствует
			2.2	100	нет	соответствует
3	12	30	3.1	100	нет	соответствует
			3.2	100	нет	соответствует
4	12	30	4.1	100	нет	соответствует
			4.2	100	нет	соответствует
5	12	30	5.1	100	нет	соответствует
			5.2	100	нет	соответствует
6	12	30	6.1	100	нет	соответствует
			6.2	100	нет	соответствует
7	16	40	7.1	100	нет	соответствует
			7.2	100	нет	соответствует
8	16	40	8.1	100	нет	соответствует
			8.2	100	нет	соответствует
9	16	40	9.1	100	нет	соответствует
			9.2	100	нет	соответствует
10	16	40	10.1	100	нет	соответствует
			10.2	100	нет	соответствует
Партия 2						
1	12	30	1.1	80	есть	не соответствует
			1.2	90	есть	не соответствует
2	12	30	2.1	100	нет	соответствует
			2.2	100	нет	соответствует
3	12	30	3.1	80	есть	не соответствует
			3.2	80	есть	не соответствует
4	16	40	4.1	80	есть	не соответствует
			4.2	70	есть	не соответствует
5	12	30	5.1	100	нет	соответствует
			5.2	100	нет	соответствует
6	12	30	6.1	100	есть	не соответствует
			6.2	100	нет	соответствует
7	12	30	7.1	100	нет	соответствует
			7.2	100	нет	соответствует
8	16	40	8.1	20	есть	не соответствует
			8.2	30	есть	не соответствует
9	16	40	9.1	50	есть	не соответствует
			9.2	100	нет	соответствует
10	16	40	10.1	90	есть	не соответствует
			10.2	80	есть	не соответствует
Партия 3						

Номер стыка	Диаметр оправки, мм	Расстояние между опорами	Образец	Угол изгиба	Наличие трещины (есть/нет)	Соответствие требованиям ГОСТ Р 52630
1	12	30	1.1	100	нет	соответствует
			1.2	100	нет	соответствует
2	12	30	2.1	100	нет	соответствует
			2.2	100	нет	соответствует
3	12	30	3.1	100	нет	соответствует
			3.2	80	есть	не соответствует
4	16	40	4.1	20	есть	не соответствует
			4.2	100	нет	соответствует
5	12	30	5.1	100	нет	соответствует
			5.2	100	нет	соответствует
6	12	30	6.1	100	нет	соответствует
			6.2	90	есть	не соответствует
7	12	30	7.1	100	нет	соответствует
			7.2	100	нет	соответствует
8	16	40	8.1	100	нет	соответствует
			8.2	100	нет	соответствует
9	16	40	9.1	40	есть	не соответствует
			9.2	50	есть	не соответствует
10	16	40	10.1	100	нет	соответствует
			10.2	100	нет	соответствует

Фото образцов после механических испытаний представлены в Приложении Г.

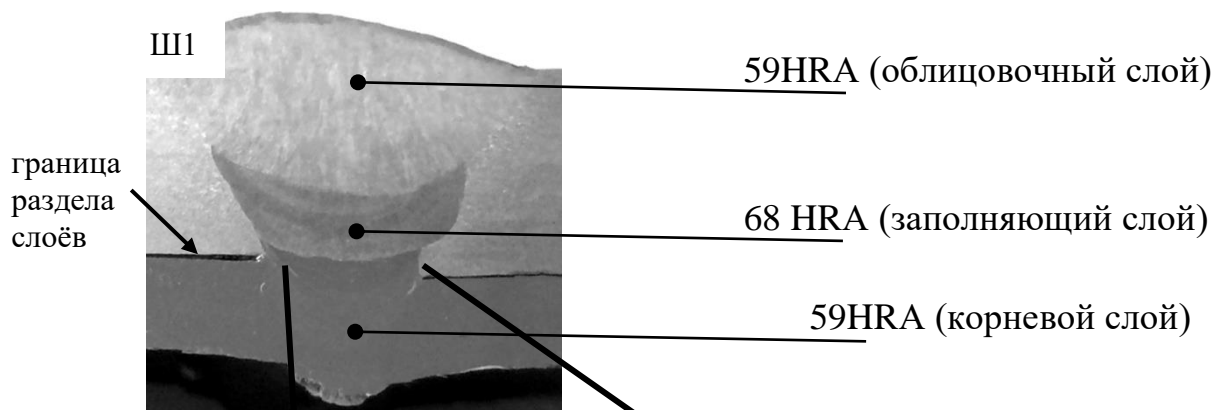
Для пояснения причин образования трещин при изгибе сварных соединений, выполненных электродами марки ОК 61.30 независимо от диаметра электродов, проведен металлографический анализ.

Таблица 18 – Металлографические шлифы

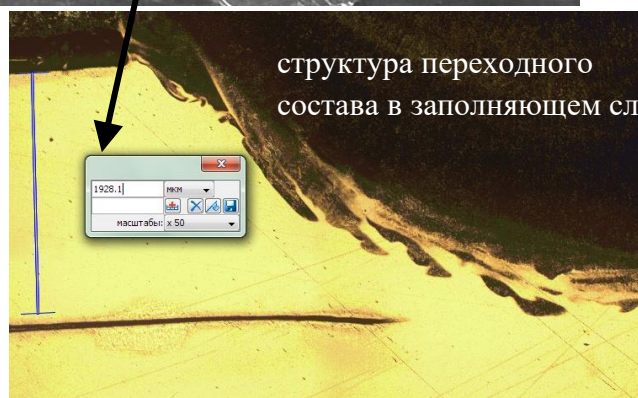
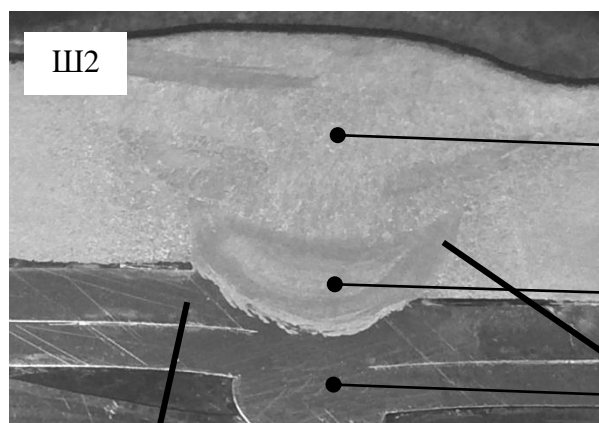
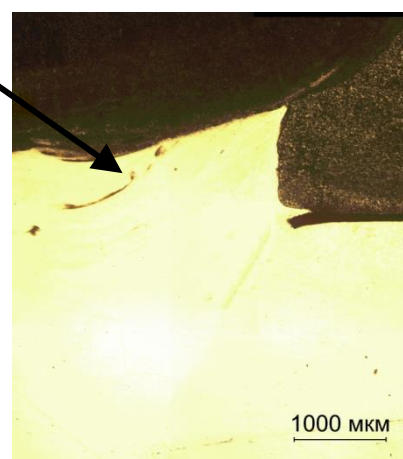
Номер шлифа	Основной металл трубы	Размеры сварного соединения, мм	Марка электродов для корневого слоя шва	Диаметр электродов, мм
Ш1	Сталь 20	Ø325×8	ЭА-395/9	3,0
Ш2	09Г2С	Ø159×6	ОК 61.30	2,5
Ш3	Сталь 20кт	Ø114×8	ОК 61.30	3,2

Шлифы полировались с использованием пасты на основе оксида хрома (III) №2. Для выявления структуры травление осуществляли методом окунания в реактив $\text{HNO}_3:\text{H}_2\text{O}=2:100$ с выдержкой 3...5 секунд. Исследования макро- и микроструктуры производили с использованием микроскопа OLYMPUS GX51.

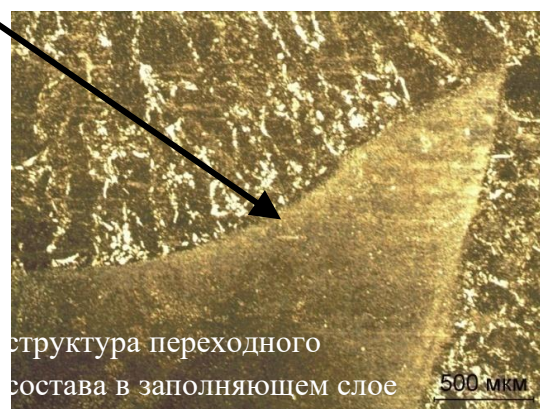
На рисунке 14 представлены фотографии шлифов.



а)



б)



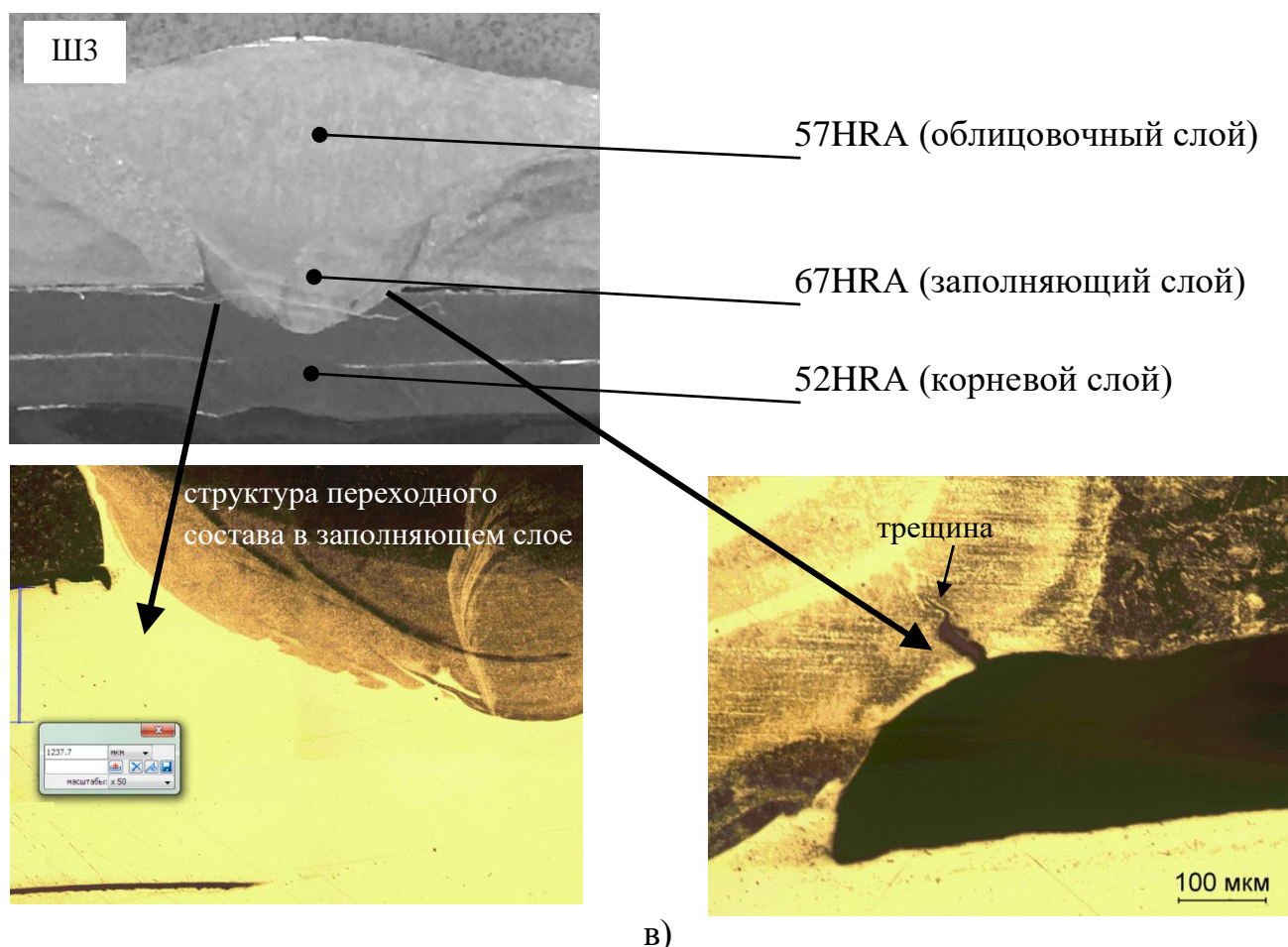


Рисунок 14 – Микроструктура сварных соединений: а,б,в

При выполнении заполняющего слоя за счет частичного перемешивания металла электродов феррито-перлитного (LB-52U) и аустенитного (ЭА-395/9, ОК 61.30) составов формируются переходные структуры, имеющие повышенную твёрдость.

На макрофотографиях исследуемых образцов видно, что при выполнении корневого слоя шва электродами марки ОК 61.30 (Ш2, Ш3) независимо от их диаметра наблюдается его глубокое проплавление при заполнении разделки электродами LB-52U. Высота остаточного аустенитного слоя в 1,5...2 раза ниже коррозионностойкого наконечника. Переходный слой, обладающий повышенной хрупкостью, находится на уровне границы раздела разнородных сталей, являющейся концентратором напряжений.

При подготовке образцов таких сварных соединений для механических статических испытаний, со стороны корневого слоя шва оказываются

переходные структуры. В процессе изгиба они находятся в растянутой зоне и способствуют формированию трещин при малом угле загиба.

Наложение заполняющего слоя шва по корневому слою, выполненному электродами ЭА-395/9, не вызывает значительного проплавления за счет наличия в составе аустенитных электродов 5 % тугоплавкого карбидообразующего молибдена. Высота коррозионностойкого слоя шва превышает суммарную толщину подкладных кольцевых наконечников. Переходный слой (заполнение) находится выше границы раздела наконечников и трубы. При испытании данных сварных соединений на статический изгиб корнем наружу в растянутой зоне находится пластичный аустенитный металл позволяющий получить требуемый угол изгиба без образования трещин.

3.4 Испытание сварных соединений на стойкость к питтинговую коррозию

При испытании сварных соединений на стойкость к питтинговой коррозии из сварных стыков вырезались образцы размерами 50*50 толщиной, равной толщине стенки. Образцы взвешивались до начала испытания, погружались в раствор хлорного железа по ГОСТ 9.912 и выдерживались в нём в течение 24 часов.

После выдержки в растворе образцы просушивались, очищались от ржавчины и заново взвешивались. Средняя потеря массы независимо от применяемого сочетания электродов составила 1,2 мг. Потеря массы образцов вследствие коррозии происходит за счет низколегированного слоя.

На фотографиях отчетливо видно потемнение основного слоя трубы и слоёв, выполненных электродами марки ЛБ-52У, на рисунке 15.

Со стороны корня шва следов питтинговой коррозии не наблюдается.

Рисунок 15. Внешний вид сварных соединений после испытаний на стойкость к питтинговой коррозии

3.4 Измерения микротвёрдости

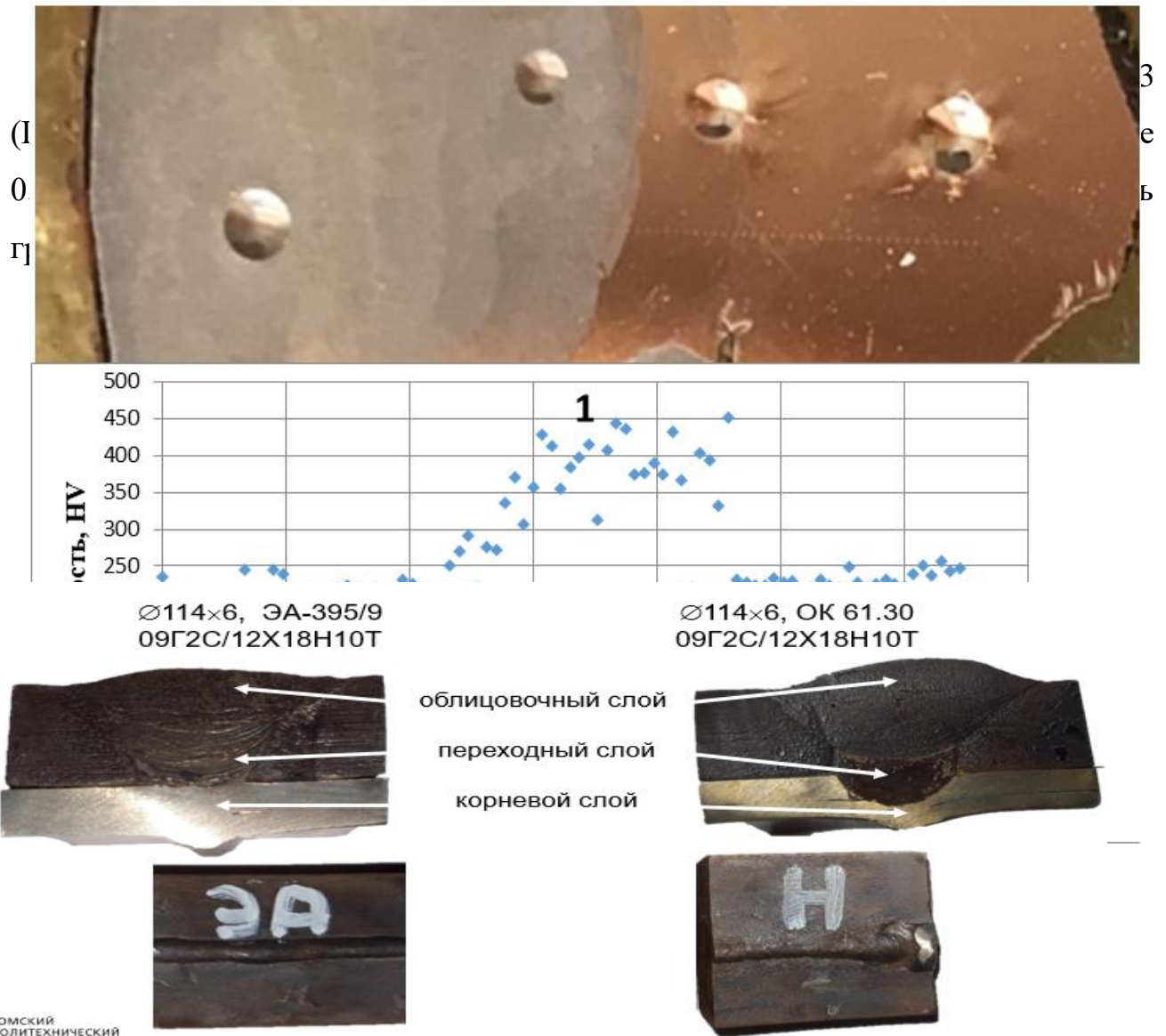


Рисунок 16 – Диаграмма микротвердости №1

Средний уровень микротвердости корневого слоя шва образца №1, выполненного электродами аустенитного типа составляет 240HV. Распределение микротвердоси в данном слое носит равномерный характер.

При выполнении второго слоя электродами феррито-перлитного типа происходит перемешивание металла аустенитного и перлитного слоев, что способствует повышению среднего уровня микротвердости до 450HV. При этом распределение микротвердости носит неравномерный характер. Неравномерный характер распределения микротвердости сохраняется при заполнении последующих слоев электродами феррито-перлитного типа. При этом средний уровень твердости данных слоев снижается до 200HV.

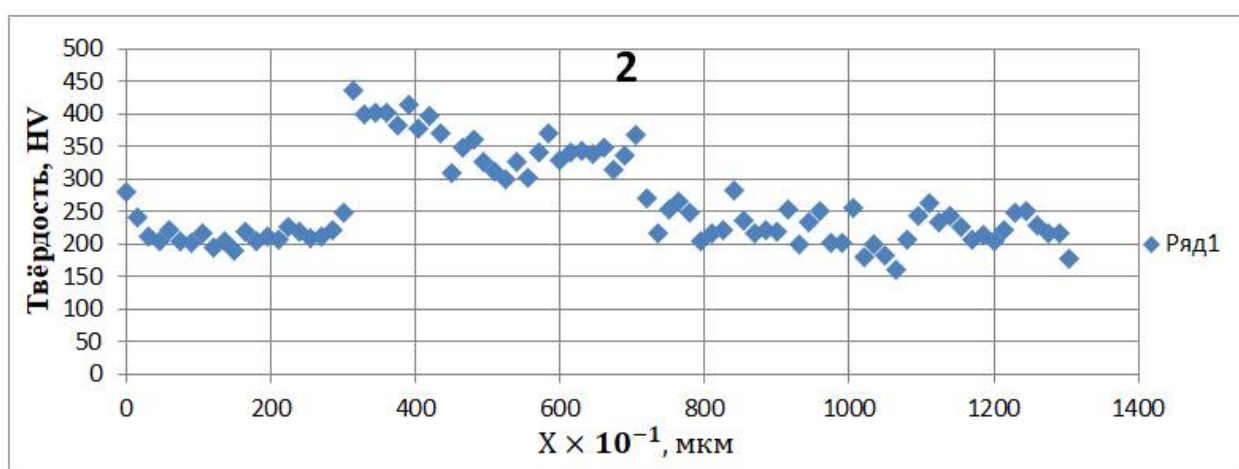


Рисунок 17 – Диаграмма микротвердости №2

Средний уровень микротвердости корневого слоя шва образца №2 составляет 210 HV, а облицовочного слоя 235 HV. Таким образом, разница в уровнях твердости достигает 11%.

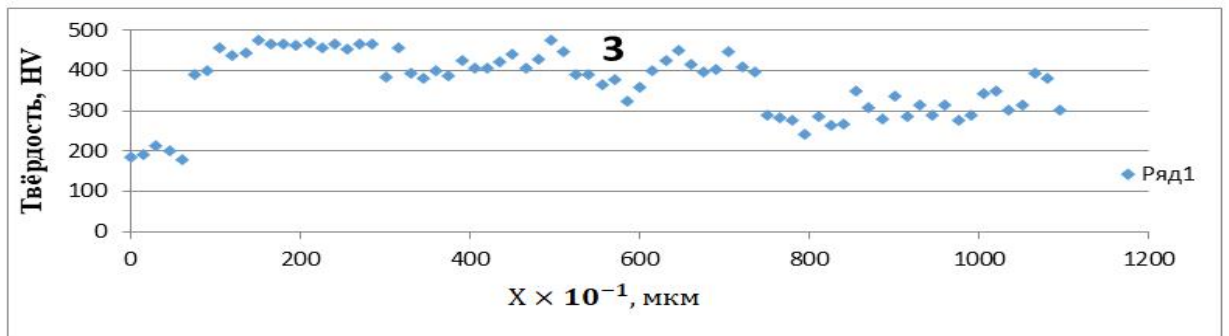


Рисунок 18 – Диаграмма микротвердости №3

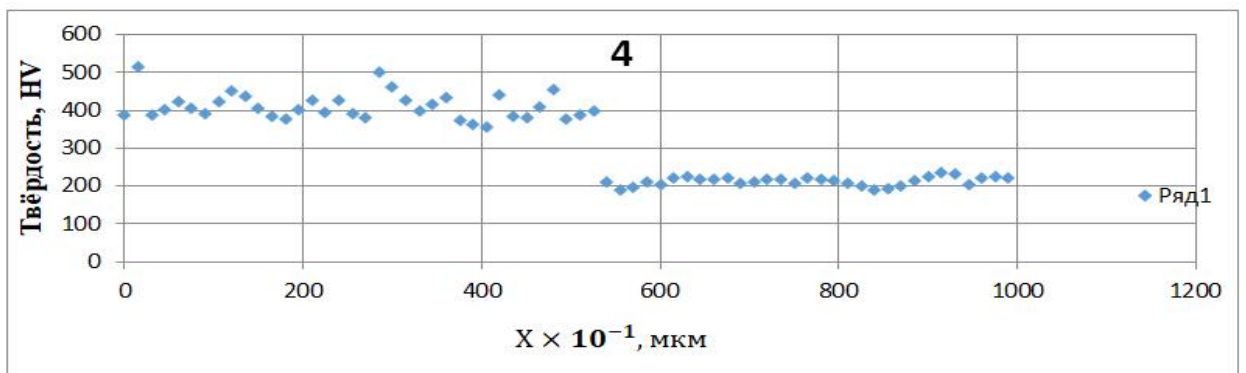


Рисунок 19 – Диаграмма микротвердости №4

Средний уровень микротвердости корневого слоя шва образца №4 составляет 205 HV, а облицовочного слоя 420 HV. Таким образом, разница в уровнях твердости достигает 51%.

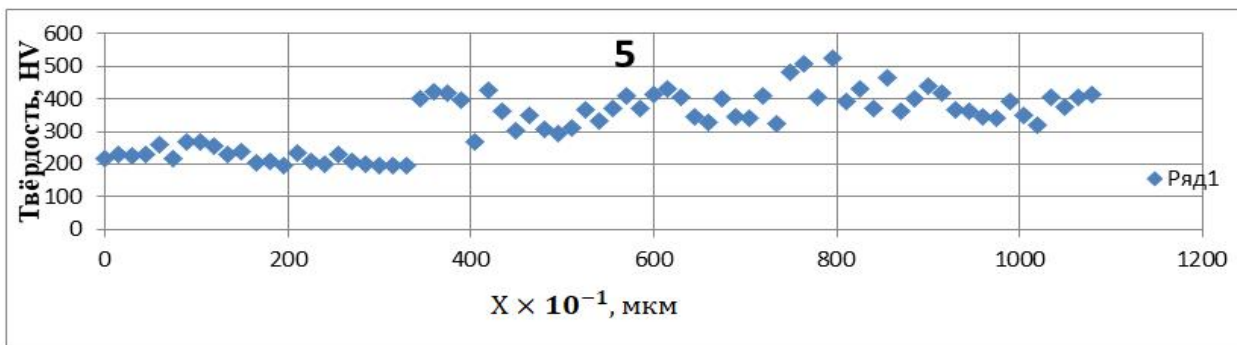


Рисунок 20 – Диаграмма микротвердости №5

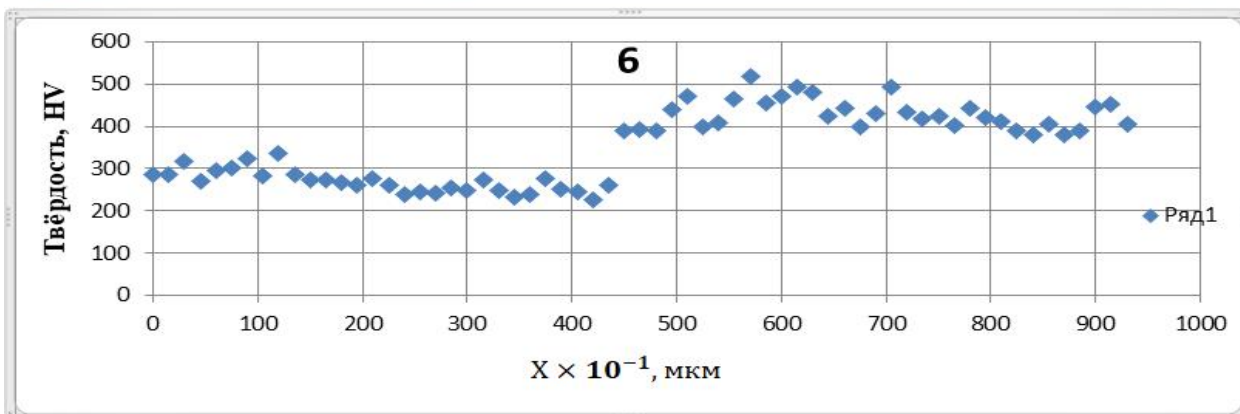
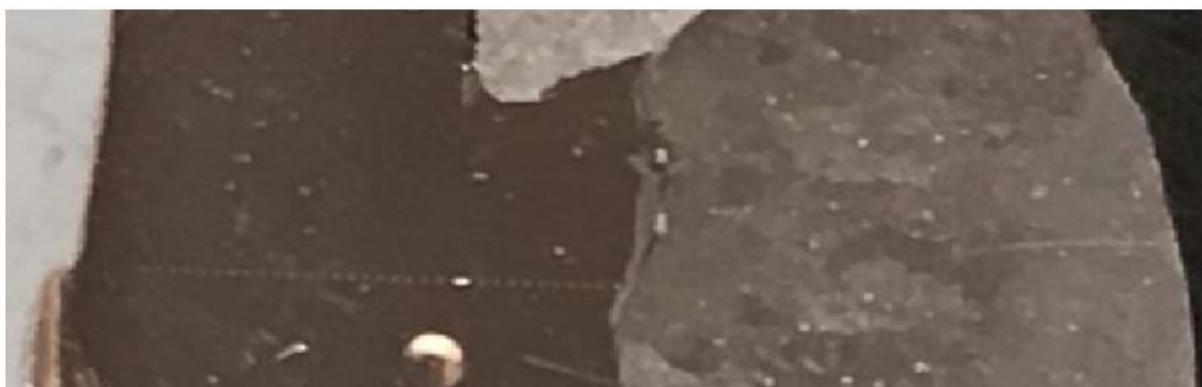


Рисунок 21 – Диаграмма микротвердости №6

Разница в уровнях твердости слоев шва, выполненного в образце №3 составляет 25%, в образцах №5 и №6 – 35 и 37% соответственно.

4 Результаты проведенного исследования

1. При подготовке стыков труб обеспечить плотное прилегание внутренних колец из нержавеющей стали к стенке трубы, а также между собою. Максимально допустимый местный зазор между слоями 0,2 мм на длине не более 10 мм (указано на рис. 3а).

2. При формировании корневого слоя шва во избежание прогорания тонкостенного кольца из нержавеющей стали, имеющей высокое удельное сопротивление, необходимо обеспечить равномерное притупление на внутреннем подкладном кольце из нержавеющей стали по всему периметру 1,5 мм, а зазор между стыкуемыми элементами выставлять на 0,5 мм меньше, чем рекомендовано по ГОСТ 16037-80.

3. Во всех случаях выполнения корневого слоя шва электродами для сварки нержавеющей стали, кроме сварки корневого слоя шва электродами марки ЭА-395/9 в потолочном положении, сила сварочного тока должна быть на 10...15 % ниже рекомендованных на пачках и в НТД значений.

4. При сварке корневого слоя шва электродами марки ЭА-395/9 в потолочном положении сила сварочного тока должны быть увеличена на 10...15 %

5. При сборке стыков труб увеличить количество рекомендуемых прихваток на одну/две для снижения деформации нержавеющей подкладного кольца в процессе сварки.

6. В случае сварки корня шва электродами марки ОК 61.30 диаметром 2,5 и/или 3,2 мм выполнять не менее 2 слоев во избежание появления хрупких структур на границе раздела двухслойной стали.

7. Рекомендуется для выполнения корневого слоя шва двухслойных сталей «аустенитная-феррито-перлитная» использовать электроды типа ЭА-395/9, НИАТ-5 и другие, разрешенные к применению СТО 00220368-011-2007, в химическом составе которых имеются тугоплавкие крабидообразующие элементы и повышенное содержание никеля.

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

5.1 Предпроектный анализ

На сегодняшний день с развитием науки, непосредственно развиваются и все отрасли промышленности. Конкуренция технологий и разработок, внедряются и замещают устаревшую продукцию с рынка. Внедрение новой технологии происходит тем больше чем больше надежность и экономическая эффективность.

Все то что мы видим вокруг, создано из различных материалов, различающихся своим назначением, свойством и ценой. И большинство желает иметь самое лучшее, что может позволить себе по доступной цене. Крупные компании не являются исключением ведь независимо от надежности разработки, главным успехом любой компании является увеличение дохода путем снижения затрат.

5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Данное исследование посвящено изучению исследования технологии свариваемости трубопроводов из двуслойных сталей. Данное исследование позволит разработать оптимальную технологию свариваемости трубопровода из двуслойных сталей. Результаты исследования целесообразно применить в производстве для прокладки труб в любых зонах, в особенности подверженных коррозии.

Итак, целевой рынок результатов исследования будет включать в себя все отрасли промышленности, нуждающиеся в высокой коррозионной стойкости и прочности изделия.

5.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

В настоящее время строительство магистрального трубопровода является сложной технической задачей, при выполнении которой должны строго соблюдаться все требования, заложенные на стадии проектирования и все требования в соответствии со строительными нормами и правилами [3]. Кроме того, для указанного региона характерно наличие участков многолетнемерзлых грунтов, при оттаивании которых нарушатся устойчивость трубопровода и трубопровод испытывает дополнительные нагрузки, приводящие к изменению его напряженно-деформированного состояния [10-11].

Коррозия трубопроводов, пожалуй, самый хорошо изученный и систематизированный вид коррозии трубопроводов. По крайней мере, магистральные трубопроводы - это единственный вид трубопроводов, защита от коррозии которых регламентируется отдельным национальным стандартом ГОСТ Р 51164-98* «Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии». Конечно, ГОСТ Р 51164-98* в основном посвящен методам противокоррозионной защиты, а не механизмам коррозионного разрушения, однако, при его внимательном изучении можно выделить и определенную систематизацию опасности коррозии магистральных трубопроводов в зависимости от ее механизма. Сразу следует отметить, что магистральные трубопроводы используются для транспорта подготовленных коррозионно-инертных продуктов, поэтому для них опасность представляет только наружная коррозия, причем на участках надземной прокладки только сравнительно неопасная атмосферная коррозия [9]. Таким образом сварка двуслойных сталей для магистральных трубопроводов будет очень важна для дальнейшего её изучения с целью применения и внедрения в производство, что очень важно, как с практической точки зрения, так и с экономической.

5.2 Быстрый анализ

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

5.2.1 Описание главных, основных и вспомогательных функций, выполняемых объектом

Таблица 5.1 – Классификация функций, выполняемых объектом

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

Продолжение таблицы 5.1

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

5.2.1 Определение значимости выполняемых функций объектом

Таблица 5.2. – Матрица смежности

	Основание	Колонна	Гайка	Зажимной винт	Барашек грубого движения	Барашек микрометрического движения	Рукоятка
Основание	=	>	>	>	<	<	>
Колонна	<	=	>	>	<	<	>
Гайка	<	<	=	<	<	<	<
Зажимной винт	<	<	>	=	<	<	>
Барашек грубого движения	>	>	>	>	=	<	>
Барашек микрометрического движения	>	>	>	>	>	=	>
Рукоятка	<	<	>	<	<	<	=
	Барашек	Предметный столик	Винт	Стопорный винт	Рукоятка	Призма	Пластина
Барашек	=	<	>	>	>	<	>
Предметный столик	>	=	>	>	>	<	>
Винт	<	<	=	<	<	<	>
Стопорный винт	<	<	>	=	>	<	>
Рукоятка	<	<	>	>	=	<	>
Призма	>	>	>	>	>	=	>
Пластина	<	<	>	<	<	<	=
Механизм нагружения(шток)	=	<	>	>	<	>	<
Оправка с алмазной пирамидой	>	=	>	>	>	>	<
Гирька	<	<	=	<	<	>	<
Рукоятка арретира	<	<	<	=	<		<
Осветитель	>	<	>	>	=	>	<
Свето-фильтры	<	<	<	<	<	=	<
Трансформатор	>	>	>	>	>	>	=
Винтовой окуляр микрометр	>	>	>	>	>	>	<
							=

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

Преобразовываем матрицы смежности в матрицы количественных соотношений функций.

Таблица 5.3 – Матрица количественных соотношений функций

	Основание	Колонна	Гайка	Зажимной винт	Барашек грубого движения	Барашек микрометрического движения	Рукоятка	Итого
Основание	1	1,5	1,5	1,5	0,5	0,5	1,5	8
Колонна	0,5	1	1,5	1,5	0,5	0,5	1,5	7
Гайка	0,5	0,5	1	0,5	0,5	0,5	1,5	5
Зажимной винт	0,5	0,5	1,5	1	0,5	0,5	1,5	6
Барашек грубого движения	1,5	1,5	1,5	1,5	1	0,5	1,5	9
Барашек микрометрического движения	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1	1,5	10
Рукоятка	0,5	0,5	1,5	0,5	0,5	0,5	1	5
								Σ=50

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

	Механизм нагружения(шток)	Оправка с алмазной пирамидой	Гирька	Рукоятка арретира	Осветитель	Светофильтры	Трансформатор	Винтовой окуляр микрометр	
Механизм нагружения(шток)	1	0,5	1,5	1,5	0,5	1,5	0,5	0,5	
Оправка с алмазной пирамидой	1,5	1	1,5	1,5	1,5	1,5	0,5	0,5	
Гирька	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1,5	0,5	0,5	
Рукоятка арретира	0,5	0,5	0,5	1	0,5	1,5	0,5	0,5	
Осветитель	1,5	0,5	1,5	1,5	1	1,5	0,5	0,5	
Светофильтры	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,5	0,5	
Трансформатор	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1	1,5	
Винтовой окуляр микрометр	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0,5	1	
		Итого							
Механизм нагружения(шток)		8,5						0,14	
Оправка с алмазной пирамидой		9,5						0,16	
Гирька		5,5						0,09	
Рукоятка арретира		5,5						0,09	
Осветитель		8,5						0,14	
Светофильтры		5,5						0,09	
Трансформатор		11,5						0,19	
Винтовой окуляр микрометр		10,5						0,17	

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

5.2.2 Определение значимости функций

Определяем значимость функций путем деления балла, полученного по каждой функции, на общую сумму баллов по всем функциям. Так, для основания $8/50=0,16$; колонны $7/50=0,14$; $5/50=0,1$; зажимного винта $6/50=0,12$; барашка грубого движения $9/50=0,18$; барашка микрометрического движения $10/50=0,2$; рукоятки $5/50=0,1$; барашка $8,5/50=0,17$; предметного столика $9/50=0,18$; винта $5/50=0,1$; стопорного винта $7/50=0,14$; рукоятки $7/50=0,14$;

призмы $9,5/50=0,19$; пластины $4/50=0,08$; механизма нагружения (шток) $8,5/50=0,17$; оправки с алмазной пирамидой $9,5/50=0,19$; гирьки $5,5/50=0,11$; рукоятки арретира $5,5/50=0,11$; осветителя $8,5/50=0,17$; светофильтров $5,5/50=0,11$; трансформатора $11,5/50=0,23$; винтового окуляр-микрометра $10,5/50=0,21$ [43].

5.2.3 Анализ стоимости функций, выполняемых объектом исследования

Таблица 5.4 – Определение стоимости функций, выполняемых объектом исследования

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

Винт	1	Обеспечивает перемещение в двух взаимно перпендикулярных плоскостях столика	0,45	0,76	34,5	22,8	38,3	95,6
Стопорный винт	1	Обеспечивает стопорение столика	0,44	0,32	45,2	32,4	50,1	127,7
Рукоятка	1	Обеспечивает поворот столика	0,34	0,44	42,1	30,1	47,2	19,4
Пластина	1	Обеспечивает поместить предмет любой конфигурации	1	0,76	54,2	44,1	59,7	158
Механизм нагружения (шток)	1	Обеспечивает необходимое нагружение	0,7	0,43	45,7	34,9	50,1	130,7
Оправка с алмазной пирамидой	1	Обеспечивает нанесение укола на исследуемый объект	0,8	0,67	67,2	45,5	72,9	185,6
Гирька	1	Обеспечивает необходимое усилие	0,45	0,62	43,3	33,8	46,7	123,8
Рукоятка арретира	1	Обеспечивает спускание штока	0,32	0,67	46,5	40,1	48,9	135,5
Осветитель	1	Обеспечивает освещение исследуемого предмета	0,8	0,9	57,5	50,2	62,5	170,2
Светофильтры	1	Обеспечивает контрастность исследуемого предмета	0,25	0,31	45,7	38,2	48,4	132,3
Трансформатор	1	Обеспечивает питание	1,57	1,2	67,9	58,9	77,7	204,5
								Σ=3165,7

5.2.4 Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ

Информация об объекте исследования, собранная в рамках предыдущих стадий, на данном этапе обобщается в виде функционально – стоимости диаграммы (рис. 5.1)

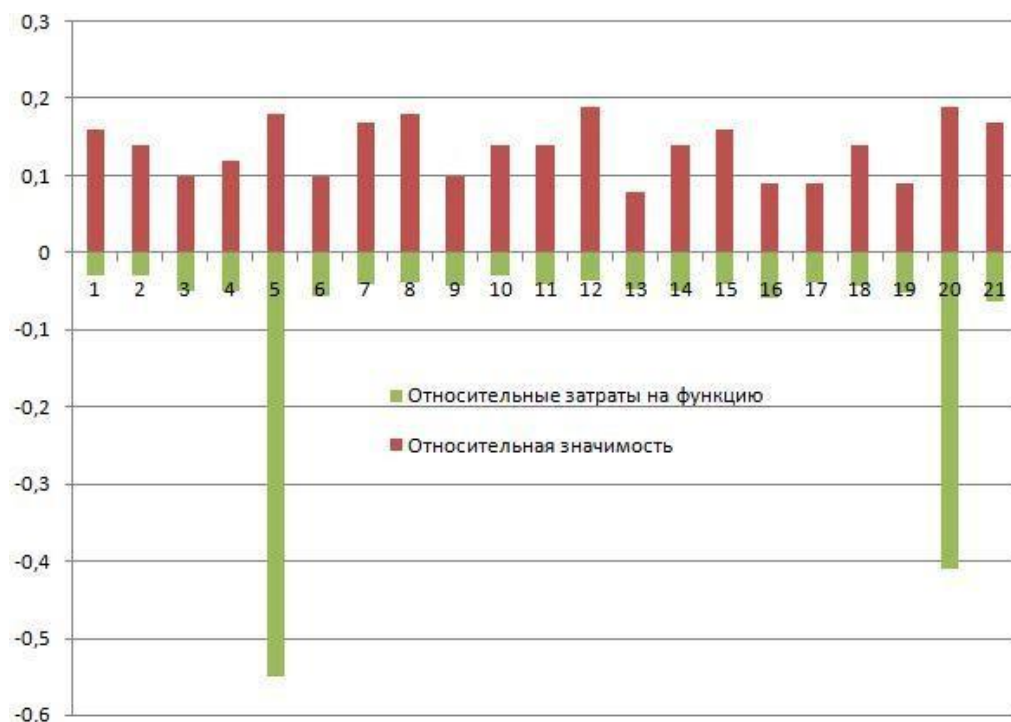


Рисунок 5.1 – Функционально-стоимостная диаграмма

Анализ, приведенный выше ФСД, показывает явное наличие рассогласования по функциям 5, 20, которые являются: барашек грубого сечения и светофильтры. Необходимо провести работы по ликвидации данных диспропорций [44].

5.2.5 Оптимизация функций, выполняемых объектом

В качестве оптимизации данных функций можно выделить следующее:

1. применения принципиально новых конструкторских решений;
2. унификации сборочных единиц и деталей;
3. использование новых заготовок и материалов;
4. оптимизация параметров надежности.

5.3 SWOT – анализ

В этом разделе необходимо выявить сильные и слабые стороны научного проекта, а также возможности и угрозы для его дальнейшей реализации.

Сильные стороны проекта.

Во-первых, научное исследование является фундаментальным, на сегодняшний день, согласно обзору литературных источников, развитие магистральных трубопроводов является очень важно для нефтедобывающих компаний. На сегодняшний день очень много времени затрачивается на отработку ремонта магистральных трубопроводов после дефекта – коррозии.

Во-вторых, результаты исследования могут быть применены не только в нефтегазовой промышленности, но и других видах промышленности связанных с прокладкой труб в зонах с повышенной коррозией для металла

Слабые стороны проекта.

Данное исследование зависит от дорогостоящего оборудования для исследования структуры после сварки двуслойных сталей, и очень важный риск, это выход из строя этого оборудования.

Конкуренция, на сегодняшний день состоит только в том, что уже существуют методы по которым работают предприятия и уход от них для них будут взывать опасения, но если продолжиться исследовательская работа в этом направлении, то это приведёт к несомненному развитию и Результаты данного исследования будут широко применяться.

С уверенностью можно сказать, что все сильные стороны проекта оказывают очень сильное влияние на возможность его успешного завершения и последующего внедрения в производство. А именно такие сильные стороны как: фундаментальность исследования, финансовая поддержка, практическое внедрение результатов исследования в производство

Таблица 5.5 – SWOT – анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	С1. Финансирование из государственного бюджета.	Сл1. Дорогостоящее использование оборудования для исследования
	С2. Фундаментальность исследования.	
С3. Возможность практического внедрения результатов исследования в высокопроизводительное нефтегазовое дело	Сл2 Замена труднодоступных и дорогостоящих элементов	
Возможности:	Поддержка со стороны СО РАН очень сильно скажется на продвижении исследования и ускорит темпы внедрения результатов исследования в производство	Помощь СО РАН может выражаться в уменьшении стоимости пользования установкой до той величины, которую сможет финансировать государственный бюджет для данного исследования
В1. Заключение соглашения между НИ ТПУ и СО РАН о взаимной помощи в этом исследовании.		
В1. Приобретение дополнительного оборудования в ИШНКБ ТПУ: РЭМ и ПЭМ, которое может приносить прибыль.		

Продолжение таблицы 5.5

<p>Угрозы: У1. Закрытие проекта в связи с нехваткой финансов и материальной базы (специального оборудования) для проведения исследования. У2. Выход из строя труднодоступных и дорогостоящих элементов оборудования для исследования.</p>	<p>Государство заинтересовано в развитии науки и всё больше средств вкладывать в финансирование научной деятельности. Чем быстрее результаты исследования будут внедрены в производство, тем быстрее исчезнут факторы, угрожающие развитию исследования. В дальнейшем возможна заинтересованность производственной стороны в финансировании проекта и его развития.</p>	<p>На данный момент слабые стороны связаны с выходом из строя дорогостоящих элементов оборудования, нехваткой финансов для проведения исследования.</p>
---	---	---

5.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

В данном разделе проводится оценка текущего исследования и степень его готовности к коммерциализации, а также определение уровня собственных знаний для его проведения. Специальная форма, содержащая показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта показана в таблице 6.6

Таблица 6.6 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический раздел	4	3
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического раздела	4	4

Продолжение таблицы 6.6

3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	4
4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	2	3
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	5	4
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	4	3
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	3
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	3	3
9	Определены пути продвижения научной разработки	3	4
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	3	4
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	4	3
13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	4	3
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	4	4
15	Проработан механизм реализации научного проекта	5	4
ИТОГО БАЛЛОВ		52	49

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i \quad (10)$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению; B_i – балл по i -му показателю.

Значение $B_{\text{сум}}$ позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. Так, если значение $B_{\text{сум}}$ получилось от 59 до 45 – то перспективность выше среднего.

Для успешной коммерциализации текущей разработки необходимы небольшие объемы инвестиции в области маркетинговых исследований, детальная проработка вопросов международного сотрудничества с

привлечением специалистов из данной отрасли в команду проекта и повышение уровня компетенций разработчика в области маркетинговых исследований рынков сбыта. По результатам оценки готовности научного проекта к коммерциализации его перспективность выше среднего.

5.5 Методы коммерциализации результатов научно технического исследования

Задача данного раздела магистерской диссертации – это выбор метода коммерциализации объекта исследования и обоснование его целесообразности.

Методом коммерциализации результатов научно-технического исследования является –передача интеллектуальной собственности в уставной капитал предприятия.

Заинтересованными лицами в полученных данных будут являться сотрудники ИШНКБ ТПУ. Исследование свариваемости труб, имеющих металлизационное защитное покрытие.

5.6 Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы.

Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта [43].

Устав проекта документирует бизнес-потребности, текущее понимание потребностей заказчика проекта, а также новый продукт, услугу или результат, который планируется создать [43].

Устав научного проекта магистерской диссертации имеет структуру, представленную ниже [43].

1) Цели и результат проекта. Информация по заинтересованным сторонам проекта представлена в таблице 6.7

Таблица 5.7 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Промышленность направленная на создание магистральных трубопроводов	Исследование позволит получить данные, которые помогут провести углубленный анализ структуры двуслойной стали при сварке и в последствии подверженной коррозии, а также особенности технологии
Нефтегазовая промышленность	

В таблице 5.8, представлена информация о иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 5.8 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Исследование особенностей сварке двуслойных сталей с последующей коррозией.
Ожидаемые результаты проекта:	Получение экспериментальных результатов микротвердости сталей после коррозии.
Критерии приемки результата проекта:	Получение четких результатов микросъёмки для проведения анализа
Требования к результату проекта:	Требование: Выполнение поставленных задач Научное объяснение результатов экспериментов Заключение о результатах исследования

2) Организационная структура проекта. Информация об участниках проекта представлена в табличной форме (таблица 5.9).

Таблица 5.9 – Рабочая группа проекта

п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции
1	Першина А.А. д.т.н., доцент ИШНКБ ТПУ	Руководитель	Отвечает за реализацию, координирует деятельность участников проекта
2	Саидов Ф.Б. магистрант ИШНКБ ТПУ	Исполнитель	Выполнение экспериментальной части исследовательской части

3) Ограничения и допущения проекта.

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» – параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта.

Таблица 5.10 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	
3.1.1. Источник Финансирования	Финансовой поддержке государственного задания Министерства образования и науки РФ на проведение научно-исследовательских работ ТПУ
3.2. Сроки проекта:	
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	24.02.2021
3.2.2. Дата завершения проекта	

5.7 Планирование управления проектом

5.7.1 Структура работ в рамках научного исследования

Научное исследование будет состоять из четырех основных этапов, таких как: разработка технического задания и календарного плана, теоретическая подготовка, экспериментальные исследования и обобщение и оценка результатов по данной теме. Каждый этап содержит перечень важных работ, которые необходимо выполнить. В зависимости от вида работ будет свой исполнитель.

Таблица 5.11 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Выбор темы, постановка цели и задач ВКР	Научный руководитель
	2	Составление предварительного плана ВКР	Научный руководитель
Теоретическая подготовка	3	Подбор и первоначальное ознакомление с литературой по теме ВКР	Инженер
	4	Изучение и выбор метода исследований в ВКР	Инженер
	5	Написание теоретической части ВКР	Инженер
	6	Подбор оборудования и заготовок для проведения процесса	Научный руководитель
Экспериментальные исследования	7	Наплавление металла заготовки	Инженер
	8	Получение результатов исследования	Инженер
	9	Создание базы данных исследования	Инженер
	10	Анализ базы исследования/ получение результатов	Научный руководитель Инженер
Обобщение и оценка результатов	11	Оформление итогового варианта ВКР	Инженер
	12	Согласование и проверка работы с научным руководителем	Научный руководитель Инженер

Таким образом, выделили основные этапы работ и их содержание, а также исполнителей, выполняющие данные работы.

5.7.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Для определения ожидаемого значения трудоемкости используем формулу

$$t_{oti} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} \quad (11)$$

где t_{ori} – ожидаем трудоемкость выполненной i -й работы чел. - день.

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -го работы (оптимистическая оценка в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел. – дн.

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

После того, как рассчитали t_{ori} , рассчитывается продолжительность каждой работы в рабочих днях:

$$T_{pi} = \frac{t_{ori}}{Ч_i} \quad (12)$$

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

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же

работу на данном этапе, чел.

Составление предварительного плана ВКР:

$t_{maxi} = 3$ дня; $t_{mini} = 1$ день.

$$t_{ожи} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} = \frac{3 + 6}{5} = 1,5 \text{ дня;}$$

$$T_{pi} = \frac{t_{ori}}{Ч_i} = \frac{1,4}{1} = 1,4 \sim 2 \text{ дня;}$$

Подбор и первоначальное ознакомление с литературой по теме ВКР:

$t_{maxi} = 14$ дней; $t_{mini} = 7$ дней.

$$t_{ожи} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} = \frac{21 + 28}{5} = 9,8 \text{ дня;}$$

$$T_{pi} = \frac{t_{ori}}{Ч_i} = \frac{9,8}{2} = 4,9 \sim 5 \text{ дня;}$$

Изучение и выбор метода исследований в ВКР:

$t_{maxi} = 14$ дней; $t_{mini} = 10$ дней.

$$t_{ожи} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} = \frac{30 + 28}{5} = 11,6 \text{ дня;}$$

$$T_{pi} = \frac{t_{oti}}{Ч_i} = \frac{11,6}{2} = 5,8 \sim 6 \text{ дня};$$

Написание теоретической части ВКР:

$t_{maxi}=21$ день $t_{mini}=14$ дней.

$$t_{ожi} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} = \frac{42 + 42}{5} = 16,8 \text{ дня};$$

$$T_{pi} = \frac{t_{oti}}{Ч_i} = \frac{16,8}{1} = 16,8 \sim 17 \text{ дней};$$

Подбор оборудования и заготовок для проведения эксперимента

$t_{maxi}=12$ день $t_{mini}=7$ дней.

$$t_{ожi} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} = \frac{21 + 24}{5} = 9 \text{ дней};$$

$$T_{pi} = \frac{t_{oti}}{Ч_i} = \frac{9}{2} = 4,5 \sim 5 \text{ дней};$$

Получение результатов исследования и создание базы данных исследования

$t_{maxi}=14$ день $t_{mini}=7$ дней.

$$t_{ожi} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} = \frac{21 + 28}{5} = 9,8 \text{ дней};$$

$$T_{pi} = \frac{t_{oti}}{Ч_i} = \frac{9,8}{1} = 9,8 \sim 10 \text{ дней};$$

Анализ базы исследования/полученных результатов

$t_{maxi}=21$ день $t_{mini}=7$ дней.

$$t_{ожi} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} = \frac{21 + 42}{5} = 29,4 \text{ дня};$$

$$T_{pi} = \frac{t_{oti}}{Ч_i} = \frac{29,4}{2} = 14,7 \sim 15 \text{ дней};$$

5.7.3 Разработка графика проведения научного исследования

Для разработки графика проведения научного исследования будет использована диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

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

$$T_{ki} = T_{ri} * k_{\text{кал}}, \quad (13)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;
 T_{ri} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях; $k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{кал}} - T_{\text{пр}}} \quad (14)$$

где $T_{\text{кал}} = 365$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}} = 104$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}} = 14$ – количество праздничных дней в году.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 104 - 14}$$

Все рассчитанные значения вносим в таблицу 14, после заполнения таблицы построим календарный план-график (таблица 5.6).

График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделим различной штриховкой в зависимости от исполнителей

Таблица 6.12 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожi}$, чел-дни		Руководитель	Инж	Руководитель	Инж
Выбор темы, постановка цели и зад ВКР	3	-	5	-	3,8	-	4	-	6	-
Составление предварительного плана ВКР	1		3		1,4	-	2	-	2	-
Подбор и первоначальное ознакомление с литературой по теме ВКР	7	7	14	14	9,8	9,8	5	5	4	12
Изучение и выбор метода исследований в ВКР	10	10	14	14	11,6	11,6	6	6	2	21
Написание теоретической части ВКР	-	14	-	21		16,8	-	17	-	17
Подбор оборудования и заготовок для проведения эксперимента	7	7	12	12	9	9	5	5	5	5
Проведение эксперимента	7	7	12	12	9	9	-	10	-	10
Полчение результатов исследования	-	7	-	14	-	9,8	-	10	-	10
Создание базы данных исследования	-	7	-	14	-	9,8	-	10	-	10,5
Анализ азы исследования-полученных результатов	7	7	21	21	29,8	29,8	5	25	10	35
Оформление итогового варианта ВКР	-	10	-	21	21	14,4	-	14	-	21
Согласование и проверка работы с научным руководителем	2	2	4	4	2,8	2,8	1	1	1,5	1,5

Таблица 6.13 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	Тки, кол.Дн.	Продолжительность выполнения работ																	
				Январь			Февраль			Март			Апрель			Май					
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	Выбор темы, постановка цели и задач ВКР	Научный руководитель	6		▧																
2	Составление предварительного плана ВКР	Научный руководитель	2			▧															
3	Подбор и первоначальное ознакомление с литературой по теме ВКР	Научный руководитель, Инженер	4 12			▧															
4	Изучение и выбор метода исследований в ВКР	Научный руководитель, Инженер	2 21				▧														
5	Написание теоретической части ВКР	Инженер	17								▧	▧	▧	▧	▧	▧					
6	Подбор оборудования и заготовок для проведения эксперимента	Научный руководитель, Инженер	5 5																		
7	Проведение эксперимента	Инженер	10																		
8	Получение результатов исследования	Инженер	10																		
9	Создание базы данных исследования	Инженер	10,5																		
10	Анализ базы исследования / получение результатов	Научный руководитель, Инженер	10 35																		
11	Оформление итогового варианта ВКР	Инженер	21																		
12	Согласование и проверка работы с научным руководителем	Научный руководитель, Инженер	1,5																		

Научный руководитель - ▧ Инженер - ▧

5.8 Бюджет научного исследования. Затраты на материалы и эксперименты

Затраты на проведение научного исследования приведены в таблице 5.14

Большие затраты потребовались для проведения испытаний на испытательной машине ИР 5082-500, также довольно затратно обошлись услуги растровой электронной микроскопии РЭМ, которая необходима была для проведения исследования, не обошлось и без оборудования для рентгена и проведения испытаний [45].

Стоимость оборудования, используемого при выполнении НИР, имеющегося на кафедре отделения химической инженерии стоимостью свыше 40 тыс. рублей, учитывалось в виде амортизационных отчислений. В данном случае выбран линейный способ амортизации оборудования, при котором происходит равномерное начисление амортизации с первоначальной до остаточной стоимости (в конце срока службы) в течение всего срока использования. Текущая остаточная стоимость определяется вычитанием суммарной накопленной амортизации основного средства из первоначальной стоимости.

Формула амортизации оборудования для определения ежемесячной суммы (М):

$$\sum M = ПС * n, \quad (15)$$

где ПС – первоначальная стоимость оборудования;

n – ежемесячная норма амортизации, рассчитываемая как отношение 1 к сроку полезного использования, выраженному в месяцах.

Расчет затрат по статье «Амортизация оборудования» представлена в таблице 5.14.

Таблица 5.14 - Расчет затрат по статье «Амортизация оборудования»

Наименование оборудования	Цена оборудования, руб.	Эксплуатации оборудования, количество лет	Амортизация, руб.
Растровый электронный микроскоп (РЭМ) <i>OLYMPUS GX51</i>	1750000	8	18230
Испытательная машина ИР 5082-500	2500000	6	34725
Спектрометр АРГОН - 5СФ	3700000	8	38541

Таблица 5.15– Затраты на сырье на проведение НИР

Наименование	Затраты, руб.
Материалы	1000
Алмазные пасты	1500
Итого:	2500

5.9 Расчет фонда заработной платы

Заработная плата определяется в соответствии с количеством отработанного времени по теме и установленным штатно-должностным окладом [45].

Для техника (дипломника) месячный оклад составляет $Z_{бт}=13150$ руб/мес, для руководителя (профессора с ПКГ ППС 4) - $Z_{бп}=33162$ руб/мес.

Заработная плата рассчитывается по формуле 6 [35]:

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (16)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) рассчитывается по следующей формуле 7[46]:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} * T_{\text{раб}}, \quad (17)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

$T_{\text{р}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.,

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневную заработную плату можно рассчитать по формуле [36]:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}}}{T} \quad (18)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

T – количество рабочих дней в месяце. Принимаем 6- дневную рабочую систему, значит $T=26$ дней.

Месячный должностной оклад работника [47]:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} * k_{\text{р}}, \quad (19)$$

где $Z_{\text{б}}$ – базовый оклад, руб.;

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Теперь рассчитываем месячную заработную плату работников проекта:

$$Z_{\text{мт}} = 13150 \cdot 1.3 = 17095 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{мп}} = 33162 \cdot 1.3 = 43110.6 \text{ руб.}$$

Определяем среднедневную заработную плату:

$$Z_{\text{дн.т}} = \frac{17095}{26} = 657,5 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{дн.п}} = \frac{43110.6}{26} = 1658.1 \text{ руб.}$$

Основную заработную плату определим с допущением, что на данный проект его работники затратили 100 полных рабочих дней (8 часов в день)

$$Z_{\text{осн.т}} = 657,5 \cdot 100 = 65750 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{осн.п}} = 1658.1 \cdot 100 = 165810 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10–15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы [45].

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} * Z_{\text{осн}}, \quad (20)$$

где $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.; $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты; $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

Принимаем коэффициент дополнительно зарплаты равным 0,1 и получаем:

$$Z_{\text{доп.г}} = 0.1 * 65750 = 6575 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{доп.п}} = 0.1 * 165810 = 16581 \text{ руб.};$$

Итак, определяем полную зарплату работников:

$$C_{\text{зпт}} = 65750 + 6575 = 72325 \text{ руб.};$$

$$C_{\text{зпп}} = 165810 + 16581 = 182391 \text{ руб.}$$

Также необходимо рассчитать отчисления во внебюджетные фонды (социальные нужды) по формуле 11 [42]:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (21)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Принимаем $k_{\text{внеб}} = 0.302$.

$$C_{\text{внеб.г}} = 0.302 * 72325 = 21842,15 \text{ руб.};$$

$$C_{\text{внеб.п}} = 0.302 * 182391 = 55082,082 \text{ руб.}$$

Накладные расходы примем не более 16% от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле 12 [35]:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (22)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов. Принимаем $k_{\text{накл}} = 0.8$

$$C_{\text{накл.г}} = 0.16 * 231560 = 37049,6 \text{ руб}$$

Результаты расчета фонда заработной платы представлены в таблице 6.16

Таблица 5.16 – Фонд заработной платы

Исполнитель	Число исполнителей	Трудоемкость выполнения работы Тисп,д	Заработная плата по тарифной ставке руб./мес.	Среднедневная заработная плата, руб	Основная заработная плата исполнителя ЗП осн,руб.	Месячный должностной оклад, руб
Дипломник	1	100	13150	657,5	65750	17095
Руководитель	1	100	33162	1658.1	165810	43110.6
Итого:	2	200			231560	

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НИИ	2500
2. Затраты на амортизацию оборудования	91496
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	231560
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	23156
4. Отчисления на социальные нужды	36508,6
5. Накладные расходы	37049,6
6. Бюджет затрат НИИ	421970,2

Бюджет научного исследования, который включает материальные затраты, затраты по основной и дополнительной заработной плате, амортизацию оборудования и отчисления во внебюджетные фонды и накладные расходы и составил 421970,2руб.

5.10 Определение ресурсной финансовой и бюджетной эффективности исследования

5.10.1 Оценка сравнительной эффективности проекта

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

В нашем эксперименте экономия будет связана с резким уменьшением затрат на количество потребляемых изделий. К примеру, если взять обычную сталь и двухслойную сталь, которая была разработана в данной работе, провести с ними эксперимент. Конечный результат будет оцениваться по двум критериям:

- срок эксплуатации;
- появление и влияние коррозии на данном образце.

Исходя из данного эксперимента, можно сделать вывод о том, двухслойная сталь, т.е. та, которую мы разработали, имеет гораздо больший срок эксплуатации по сравнению с первой моделью, а также достаточно долгое время противостоит коррозии.

В нашем эксперименте экономия будет связана с уменьшением затрат на механическую обработку наплавленного изделия. К примеру, распредвал, который после наплавки коренных и шатунных шеек подвергается механической обработке и чистовой шлифовки в то время как Механическая обработка и шлифовка для мартенситностареющей наплавленной стали будет менее затратной с точки зрения экономии дорогостоящего инструмента (резцов и алмазных кругов) и время обработки будет в разы меньше, т.к. после окончательной механической обработки необходимо провести старение и деталь готова к эксплуатации, в то время как для обычной наплавки требуется

механическая обработка чистовая обработка с использованием дорогостоящих инструментов.

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. В нашем исследовании мы можем рассчитать интегральный показатель ресурсоэффективности.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом [43]:

$$I_m = \sum_{i=1}^n a_i b_i, \quad (23)$$

где I_m – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

a_i – весовой коэффициент i -го параметра;

b_i - балльная оценка i -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы, которая приведена ниже. В текущем исследовании применялась мартенситно - стареющая сталь при вакуумно - электронно лучевой наплавки, в нашем случае для исследования мы измеряем твердость по Виккерсу. В качестве аналогов для проведения эксперимента рассмотрим существующую измерение твердости по Бринелю (аналог 1) и Роквеллу (аналог 2).

Таблица 5.18 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Сложность точной постановки эксперимента	0,4	5	4	2
2. Удобство в эксплуатации	0,4	5	5	2
3. Энергосбережение	0,15	3	2	1
4. Безопасность	0,15	3	3	2
5. Стоимость эксперимента	0,2	4	3	2
ИТОГО	1			

По формуле 13 и данным таблицы 6.18 рассчитаем интегральный показатель ресурсоэффективности.

$$I_m^p = 0.4 \cdot 5 + 0.1 \cdot 5 + 0.15 \cdot 3 + 0.15 \cdot 3 + 0.2 \cdot 4 = 4.2;$$

$$I_m^{a1} = 0.4 \cdot 5 + 0.1 \cdot 5 + 0.15 \cdot 2 + 0.15 \cdot 3 + 0.2 \cdot 3 = 3.85;$$

$$I_m^{a2} = 0.4 \cdot 2 + 0.1 \cdot 2 + 0.15 \cdot 1 + 0.15 \cdot 2 + 0.2 \cdot 2 = 1.85.$$

где I_m^p – интегральный показатель текущего проекта, I_m^{a1} – интегральный показатель аналога 1, I_m^{a2} – интегральный показатель аналога 2

Из расчётов наглядно видна ресурсоэффективность установки, на которой были проведены эксперименты настоящего исследования.

Из таблицы видно, что для текущего исследования коэффициенты энергосбережения и стоимости эксперимента выше, чем у аналогов. Из этого можно сделать вывод, что интегральный финансовый показатель будет меньше, чем у аналогов исследования.

А значит, на данное исследование был израсходован бюджет, величина которого могла быть больше при проведении исследований с помощью аналогов.

Вывод.

В ходе выполнения данного раздела выпускной квалификационной работы был проведен технико-экономический анализ исследования свариваемости труб, имеющих металлизационное защитное покрытие. Целевой рынок результатов исследования будет включать в себя все отрасли промышленности, нуждающиеся в высокой износостойчивости, прочности, и сравнительно дешёвой механической обработки. Результаты исследования могут найти практическое применение на объектах оборонной промышленности и тяжелого машиностроения.

Построена интерактивная матрица SWOT-анализа, в которой показаны слабые и сильные стороны для разрабатываемого проекта. Сделан план исследования, в котором распределялись основные функции проекта между руководителем и дипломником и сделан расчет бюджета научного исследования, в который вошли расходы на материалы и оборудование, а также заработные платы участников проекта.

По оценке ресурсоэффективности проекта, можно сделать выводы, что для текущего исследования коэффициенты энергосбережения и стоимости эксперимента выше, чем у аналогов. Из этого можно сделать вывод, что интегральный финансовый показатель будет меньше, чем у аналогов исследования. А значит, на данное исследование был израсходован бюджет, величина которого могла быть больше при проведении исследований с помощью аналогов. Рассчитан бюджет научного исследования, который включает материальные затраты, затраты по основной и дополнительной заработной плате, отчисления во внебюджетные фонды и накладные расходы и составил 421970,2руб

6 Социальная ответственность

Социальная ответственность - ответственность отдельного ученого и научного сообщества перед обществом. Первостепенное значение при этом имеет безопасность применения технологий, которые создаются на основе достижений науки, предотвращение или минимизация возможных негативных последствий их применения, обеспечение безопасного как для испытуемых, как и для окружающей среды проведения исследований.

В ходе данной работы разработка и исследование высокоэффективного источника питания для телекоммуникационного оборудования. Работа выполнялась в лаборатории ИОА СО РАН. Все работы выполнялись с использованием компьютера. Раздел также включает в себя оценку условий труда на рабочем месте, анализ вредных и опасных факторов труда, разработку мер защиты от них.

6.1 Производственная безопасность

6.1.1 Отклонение показателей микроклимата в помещении

Проанализируем микроклимат в помещении, где находится рабочее место. Микроклимат производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Эти факторы влияют на организм человека, определяя его самочувствие.

Оптимальные и допустимые значения параметров микроклимата приведены в таблице 6.1 и 6.2

Таблица 6.1 – Оптимальные нормы микроклимата

Период года	Температура воздуха, С°	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	19-23	40-60	0,1
Теплый	23-25		0,1

Таблица 6.2 – Допустимые нормы микроклимата

Период года	Температура воздуха, С°		Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
	Нижняя допустимая граница	Верхняя допустимая граница		
Холодный	15	24	20-80	<0.5
Теплый	22	28	20-80	<0.5

Температура в теплый период года 23-25°С, в холодный период года 19-23°С, относительная влажность воздуха 40-60%, скорость движения воздуха 0,1 м/с. Общая площадь рабочего помещения составляет 42м², объем составляет 147м³. По СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 санитарные нормы составляют 6,5 м² и 20 м³ объема на одного человека. Исходя из приведенных выше данных, можно сказать, что количество рабочих мест соответствует размерам помещения по санитарным нормам. После анализа габаритных размеров рассмотрим микроклимат в этой комнате. В качестве параметров микроклимата рассмотрим температуру, влажность воздуха, скорость ветра. В помещении осуществляется естественная вентиляция посредством наличия легко открываемого оконного проема (форточки), а также дверного проема. По зоне действия такая вентиляция является общеобменной. Основным недостатком - приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания. Согласно нормам СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 объем воздуха необходимый на одного человека в помещении без дополнительной вентиляции должен быть более

40м³ [54]. В нашем случае объем воздуха на одного человека составляет 42 м³ , из этого следует, что дополнительная вентиляция не требуется. Параметры микроклимата поддерживаются в холодное время года за счет систем водяного отопления с нагревом воды до 100°С, а в теплое время года – за счет кондиционирования, с параметрами согласно [55]. Нормируемые параметры микроклимата, ионного состава воздуха, содержания вредных веществ должны соответствовать требованиям [56].

6.1.2 Превышение уровней шума

Одним из наиболее распространенных в производстве вредных факторов является шум. Он создается рабочим оборудованием, преобразователями напряжения, рабочими лампами дневного света, а также проникает снаружи. Шум вызывает головную боль, усталость, бессонницу или сонливость, ослабляет внимание, память ухудшается, реакция уменьшается. Основным источником шума в комнате являются компьютерные охлаждающие вентиляторы и. Уровень шума варьируется от 35 до 42 дБА. Согласно СанПиН 2.2.2 / 2.4.1340-03, при выполнении основных работ на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 82 дБА [57]. При значениях выше допустимого уровня необходимо предусмотреть средства индивидуальной защиты(СИЗ) и средства коллективной защиты (СКЗ) от шума. Средства коллективной защиты:

1. Устранение причин шума или существенное его ослабление в источнике образования;
2. Изоляция источников шума от окружающей среды (применение глушителей, экранов, звукопоглощающих строительных материалов);
3. Применение средств, снижающих шум и вибрацию на пути их распространения;

Средства индивидуальной защиты;

1. Применение спецодежды и защитных средств органов слуха: наушники, беруши, антифоны.

6.1.3. Повышенный уровень электромагнитных излучений

Источником электромагнитных излучений в нашем случае являются дисплеи ПЭВМ. Монитор компьютера включает в себя излучения рентгеновской, ультрафиолетовой и инфракрасной области, а также широкий диапазон электромагнитных волн других частот. Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 напряженность электромагнитного поля по электрической составляющей на расстоянии 50 см вокруг ВДТ не должна превышать 25 В/м в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц, 2,5 В/м в диапазоне от 2 до 400 кГц [54]. Плотность магнитного потока не должна превышать в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц 250 нТл, и 25 нТл в диапазоне от 2 до 400 кГц. Поверхностный электростатический потенциал не должен превышать 500 В [54]. В ходе работы использовалась ПЭВМ типа Acer VN7-791 со следующими характеристиками: напряженность электромагнитного поля 2,5 В/м; поверхностный потенциал составляет 450 В (основы противопожарной защиты предприятий ГОСТ 12.1.004 и ГОСТ 12.1.010 – 76) [58].

При длительном постоянном воздействии электромагнитного поля (ЭМП) радиочастотного диапазона при работе на ПЭВМ у человеческого организма сердечно-сосудистые, респираторные и нервные расстройства, головные боли, усталость, ухудшение состояния здоровья, гипотония, изменения сердечной мышцы проводимости. Тепловой эффект ЭМП характеризуется увеличением температуры тела, локальным селективным нагревом тканей, органов, клеток за счет перехода ЭМП на теплую энергию. Предельно допустимые уровни облучения (по ОСТ 54 30013-83):

- а) до 10 мкВт/см², время работы (8 часов);
- б) от 10 до 100 мкВт/см², время работы не более 2 часов;

в) от 100 до 1000 мкВт/см², время работы не более 20 мин. при условии пользования защитными очками;

г) для населения в целом ППМ не должен превышать 1 мкВт/см².

Защита человека от опасного воздействия электромагнитного излучения осуществляется следующими способами:

СКЗ

1 защита временем;

2 защита расстоянием;

3 снижение интенсивности излучения непосредственно в самом источнике излучения;

4 экранирование источника;

5 защита рабочего места от излучения.

СИЗ

1. Очки и специальная одежда, выполненная из металлизированной ткани (кольчуга). При этом следует отметить, что использование СИЗ возможно при кратковременных работах и является мерой аварийного характера. Ежедневная защита обслуживающего персонала должна обеспечиваться другими средствами.

2. Вместо обычных стекол используют стекла, покрытые тонким слоем золота или диоксида олова (SnO₂).

6.1.4 Поражение электрическим током

К опасным факторам можно отнести наличие в помещении большого количества аппаратуры, использующей однофазный электрический ток напряжением 220 В и частотой 50 Гц. По опасности электропоражения комната относится к помещениям без повышенной опасности, так как отсутствует повышенная влажность, высокая температура, токопроводящая пыль и возможность одновременного сприкосновения токоведущих элементов с заземленными металлическими корпусами оборудования [59].

Лаборатория относится к помещению без повышенной опасности поражения электрическим током. Безопасными номиналами являются: $I < 0,1$ А; $U < (2-36)$ В; $R_{\text{зазем}} < 4$ Ом. В помещении применяются следующие меры защиты от поражения электрическим током: недоступность токоведущих частей для случайного прикосновения, все токоведущие части изолированы и ограждены. Недоступность токоведущих частей достигается путем их надежной изоляции, применения защитных ограждений (кожухов, крышек, сеток и т.д.), расположения токоведущих частей на недоступной высоте.

Каждому необходимо знать меры медицинской помощи при поражении электрическим током. В любом рабочем помещении необходимо иметь медицинскую аптечку для оказания первой медицинской помощи.

Поражение электрическим током чаще всего наступает при небрежном обращении с приборами, при неисправности электроустановок или при их повреждении.

Для освобождения пострадавшего от токоведущих частей необходимо использовать непроводящие материалы. Если после освобождения пострадавшего из-под напряжения он не дышит, или дыхание слабое, необходимо вызвать бригаду скорой медицинской помощи и оказать пострадавшему доврачебную медицинскую помощь:

- обеспечить доступ свежего воздуха (снять с пострадавшего стесняющую одежду, расстегнуть ворот);
- очистить дыхательные пути; - приступить к искусственной вентиляции легких (искусственное дыхание);
- в случае необходимости приступить к непрямому массажу сердца.

Любой электроприбор должен быть немедленно обесточен в случае:

- возникновения угрозы жизни или здоровью человека;
- появления запаха, характерного для горячей изоляции или пластмассы;
- появления дыма или огня;
- появления искрения;

- обнаружения видимого повреждения силовых кабелей или коммутационных устройств.

Для защиты от поражения электрическим током используют СИЗ и СКЗ.

Средства коллективной защиты:

1. Заземление источников электрического тока;
2. Использование щитов, барьеров, клеток, ширм, а также заземляющих и шунтирующих штанг, специальных знаков и плакатов. Средства индивидуальной защиты:

1. Использование диэлектрических перчаток, изолирующих клещей и штанг, слесарных инструментов с изолированными рукоятками, указатели величины напряжения, калоши, боты, подставки и коврики

6.2 Освещенность

1. Согласно СНиП 23-05-95 в лаборатории, где происходит периодическое наблюдение за ходом производственного процесса при постоянном нахождении людей в помещении освещенность при системе общего освещения не должна быть ниже 300 лк.

2. Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда.

3. На рабочей поверхности должны отсутствовать резкие тени, которые создают неравномерное распределение поверхностей с различной яркостью в поле зрения, искажает размеры и формы объектов различия, в результате повышается утомляемость и снижается производительность труда.

4. Для защиты от слепящей яркости видимого излучения (факел плазмы в камере с катализатором) применяют защитные очки, щитки, шлемы. Очки на должны ограничивать поле зрения, должны быть легкими, не раздражать кожу, хорошо прилегать к лицу и не покрываться влагой.

5. Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения $A = 7$ м, ширина $B = 6$ м, высота = 3,5 м. Высота рабочей поверхности над полом $h_p = 1,0$ м. Согласно СНиП 23-05-95 необходимо создать освещенность не ниже 150 лк, в соответствии с разрядом зрительной работы.

6. Площадь помещения: $S = A \times B$,

где A – длина, м; B – ширина, м.

$$S = 7 \times 6 = 42 \text{ м}^2$$

7. Коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами, без штор $\rho_C = 50$ %, свежепобеленного потолка $\rho_{П} = 70$ %. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен $K_3 = 1,5$. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $Z = 1,1$.

8. Выбираем лампу дневного света ЛД-40, световой поток которой равен $\Phi_{ЛД} = 2600$ лм.

9. Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР-2-40. Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 1227 мм, ширина – 265 мм.

10. Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина λ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем $\lambda = 1,1$, расстояние светильников от перекрытия (свес) $h_c = 0,3$ м.

11. Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$15. h = h_n - h_p,$$

где h_n – высота светильника над полом, высота подвеса,

12. h_p – высота рабочей поверхности над полом.

13. Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для двухламповых светильников ОДОР: $h_n = 3,5$ м.

14. Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c = 3,5 - 1 - 0,5 = 2,0 \text{ м}$$

15. Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = \lambda \cdot h = 1,1 \cdot 2 = 2,2 \text{ м}$$

16. Число рядов светильников в помещении:

$$N_b = \frac{B}{L} = \frac{6}{2,2} = 2,72 \approx 3$$

17. Число светильников в ряду:

$$N_a = \frac{A}{L} = \frac{7}{2,2} = 3,2 \approx 3$$

18. Общее число светильников:

$$N = N_a \cdot N_b = 3 \cdot 3 = 9$$

19. Расстояние от крайних светильников или рядов до стены определяется по формуле:

$$l = \frac{L}{3} = \frac{2,2}{3} = 0,7 \text{ м}$$

20. Размещаем светильники в три ряда. На рисунке изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

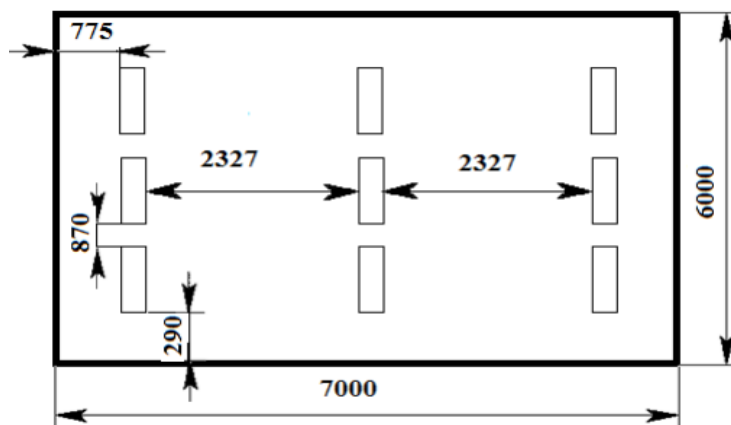


Рисунок 6.1 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A+B)} = \frac{7 \cdot 6}{2,0 \cdot (7+6)} = 1,6$$

21. Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ОДОР с люминесцентными лампами при $\rho_{\text{П}} = 70\%$, $\rho_{\text{С}} = 50\%$ и индексе помещения $i = 1,6$ равен $\eta = 0,47$.

22. Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{л}} = (E \cdot S \cdot K_{\text{з}} \cdot Z) / N \cdot \eta = (300 \cdot 42 \cdot 1,5 \cdot 1,1) / 18 \cdot 0,47 = 2457,44 \text{ лм}$$

23. Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{лд}} - \Phi_{\text{п}}}{\Phi_{\text{лд}}} \cdot 100\% \leq 20\%;$$
$$\frac{\Phi_{\text{лд}} - \Phi_{\text{п}}}{\Phi_{\text{лд}}} \cdot 100\% = \frac{2600 - 2457,44}{2600} \cdot 100\% = 5,5\%.$$

24. Таким образом, мы получили, что необходимый световой поток не выходит за пределы требуемого диапазона. Теперь рассчитаем мощность осветительной установки:

$$P = 18 \cdot 40 = 720 \text{ Вт}$$

6.3 Пожарная опасность

По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1-В4, Г и Д, а здания на категории А, Б, В, Г и Д.

Согласно НПБ 105-03 лаборатория относится к категории В – горючие и трудно горючие жидкости, твердые горючие и трудно горючие вещества и материалы, вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых находится, не относятся к категории наиболее опасных А или Б.

По степени огнестойкости данное помещение относится к 1-й степени огнестойкости по СНиП 2.01.02-85 (выполнено из кирпича, которое относится к трудногоряемым материалам).

Возникновение пожара при работе с электронной аппаратурой может быть по причинам как электрического, так и неэлектрического характера.

Причины возникновения пожара неэлектрического характера:

а) халатное неосторожное обращение с огнем (курение, оставленные без присмотра нагревательные приборы, использование открытого огня);

Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, искрение и электрические дуги, статическое электричество и т. п.

Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды.

Огнетушители водо-пенные (ОХВП-10) используют для тушения очагов пожара без наличия электроэнергии. Углекислотные (ОУ-2) и порошковые огнетушители предназначены для тушения электроустановок, находящихся под напряжением до 1000 В. Для тушения токоведущих частей и электроустановок применяется переносной порошковый огнетушитель, например ОП-5.

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м. Размещение первичных средств пожаротушения в коридорах, переходах не должно препятствовать безопасной эвакуации людей.

Для предупреждения пожара и взрыва необходимо предусмотреть:

1. Специальные изолированные помещения для хранения и разлива легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ), оборудованные приточновытяжной вентиляцией во взрывобезопасном исполнении - соответствии с ГОСТ 12.4.021-75 и СНиП 2.04.05-86;

2. Специальные помещения (для хранения в таре пылеобразной канифоли), изолированные от нагревательных приборов и нагретых частей оборудования;

3. Первичные средства пожаротушения на производственных участках (передвижные углекислые огнетушители ГОСТ 9230-77, пенные огнетушители ТУ 22-4720-80, ящики с песком, войлок, кошма или асбестовое полотно);

4. Автоматические сигнализаторы (типа СВК-3 М 1) для сигнализации о присутствии в воздухе помещений дозрывных концентраций горючих паров растворителей и их смесей.

Лаборатория полностью соответствует требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, изображенного на рисунке 6.1, порошковых огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу.

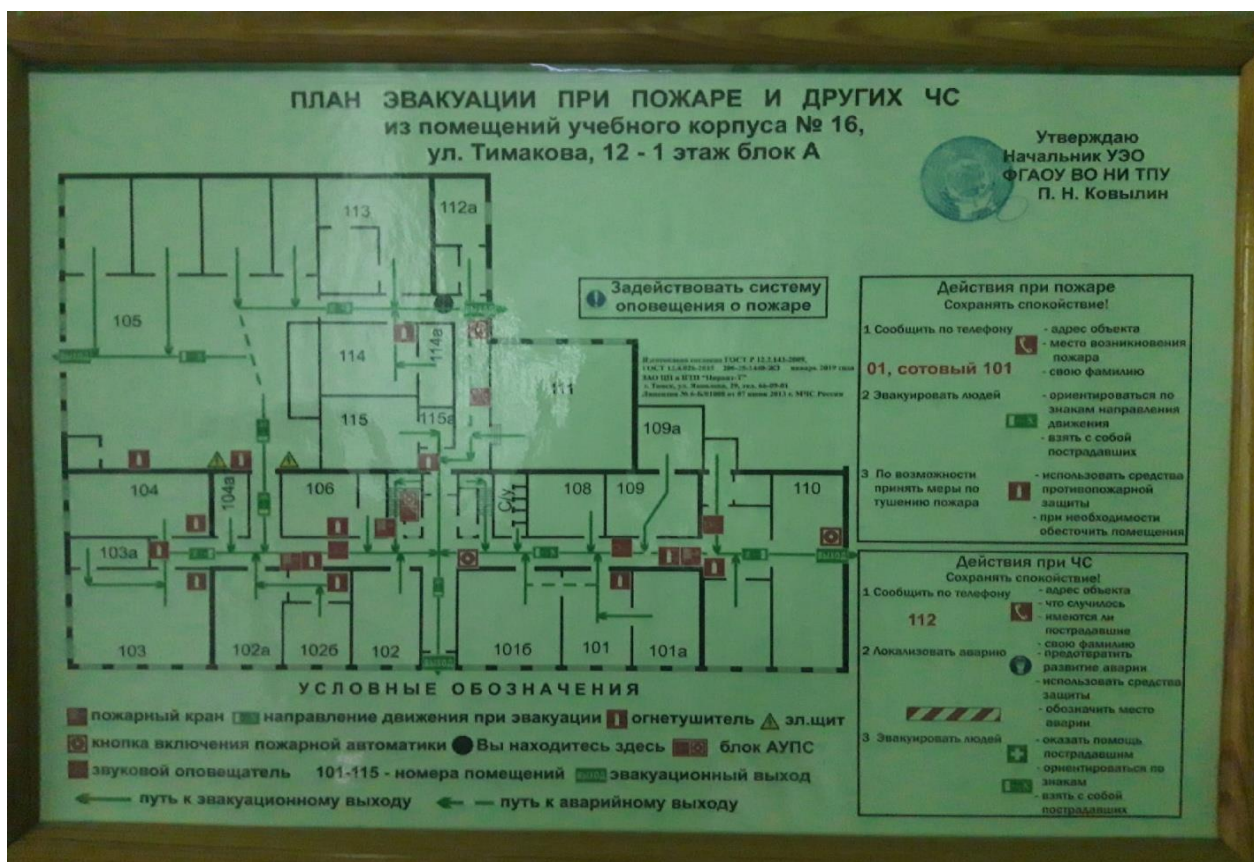


Рисунок 6.2 – План эвакуации

6.4. Экологическая безопасность

В компьютерах огромное количество компонентов, которые содержат токсичные вещества и представляют угрозу, как для человека, так и для окружающей среды.

К таким веществам относятся:

- свинец (накапливается в организме, поражая почки, нервную систему);
- ртуть (поражает мозг и нервную систему);
- никель и цинк (могут вызывать дерматит);
- щелочи (прожигают слизистые оболочки и кожу);

Поэтому компьютер требует специальных комплексных методов утилизации.

В этот комплекс мероприятий входят:

- отделение металлических частей от неметаллических;
- металлические части переплавляются для последующего производства;
- неметаллические части компьютера подвергаются специально переработке [58];

Исходя из сказанного выше перед планированием покупки компьютера необходимо:

- Побеспокойтесь заранее о том, каким образом будет утилизирована имеющаяся техника, перед покупкой новой.
- Узнать насколько новая техника соответствует современным эко-стандартам и примут ее на утилизацию после окончания срока службы.

Утилизировать оргтехнику, а не просто выбрасывать на «свалку» необходимо по следующим причинам:

Во-первых, в любой компьютерной и организационной технике содержится некоторое количество драгоценных металлов. Российским законодательством предусмотрен пункт, согласно которому все организации обязаны вести учет и движение драгоценных металлов, в том числе тех,

которые входят в состав основных средств. За несоблюдение правил учета, организация может быть оштрафована на сумму от 20000 до 30000 руб. (согласно ст. 19.14. КоАП РФ); Во-вторых, предприятие также может быть оштрафовано за несанкционированный вывоз техники или оборудования на «свалку»;

Стадия утилизации, утилизируя технику мы заботимся об экологии: количество не перерабатываемых отходов минимизируется, а такие отходы, как пластик, пластмассы, лом черных и цветных металлов, используются во вторичном производстве. Электронные платы, в которых содержатся драгметаллы, после переработки отправляются на аффинажный завод, после чего чистые металлы сдаются в Госфонд, а не оседают на свалках.

Таким образом утилизацию компьютера можно провести следующим образом:

1. Использовать услуги профессиональной компании по рециклингу, которая может приехать и забрать все приборы, которые планируется сдать в переработку.
2. Можно обратиться в местный муниципалитет по вопросу переработки электроники.

6.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Природная чрезвычайная ситуация – обстановка на определенной территории или акватории, сложившейся в результате возникновения источника природной чрезвычайной ситуации, который может повлечь или повлек за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей и (или) окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Производство находится в городе Томске с континентально-циклоническим климатом. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т. д.), в данном городе отсутствуют.

Возможными ЧС на объекте в данном случае, могут быть сильные морозы и диверсия.

Для Сибири в зимнее время года характерны морозы. Достижение критически низких температур приведет к авариям систем теплоснабжения и жизнеобеспечения, приостановке работы, обморожениям и даже жертвам среди населения.

В случае переморозки труб должны быть предусмотрены запасные обогреватели. Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась.

В лаборатории ИОА СО РАН наиболее вероятно возникновение чрезвычайных ситуаций (ЧС) техногенного характера. ЧС техногенного характера — это ситуации, которые возникают в результате производственных аварий и катастроф на объектах, транспортных магистралях и продуктопроводах; пожаров, взрывов на объектах.

Для предупреждения вероятности осуществления диверсии предприятие необходимо оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи, а также исключения распространения информации о системе охраны объекта, расположении помещений и оборудования в помещениях, системах охраны, сигнализаторах, их местах установки и количестве. Должностные лица раз в полгода проводят тренировки по отработке действий на случай экстренной эвакуации.

Список литературы:

1. В.М. Константинов, Н. И. Иваницкий, Л.А. Астрейко, БНТУ/ Анतिकоррозионные цинковые покрытия на стальных изделиях: Перспективы термомодифицированных покрытий
2. [Статья] Ю. Н. Шапошникова, «Проблема экологической безопасности трубопроводов для транспортировки нефти, газа и нефтепродуктов»
3. Магистральные трубопроводы в условиях болот и обводненной местности, Автор: Димов Л.А., Богушевская Е.М. Год: 2010
4. Карнаухов Н.Н., Кушнир С. Я., Горелов А.С. и др. Механика мерзлых грунтов и принципы
5. Кунина П.С. Проектирование газонефтепроводов: 2010. – 152 с.
6. Обеспечение надежности магистральных трубопроводов / А.А. Коршак, Г.Е. Коробков, В.А. Душин, Р.Р. Набиев - Уфа: ООО «ДизайнПолиграфСервис», 2000.- 170 с.
7. Оценки по данным Росстата, МЧС, Ростехнадзора [Электронный ресурс] // Материалы семинара «Промышленная безопасность» УМЦ ЗАО НТЦ ПБ, 23 ноября 2015 г. – <http://riskprom.ru/publ/19-1-0-48>;
8. [Статья] А.Н. Ершова, С.И. Долгов, О.В. Трифионов, «Проблемы нормативно-правового регулирования вопросов безопасности магистральных трубопроводов при расширении городских поселений»
9. ГОСТ Р 51164-98. Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии.
10. [Статья] Н. А. Махутов, В. Н. Пермьяков, Д.О. Резников, «Strength of trunk pipelines with critical damages»
11. BS 7910:2005. Guide on methods for assessing the acceptability of flaws in metallic structures. London: British Standards Institution; 2005.

12. [Статья] Dake Yi, Zhong Min Xiao, Sridhar Idapalapati, Shashi Bhushan Kumar, «Fracture analysis of girth welded pipelines with 3D embedded cracks subjected to biaxial loading conditions»

13. Пособие к СНиП 3.01.01-85 «Разработка проектов организации строительства и проектов производства работ для промышленного строительства»

14. [Статья] Satish Kumar Sharma, Sachin Maheshwari «A review on welding of high strength oil pipeline steels»

15. Коррозия металлов. Виды коррозии металлов [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://zadachi-po-khimii.ru/obshaya-himiya/korroziya-metallov.html> Загл. с экрана;

16. Уфимский государственный нефтяной технический университет [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://rusoil.net/>

17. Защита металлов от коррозии. Анतिकоррозионная защита [Электронный ресурс] – режим доступа <https://www.spec-emal.ru/blog/?p=387> Загл. С экрана;

18. Промтехэмаль. Силикатно-эмалевое покрытие для защиты от коррозии [Электронный ресурс] – режим доступа <https://pte74.ru/blog/antikorrozionnaya-zashchita-metallokonstruksij.html> Загл. С экрана;

19. Metalhunters. Металлизация – эффективный метод защиты от коррозии [Электронный ресурс] – режим доступа <https://metalhunters.ru/tekhnologii/stati/7/metallizatsiya--effektivnyiy-metod-zaschityi-ot-korrozii> Загл. С экрана;

20. Vils.ru. Защитные покрытия для металлов [Электронный ресурс] – режим доступа <https://vils.ru/articles/zashchitnye-pokrytiya-dlya-metallov/> Загл. С экрана;

21. Быков А.А. Развитие производства биметаллов // Металлург. – 2009. - №8. – С. 70-75; №9. – С. 61-64

22. Родионова И.Г. Коррозионно-стойкие биметаллы с прочным сцеплением слоев для нефтехимической промышленности и других отраслей / И.Г. Родионова, А.А. Павлов, А.И. Зайцев, А.В. Голованов, А.А. Быков, А.А. Шарапов, О.Н. Бакланова. – М.: Металлургиздат, 2011. – 292 с
23. Родионова И.Г. Влияние способа изготовления двухслойных коррозионно-стойких сталей на их технологические и эксплуатационные характеристики / И.Г. Родионова, О.Н. Бакланова, А.В. Амежнов и др. // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2011. №12. – С. 33-39
24. НТ сварка. «Сварка двухслойных сталей». [Электронный ресурс] – режим доступа <https://nt-welding.ru/articles/svarka-dvuxslojnyx-stalej/> Загл. С экрана
25. Реформатская И.И. Перспективы использования биметаллических труб на промысловых нефтегазопроводах Западной Сибири / И.И. Реформатская, В.В. Завьялов, И.Г. Родионова и др. // Защита металлов. – 200. Т. 36, №1. – С.51-57
26. Трегубов В.И., Яковлев С.П., Яковлев С.С. Технологические параметры вытяжки с утонением стенки двухслойного упрочняющегося материала // Кузнечно-штамповочное производств. Обработка материалов давлением. 2005. №1. С. 29-35
27. Грязев М.В., Яковлев С.С., Ремнев К.С. Математическая модель операции вытяжки с утонением стенки двухслойных анизотропных материалов в конической матрице // Известия ТулГУ. Технические науки. Тула: Изд-во ТулГУ. 2014. Вып. 1. С. 66-76
28. Ковка и штамповка: справочник в 4 т. Т. 4. Листовая штамповка / под общ. ред. С.С. Яковлева; ред. Совет: Е.И. Семенов (пред.) и др. 2-е изд., перераб. И доп. М.: Машиностроение, 2010. 732 с
29. Яковлев С.П., Яковлев С.С., Андрейченко В.А. Обработка давлением анизотропных материалов. Кишинев: Квант. 1997. 331 с

30. Яковлев С.С., Кухарь В.Д., Трегубов В.И. Теория и технология штамповки анизотропных материалов / под ред. С.С. Яковлева. М.: Машиностроение, 2012. 400м
31. [Статья] М.В. Грязев, С.С. Яковлев, О.В. Пилипенко. «Механические свойства двухслойной стали
32. Иванова В. С., Терентьев В. Ф. Природа усталости металлов.– М.: Металлургия, 1975.–455 с.
33. Коллакот Р. Диагностика повреждений: Пер. с англ.– М.: Мир, 1989.– 512 с.
34. [Статья] Р.Н. Трутнев, И.Р. Кузеев, Е.А. Наумкин. Особенности усталостного разрушения двухслойных сталей. Уфимский государственный нефтяной технический университет
35. Ахтямов Р.М., Файрушин А.М., Зарипов М.З. Повышение прочности сварных соединений из двухслойной стали 09Г2С+12Х18Н10Т применением низкочастотной вибрационной обработки в процессе сварки // Техника и технология: новые перспективы развития: Материалы V Международной научно-практической конференции (18.04.2012). – М.: Издательство «Спутник +», 2012. С. 6-8.
36. Полуавтоматическая сварка [Электронный ресурс]. – URL: http://masterweld.ru/poluavtomaticheskaya_sva (дата обращения 17.04.2018). 3. ОСТ 26.260.480-2003. Сосуды и аппараты из двухслойной стали. Изд-во стандартов, 2003. – 93 с. 4. Сталь 10Х17Н13М2Т [Электронный ресурс]. – URL: [http://vse-postroimsami.ru/materials/metal/10286_nerzhaveyushhaya-stal-10x17n13m2t/] (дата обращения 10.12.2018). © Гуляев А.А., 2019
37. [Статья] Гуляев А.А. «Анализ качества сварного соединения двухслойной стали 09Г2С+10Х17Н13М2Т Кац Ш.Н. Прочность труб с продольным сварным швом. «Теплоэнергетика», 1963, №4
38. Земзин В.Н. «Жаропрочность сварных соединений», 1972г. стр.148
39. Э.Л. Макаров, Б.Ф. Якушин. Теория свариваемости сталей и сплавов. Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. 30 с.

40. Шторм. «Технология сварки разнородных сталей» [Электронный ресурс] – режим доступа <https://www.shtorm-its.ru/info/articles/tekhnologiya-svarki-raznorodnykh-staley/> Загл. с экрана
41. С.Г. Паршин. Технология сварки. Сварка плавлением. Технология сварки высоколегированных сталей. / Учебное пособие. Изд-во Санкт-Петербургский государственный университет, 2015 102 с.
42. Готальский Ю.Н. Сварка разнородных сталей. Изд-во К.: Техника, 1981 184 с.
43. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: метод. указания / Том. пол-й. ун-т. – Томск 2014. – 73 с
44. Экономические расчеты в дипломных проектах по техническим специальностям: Метод. указания для студентов / Сост.: Л.И. Горчакова, М.В. Лопатин. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. - 28 с.118
45. Политика доходов и заработной платы. Под ред. П. В. Савченко и Ю. П. Кокина. М.: Юристъ, 2000. 456 с.
46. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.»
47. [Статья] Е.А. Харчевникова, С.В. Болотов. Магнитные поля при сварке и защита от их воздействия. / Белорусско-Российский университет. 2008.
48. Э.Л. Макаров, Б.Ф. Якушин. Теория свариваемости сталей и сплавов; под ред. Э.Л. Макарова. - М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 487 с.
49. Г. А. Николаев, И.А. Фридляндер, Ю.П. Арбузов . Свариваемые алюминиевые сплавы. М.: Металлургия, 1990. – 295 с.
50. В.П. Черныш. Сварка с электромагнитным перемешиванием. Киев. 1983. – 127 с.
51. В.В. Ардентов, Г.Я. Богданов, Ю.А. Деминский и др. Исследование физико-технологических характеристик импульсной дуги и разработка технологии автоматической импульсно-дуговой сварки алюминиевых сплавов // В кн.: Сварка. № 11. Л.: Судостроение, 1968. - 225-245 с.

52. О.Е. Островский, А.В. Гудков, О.И. Кудряшов и др. Импульсная-дуговая сварка плавящимся электродом крупногабаритных конструкций из алюминиевых сплавов. // Сварочное пр-о. 1992. № 10. С. 7-9.
53. А.Г. Григорьянц, И.Н. Шиганов, А.Н. Мисюров. Технологические процессы лазерной обработки: учеб. пособие для вузов / под ред. А.Г. Григорьянца. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 664 с.
54. ГОСТ 54 30013-83 Электромагнитные излучения СВЧ. Предельно допустимые уровни облучения. Требования безопасности
55. ГОСТ 12.4.154-85 “ССБТ. Устройства экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты”
56. ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны
57. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 "Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)".
58. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
59. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
60. ГОСТ 12.4.123-83. Средства коллективной защиты от инфракрасных излучений. Общие технические требования.
61. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
62. ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
63. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования. ГОСТ 12.2.037-78. Техника пожарная. Требования безопасности
64. СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к качеству атмосферного воздуха
65. ГОСТ 30775-2001 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация, идентификация и кодирование отходов.

66. СНиП 21-01-97. Противопожарные нормы.

67. ГОСТ 12.4.154. Система стандартов безопасности труда.

Устройства экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты. Общие технические требования, основные параметры и размеры.

Приложение А

(обязательное)

The main causes of poor weldability

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ91	Саидов Фирдавс Бобишоевич		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Иностранный язык»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Преподаватель ОИЯ ШБИП	Цепилова Анна Владимировн	к.пед.н		

1 Pipelines

In the modern world, pipelines play a very important role in the production and transportation of oil and gas, and this type of structure is also used in many other industrial sectors. Since they are subject to a huge risk factor, their failure can be accompanied by significant environmental damage (many pipelines are used to transport toxic, fire-hazardous substances and other harmful to nature and human health), this is why they belong to the energy-intensive categories of objects

In view of this fact, the reliability of pipeline structures is the most important criterion in the construction of highways, but along with reliability, they must also fulfill their operational properties during their operational cycle.

And the most important danger in the same oil transportation is the impact on the environment, with the occurrence of a defect that violates the tightness, which can lead to an environmental disaster.

From this we can say that the failure of the flanges of the pipeline profiles, reinforcement parts affects the "reliability" of the entire line. In turn, the most likely occurrence of a defect in the welds, so during the construction process, each seam of the responsible highway must be monitored

Going deeper into the performance and reliability of pipelines, it is also necessary to study the conditions where they will be placed, since in particular pipes with a large diameter, minor changes in weather conditions can significantly affect the performance, since during the entire life cycle of pipelines can meet many geopotential conditions

Consider the following reliability – structural, which implies the ability to perform its work as intended for a certain time without affecting the surrounding nature. In terms of structural reliability, pipelines must meet the requirements of environmental safety, since losing their operability doubles the impact of environmental pollution

The quality that determines the totality of the properties of the object's operability is the environmental reliability of pipelines. The very concept of

environmental reliability implies the ability to resist both external radical loads and internal ones, that is, the tightness during transportation is not violated and repair and technical work is not carried out.

To date, the exploration of new fields contributes to increasing the demand for pipeline welding technology that can cope with a variety of climates, Arctic, swampy places, deep Siberia, and any of these climates can change depending on the time of year, and the pipeline must withstand these conditions, as well as internal and external pressure can be applied to the pipes

At this stage of pipeline production, we do not have a clear understanding of the methods and technologies for assembling and welding efficient pipelines. The system for calculating the reliability of pipelines has yet to be calculated, as well as possible corrections and errors

And an incomparably significant way to avoid breakdowns and malfunctions will be to choose the material for the incoming parts of the pipeline trunk system that will provide us with the greatest efficiency.

The main criterion for evaluating the quality of raw materials should be considered the stability of their properties. The large-scale factor of modern pipelines, according to the law of large numbers, obviously does not make it possible to achieve such a quality of construction and operation, in which the probability of defects and violations of the strength of the pipelines would be completely excluded. At the same time, builders and operators do not have absolutely reliable methods and means to control the quality of work and the behavior of the pipeline during operation. The physical nature of the reliability of pipeline elements and, above all, the linear part has not been established, and the environmentally appropriate level of reliability of pipeline systems has not been determined in the light of new conditions and requirements.

Also, regardless of the emergency situations, the construction of the main pipeline itself, the destruction of the soil, the deterioration of the local landscape, all this also has a bad effect on the environment of the pipeline, is not the least important during construction.

2 Application of high-strength steels

To understand the issues and challenges associated with welding high-strength oil pipeline steels, the requirements for the chemical composition and mechanical properties of these materials are considered in detail. It can be concluded that the microstructure and alloying of some of the latest grades of high-strength pipeline steels-X70, X80, X90, X100 and X120 allow to increase the size and throughput of pipes in comparison with earlier grades - X42, X46, X52, X56, X60 and X65.

Studies on the study of the destruction of pipes are considered and the reasons for their destruction are summarized. This helps to identify problems that need to be solved in advance, for the application of a welded structure. Within the framework of this review article [14], an attempt was made to critically analyze and discuss issues and problems related to the weldability of high-strength pipeline materials. The most important problems in pipeline welding are: corrosion, hydrogen embrittlement, residual stresses, weld repair and deterioration of the thermal impact zone, which negatively affect the performance of the welded structure.

When preparing welding structures, the welder must take into account the severity of the negative consequences of all these problems for the expected service life. For this purpose, a basic understanding of each problem and their role in the deterioration of the weld quality is presented. In addition, the severity of their impact on the characteristics of the welded structure is critically discussed in relation to the welding parameters and the microstructure of the material. Various types of corrosion, hydrogen embrittlement, as well as their favorable conditions and methods of prevention.

Studies concerning weld corrosion, hydrogen embrittlement of welded structures, and residual stresses during welding are mainly focused on the steel grades for pipelines X65, X70, and X80.

Residual stresses can increase the rate of failure or failure of the welded structure; this should be further studied for currently used grades such as X65, X70, and X80, as well as for ultra-high strength grades. The state of ZTV research is in

line with current needs. It is being investigated for most brands in connection with various welding processes.

In addition, current development trends are discussed and summarized in order to determine future directions. The development trends in the field of pipeline welding are divided into categories and the current state of research is presented for each category. These categories and their further division are as follows:

The distribution of residual stresses in welding is a complex phenomenon that varies from process to process due to the heating and holding conditions of the weld. Therefore, the measurement and prediction of the residual stress distribution in the welded structure must be further investigated for each material, depending on the different welding processes.

The inherent versatility of hybrid welding methods must be fully explored for welding pipeline steels, but at the same time complex issues related to the equipment and welding procedure of hybrid welding processes must be addressed.

The development of new materials and welding processes generates the development of welding consumables. Welding materials for welding two dissimilar grades of Pipe steel and ultra-high-strength materials should be developed and evaluated to the full benefit of the industry. It will also help in using weld repair instead of component replacement.

The distribution of residual stresses in welding is a complex phenomenon that varies from process to process due to the heating and holding conditions of the weld. Therefore, the measurement and prediction of the residual stress distribution in the welded structure must be further investigated for each material, depending on the different welding processes.

Since the complete prevention of the occurrence of a welding defect is unavoidable, therefore, constant efforts are needed to avoid the exit

welding defects. The proposed approaches for this purpose need further testing for advanced grades, as well as for hybrid welding processes.

The assessment of the susceptibility of hydrogen to embrittlement is still carried out using traditional methods, which are time-consuming. The development

of some new modeling techniques may help to gain insight into the susceptibility of a material to hydrogen embrittlement.

The modern development of methods for assessing the corrosion susceptibility of pipe welds requires increasing efforts of researchers.

3 Strength of main pipelines with critical damages

The high internal pressure combined with the external load (bending-stretching) and aggressive environment, as well as the potential presence of local damage, makes an assessment of the strength and structural integrity of the main pipelines.

Reduced ductility and increased yield strength due to aging; reduced operating temperature; residual tensile stresses acting in the inner part of the pipe at the top of the crimp during the formation of the plastic crimp; and estimated residual tensile stresses caused by welding. Taking into account the influence of these damaging factors allows us to assess the reduction in the load-bearing capacity of damaged pipelines. The risk of crimp damage is either ignored or only partially taken into account by existing pipeline strength analysis procedures.

Ensuring the strength and structural integrity of main pipelines (MT) is one of the critical problems in the process of production, transportation and processing of hydrocarbons. At the end of the twentieth and the beginning of the twenty-first century, this problem became critical for ensuring not only industrial and energy security, but also for national security in Russia and other countries that produce and transport oil / gas.

The high internal pressure combined with the external load and aggressive environment, along with the potential presence of local damage, make the strength assessment.

The integrity of the main pipelines is a difficult task. A significant number of accidents at MT are caused either by a violation of the pipeline construction technology, or by an operation or by unauthorized cutting of branches, which are

associated with large plastic deformations and significant changes in the pipeline geometry.

Various local damages of the main pipeline, leading to a sharp decrease in their strength and service life. Potentially dangerous from the point of view of crimp formation are heated and fixed pipeline zones, arches, and ascent zones. For example, on the northern gas pipelines of the Russian Federation, you can observe arches with a length of 80-150 meters, deflections with a length of up to 500 meters, and pop-up sections with a length of up to 10,000 meters.

Crimping can occur during the manufacturing and transportation of MT components, or during the construction, operation, maintenance, and repair of MT. The size of the crimp can be compared with the wall thickness of the pipeline and its diameter. Symmetrical and asymmetric crimps located in the areas of welded joints, as well as combinations of crimps and welded joints, pose a particular threat, since they change the geometric shape of the pipeline and the mechanical properties of its material and can cause the destruction of the pipeline. The height h , the outer radius R_{ex} , the inner radius R_{in} , the difference between them $\Delta R = R_{ex} - R_{in}$ and the bend hole l are the main geometric characteristics of the crimp (Fig. 1). In existing pipelines, the crimp characteristic l / h is relatively constant and depends on the ratio δ / R_0 (where R_0 is the inner radius of the pipeline, δ is the wall thickness) and the degree of development of the crimp $\Delta R / R_0$. The maximum (statistical) value for the continued destruction of pipelines is in the range of 2.5-4. This value does not depend much on the pipeline diameter $D_0 = 2R_0$. Crimping on a straight or elastically curved part of the pipeline can occur in places of restriction or in areas of heterogeneity of the physical and mechanical properties of the pipe material. A round welded joint is also a zone of such heterogeneity. The reinforced weld has a higher rigidity and is usually stronger than the base metal (if it does not contain macrodefects).

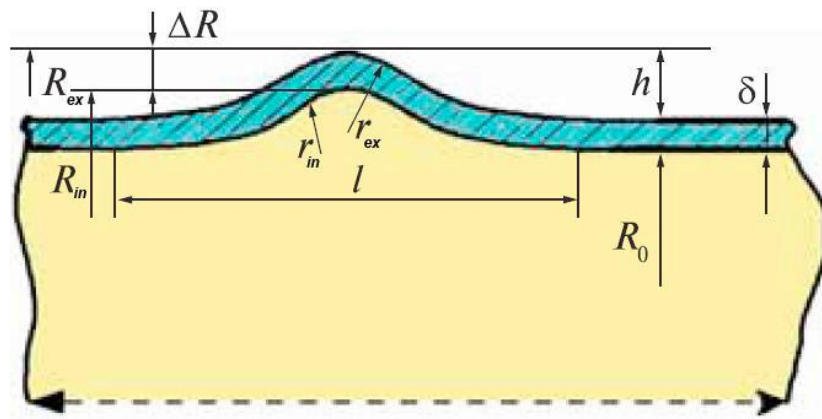


Figure 1 - Geometric characteristics of the crimps

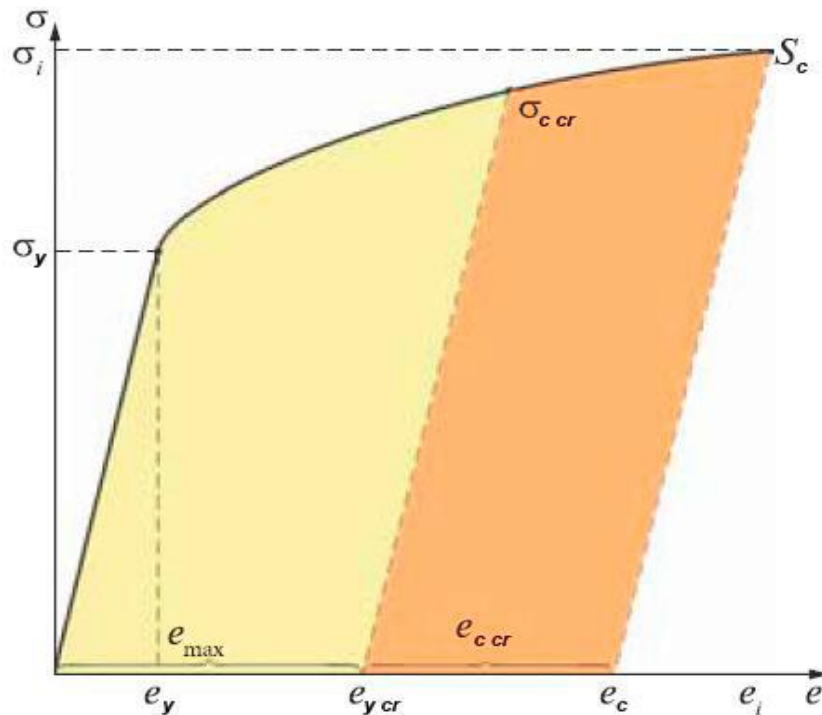


Figure 2-The strain curve in true coordinates and its parameters

Crimping is also possible in curved segments. Geometric non-linearity of the pipe shape, nominal and local plastic deformations of the wall, and residual stresses appear after cold bending. The combination of these factors, as well as local damage that may occur during manufacture, construction, or operation, can lead to the formation of a crimp in this part of the pipe. Symmetrical circular crimping is a relatively recent phenomenon. Its formation is usually caused by a drop in temperature and axial compression, which can be the result of a pipeline restriction. In this case, the main movement of the pipeline occurs only along its axis. The widespread semicircular crimping is formed due to the combined action of

longitudinal forces and bending moments with the possibility of displacement of the pipeline in the plane and out of the plane.

Further development of the deformation occurs in the weakest zones, the formation of asymmetric gyri occurs. Along the internal radial bend, the crimping is manifested

Also, under the influence of such types of loads as: static and cyclic, the pipeline main is destroyed in the crimping zones

The pipe wall in the crimping zone is subjected to significant local plastic deformations under the influence of all force factors, which leads to changes in the physical and mechanical properties of the pipe metal, which are usually neglected in traditional pipeline strength assessments.

Local deformations of ϵ_{max} , which are measured experimentally using the grid method and tensometry, can significantly exceed the limiting elastic stresses. The break may occur at the top of the crimp and at the point where the crimp slope is connected to the cylindrical part of the pipe.

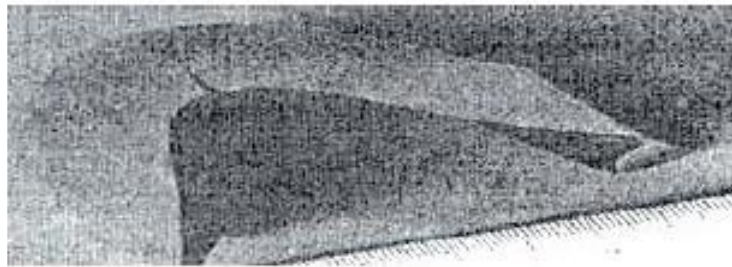
The threat of crimp formation is that when the internal pressure increases, the stresses in the crimp zone increase more intensively than the stresses in the smooth part of the pipeline, or a partially plastic break or a completely brittle one becomes possible due to the depletion of plasticity in the crimp zone.

The above-mentioned changes in geometry and mechanical properties in the crimping zone are generally characterized by the processes of depletion of the ultimate plasticity and an increase in the local yield strength in the crimping zone. As the service life of pipelines with crimping passes, and operating temperatures increase, aging becomes more intense, the residual local ductility of the metal in the crimping zones decreases.

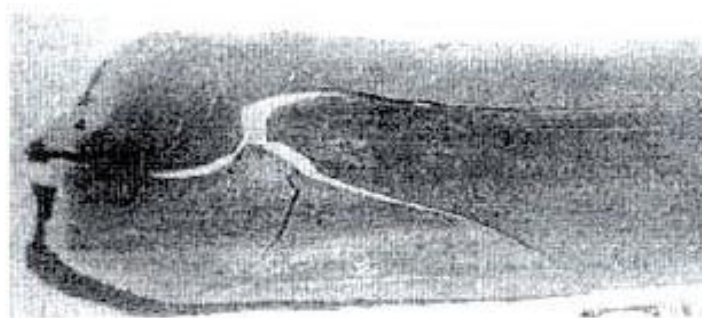
The conducted strength tests proved that pipelines damaged by crimping with a diameter of more than 720 and up to 1020 mm have initial cracks, and the occurrence of this defect occurs under low stress conditions.

The initial cracks appear and develop in a circular direction at the top of the crimp on its inner side (Fig. 3a). Failure caused by compression at stresses close to or

higher than the yield strength is also possible. In the longitudinal direction along the weld joint (Fig. 3b), when the crimp height is relatively small, and it is located in the zone of thermal influence of the weld.



(a)



(b)

Figure 3 - Examples of pipeline failure in the crimp zone (a) and (b)

Crimping, which can be applied during the construction, operation and repair of pipelines, reduces their static strength by 50%, mainly due to the high stress concentration and depletion of ductility. The impact of these damaging factors account allows you to evaluate the reduced load-bearing capacity of damaged pipelines. The threat of crimp formation should be considered even more serious if reduced ductility and increased yield strength due to aging, reduced operating temperature, residual tensile stresses acting in the inner part of the pipe at the top of the crimp during the formation of the plastic crimp, and residual tensile stresses caused by welding are also taken into account. Loading cycle (especially for oil pipelines)

It is also an important factor contributing to the increased risk of failure of pipelines damaged by crimping. Unfortunately, the reduction in the load-bearing and deformation capacity of pipelines damaged by crimping is either ignored or only partially taken into account in the current regulatory and regulatory framework. This

requires extensive effort implemented to fill the gap and develop robust design procedures. [5]

Приложение Б

Фотографии с внешним видом сварных соединений

Партия 1

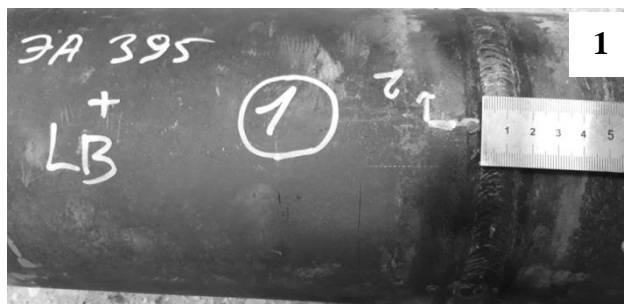


Рисунок Б1. Сварное соединение 1.



Рисунок Б2. Сварное соединение 2.



Рисунок Б3. Сварное соединение 3.



Рисунок Б4. Сварное соединение 4.

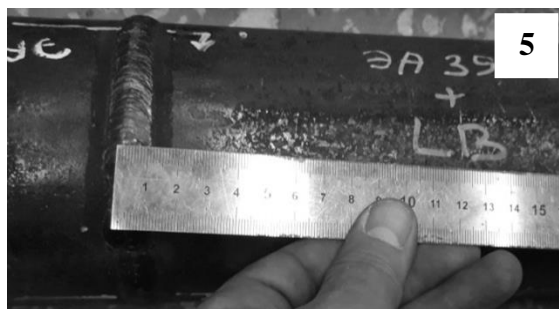


Рисунок Б5. Сварное соединение 5.



Рисунок Б6. Сварное соединение 6.



Рисунок Б7. Сварное соединение 7.



Рисунок Б8. Сварное соединение 8.

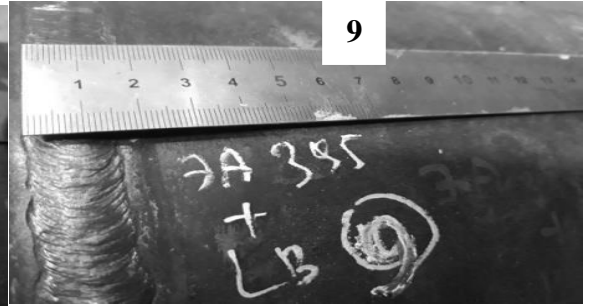


Рисунок Б9. Сварное соединение 9.

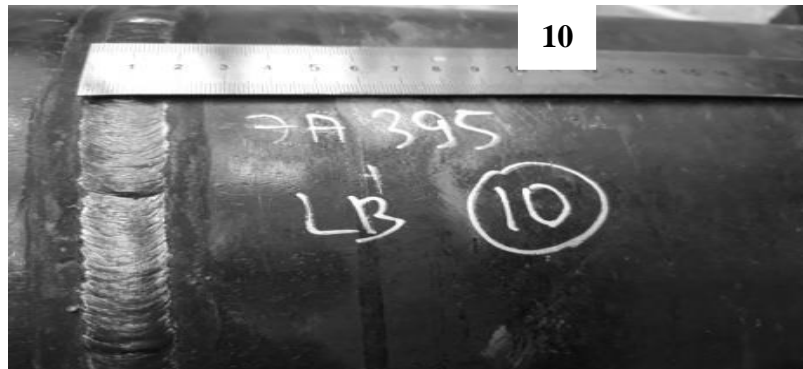


Рисунок Б10. Сварное соединение 10.

Партия 2

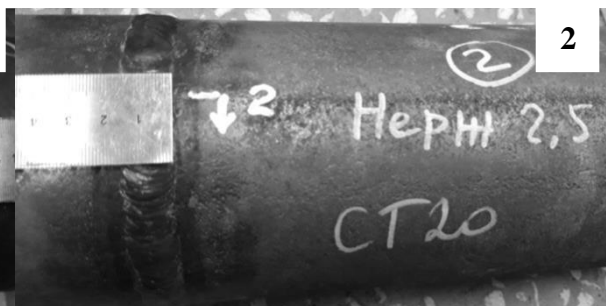


Рисунок Б11. Сварное соединение 1.

Рисунок Б12. Сварное соединение 2.

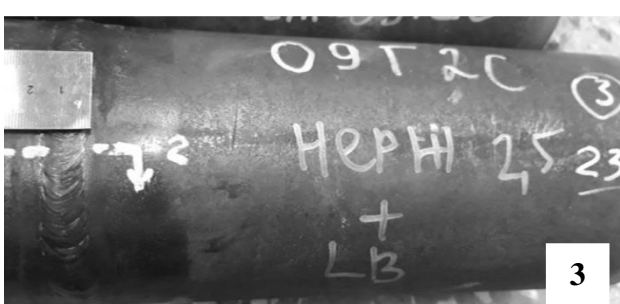


Рисунок Б13. Сварное соединение 3.

Рисунок Б14. Сварное соединение 4.

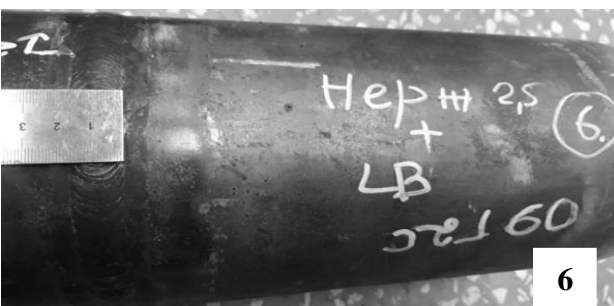


Рисунок Б15. Сварное соединение 5.

Рисунок Б16. Сварное соединение 6.

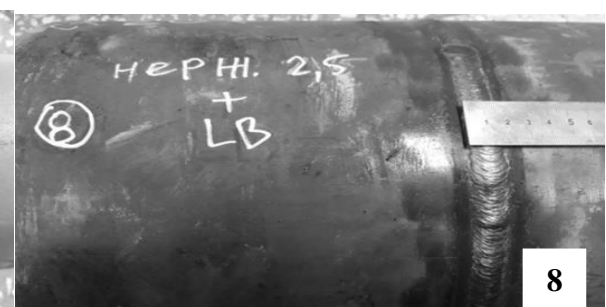
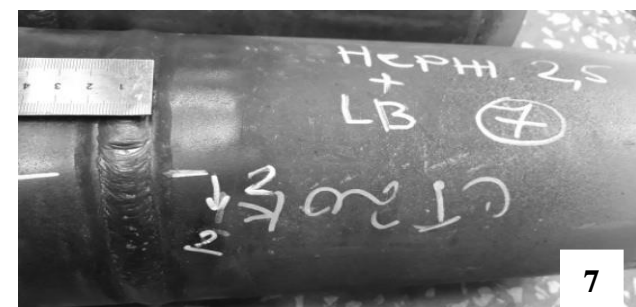


Рисунок Б17. Сварное соединение 7.

Рисунок Б18. Сварное соединение 8.

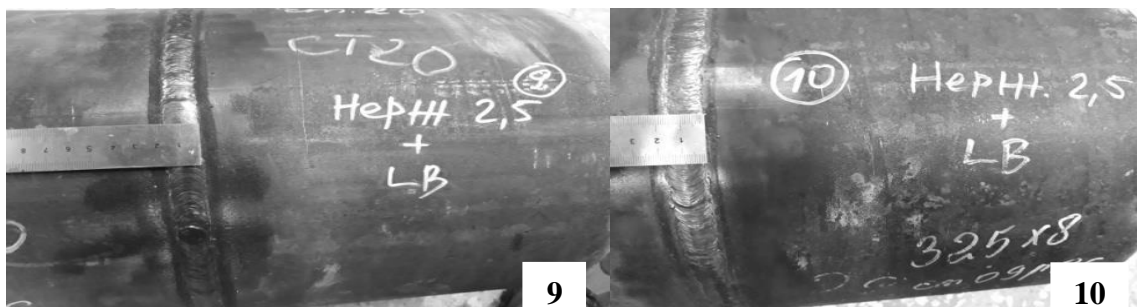


Рисунок Б19. Сварное соединение 9. Рисунок Б20. Сварное соединение 10.

Партия 3

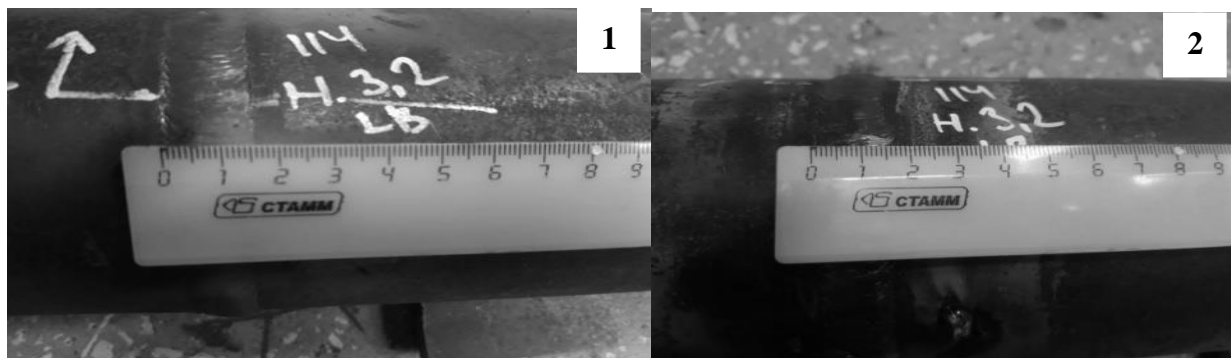


Рисунок Б21. Сварное соединение 1. Рисунок Б22. Сварное соединение 2.



Рисунок Б23. Сварное соединение 3.

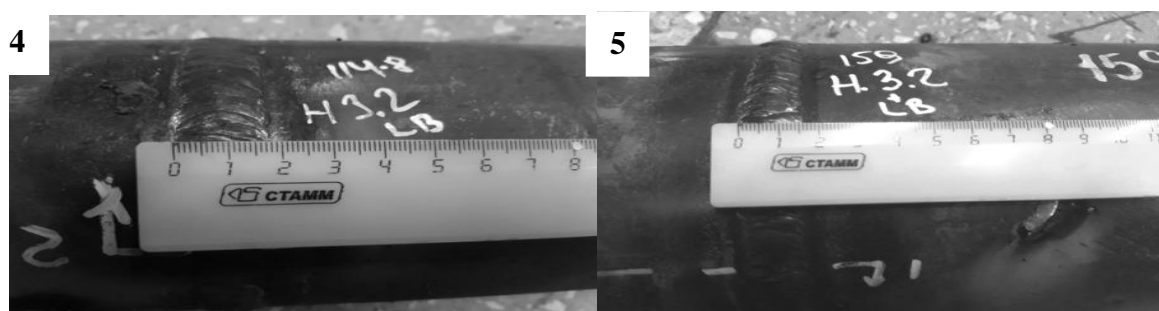


Рисунок Б24. Сварное соединение 4. Рисунок Б25. Сварное соединение 5.

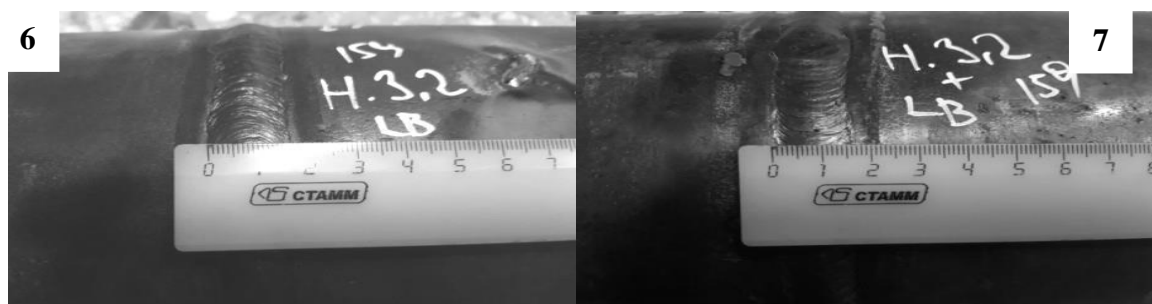


Рисунок Б26. Сварное соединение 6. Рисунок Б27. Сварное соединение 7.

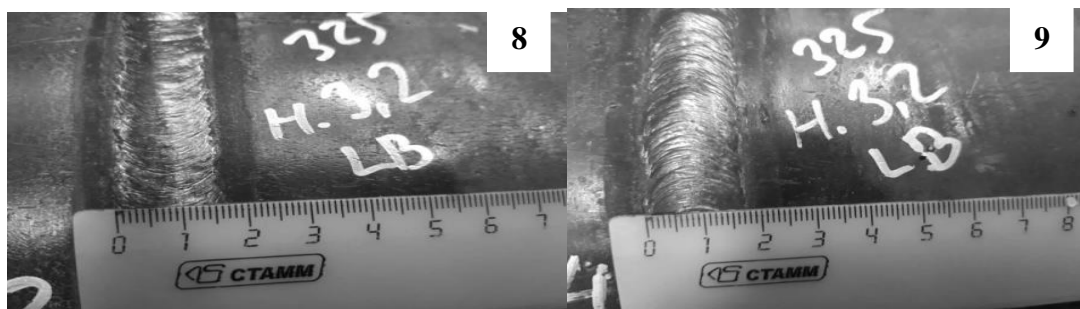


Рисунок Б28. Сварное соединение 8. Рисунок Б29. Сварное соединение 9.



Рисунок Б30. Сварное соединение 10.

Приложение В

Фотографии с внутренним видом сварных соединений.

Партия 1

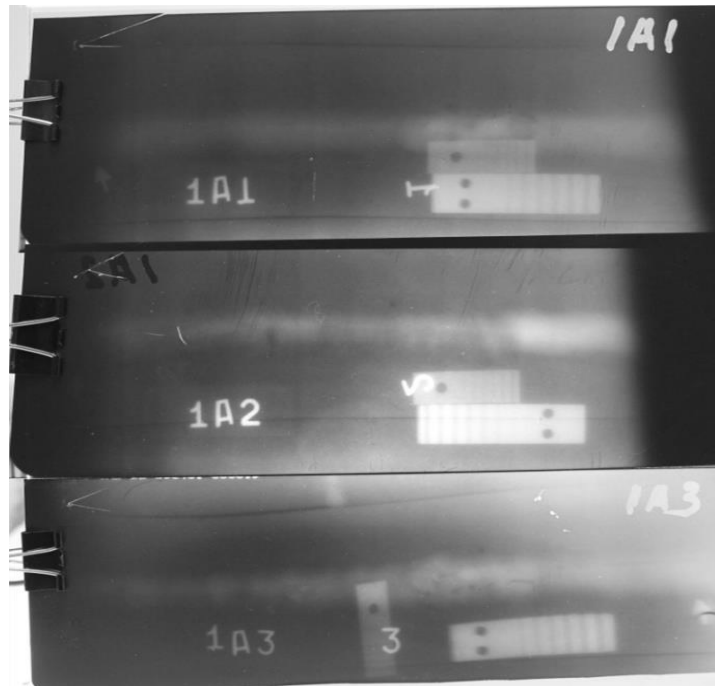


Рисунок В1. Сварное соединение 1.



Рисунок В2. Сварное соединение 2.

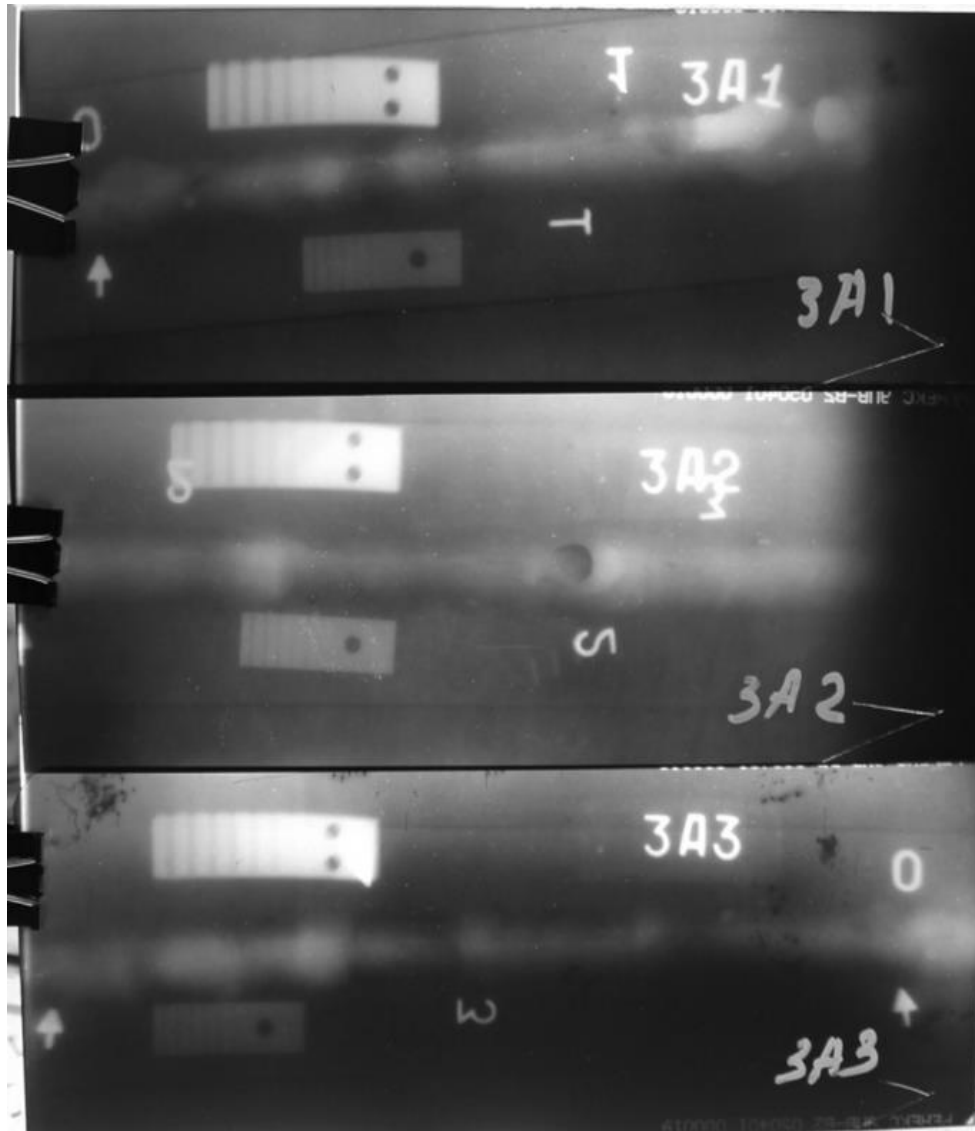


Рисунок В3. Сварное соединение 3.

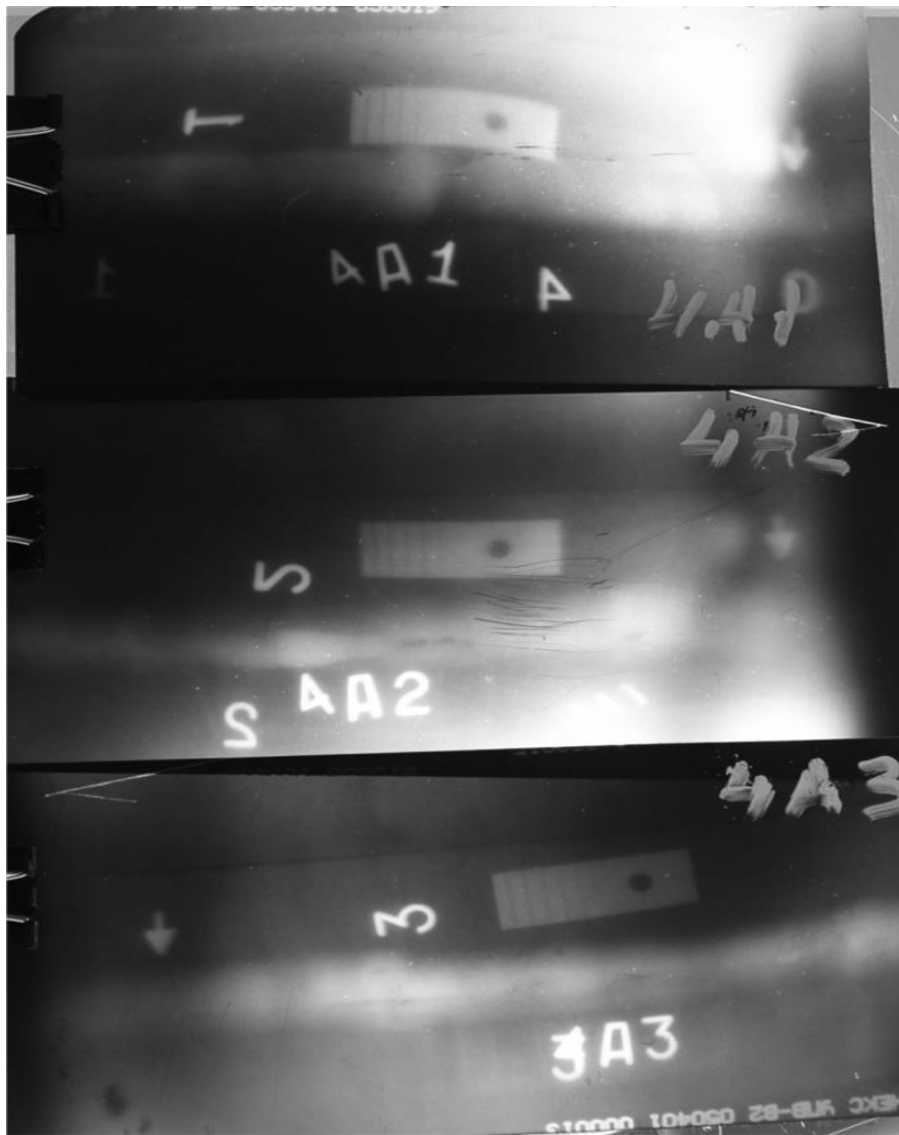


Рисунок В4. Сварное соединение 4.

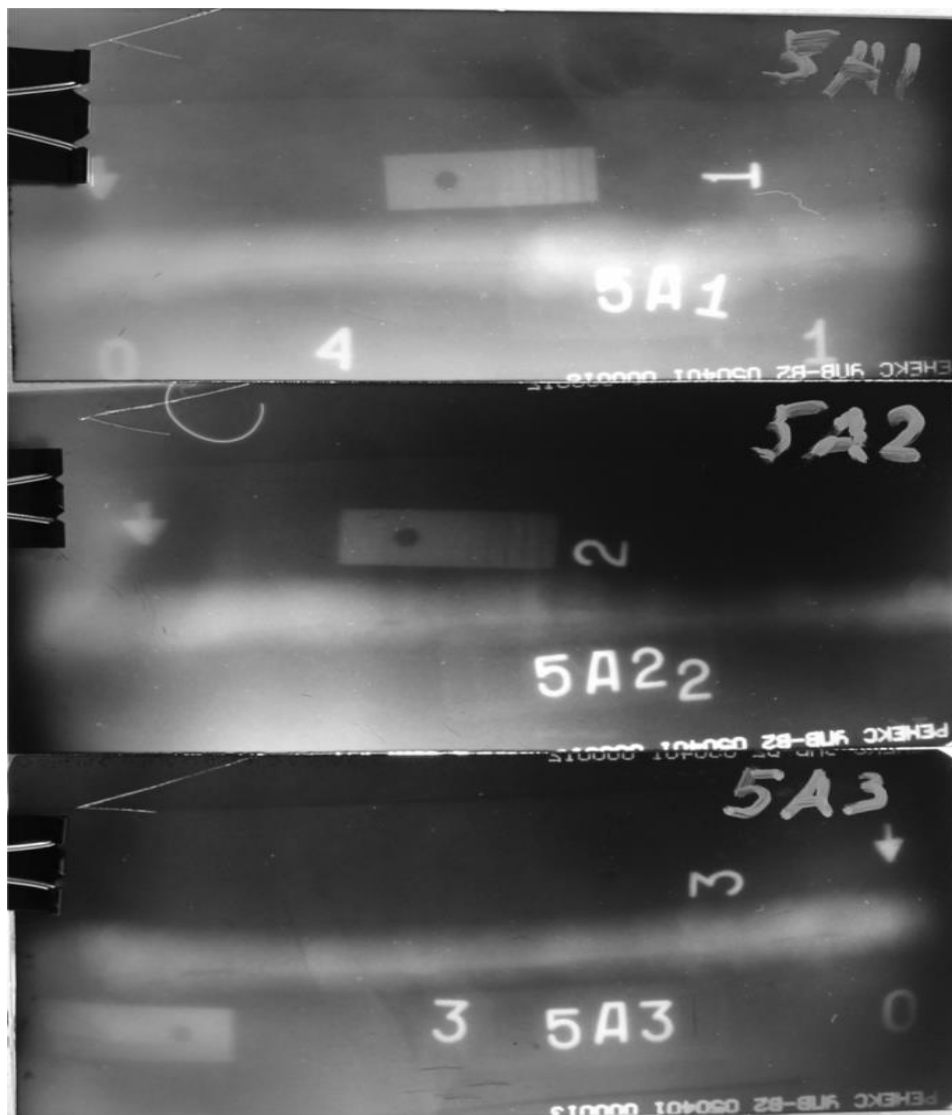


Рисунок В5. Сварное соединение 5.

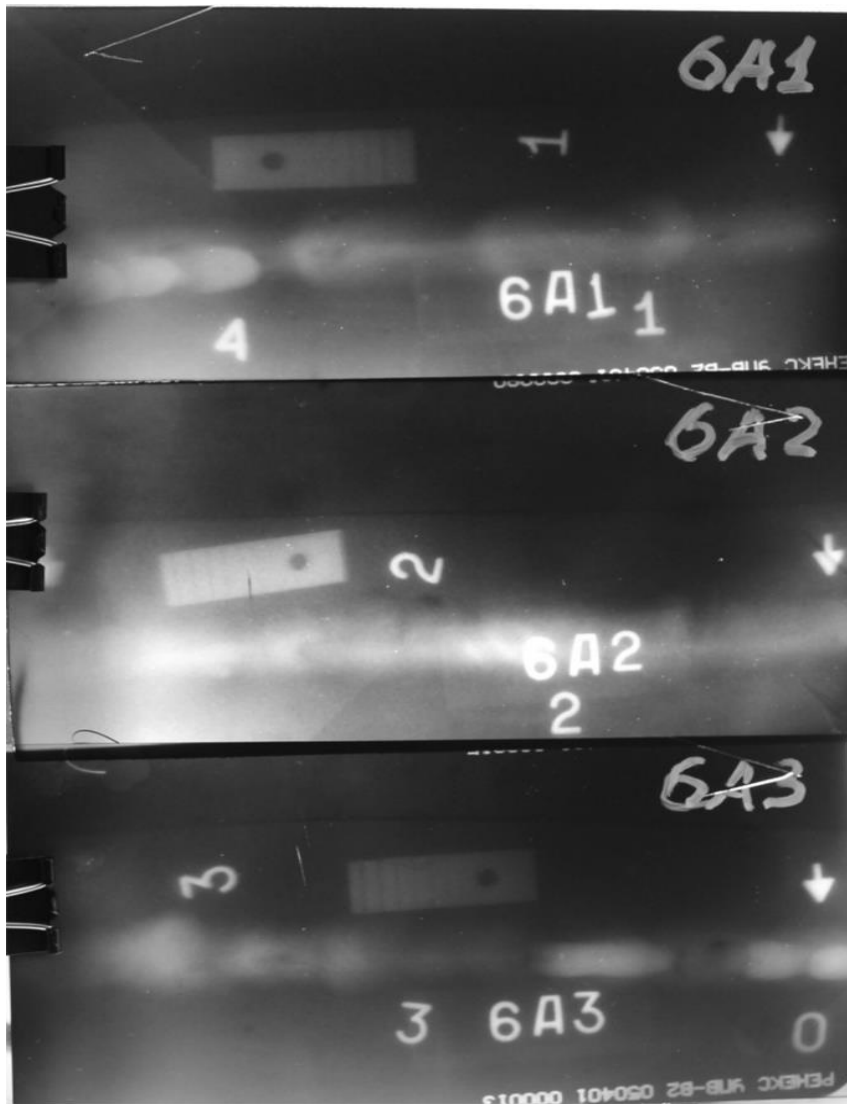


Рисунок В6. Сварное соединение 6.

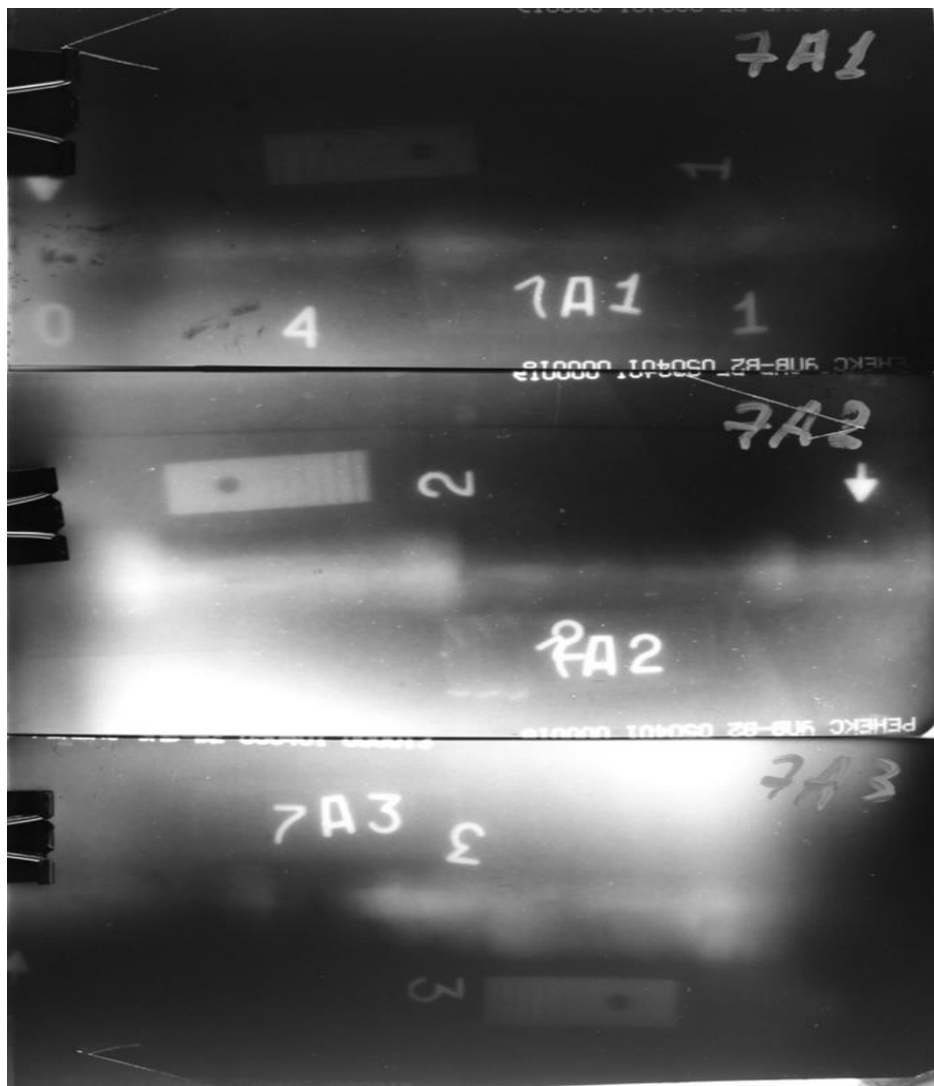


Рисунок В7. Сварное соединение 7.

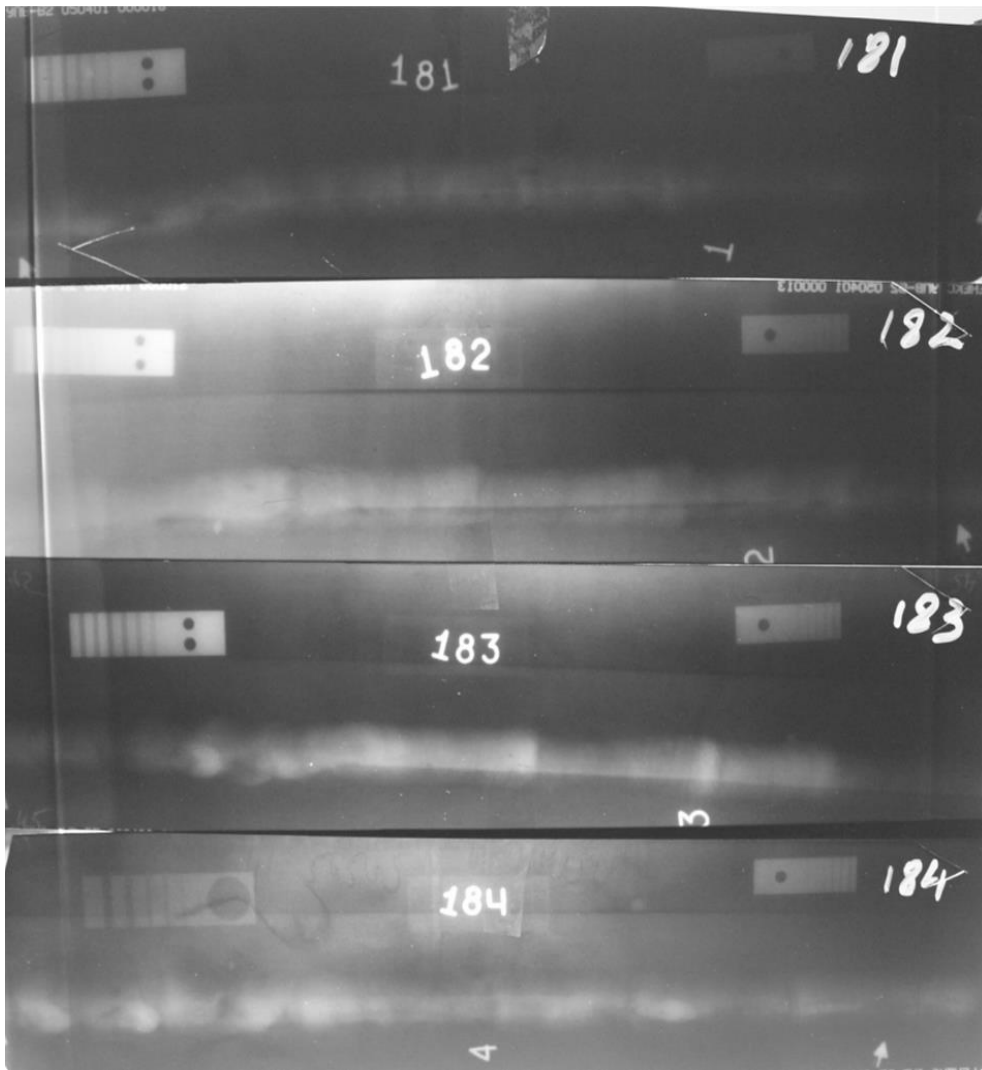


Рисунок В8. Сварное соединение 8.

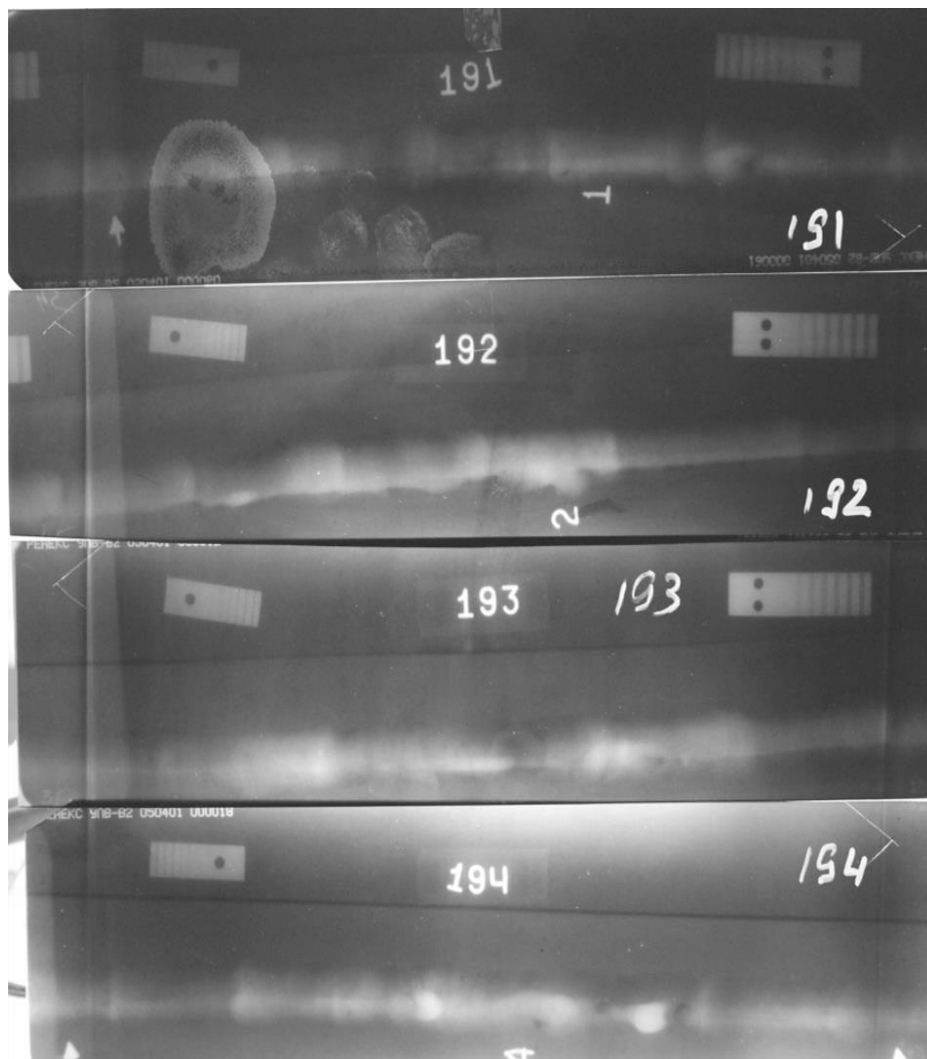


Рисунок В9. Сварное соединение 9.

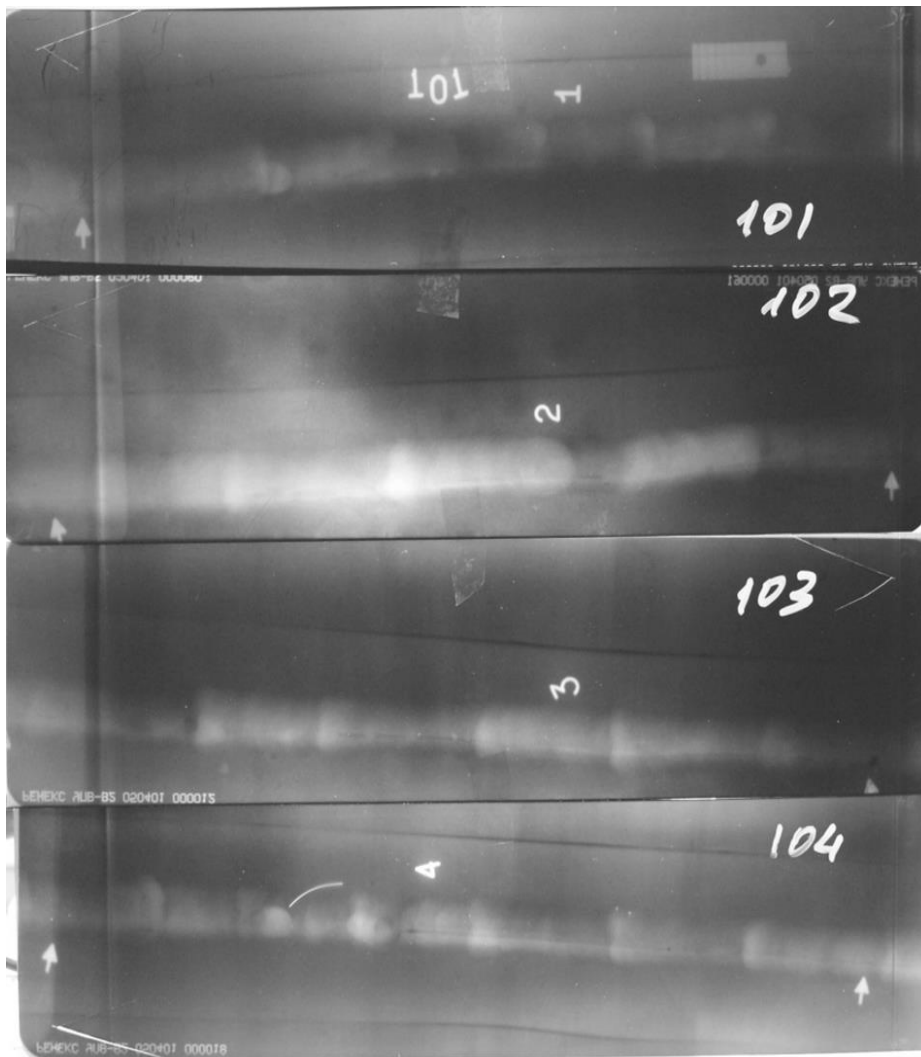


Рисунок В10. Сварное соединение 10.

Партия 2

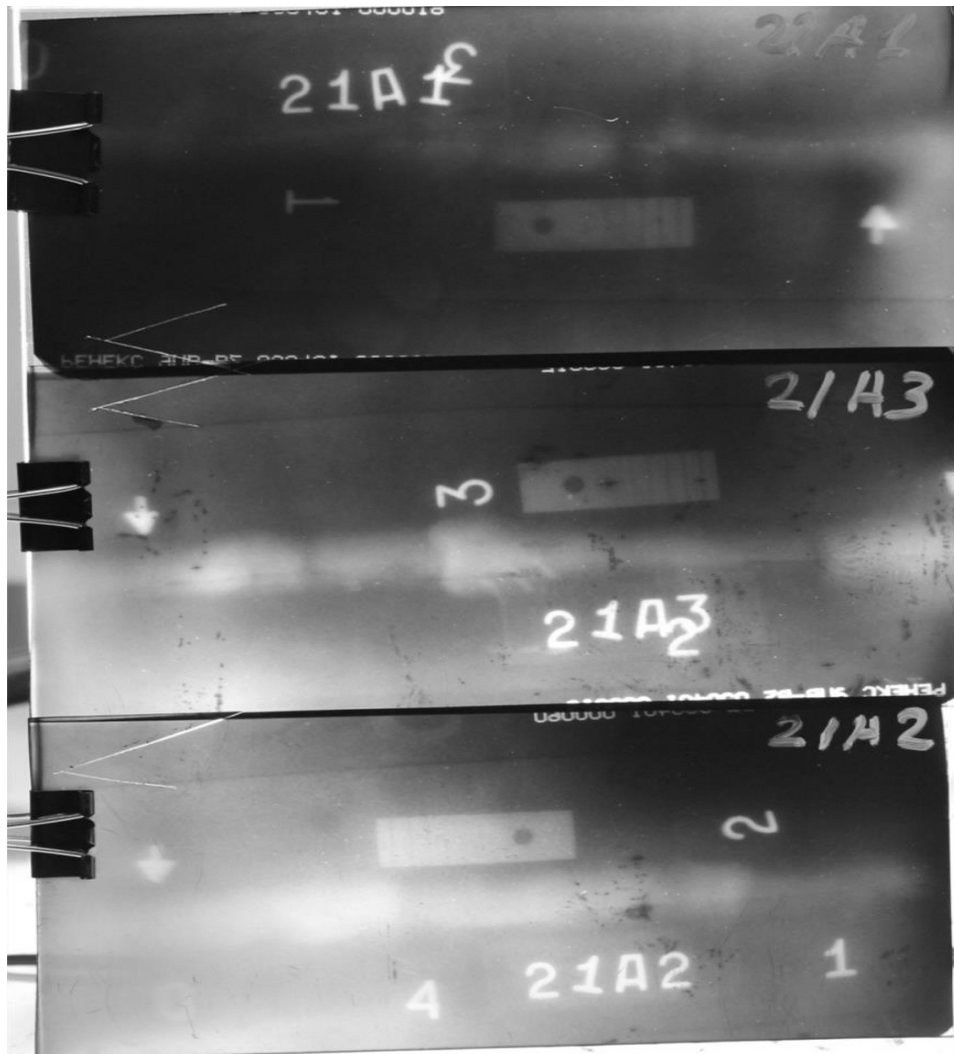


Рисунок В11. Сварное соединение 1.

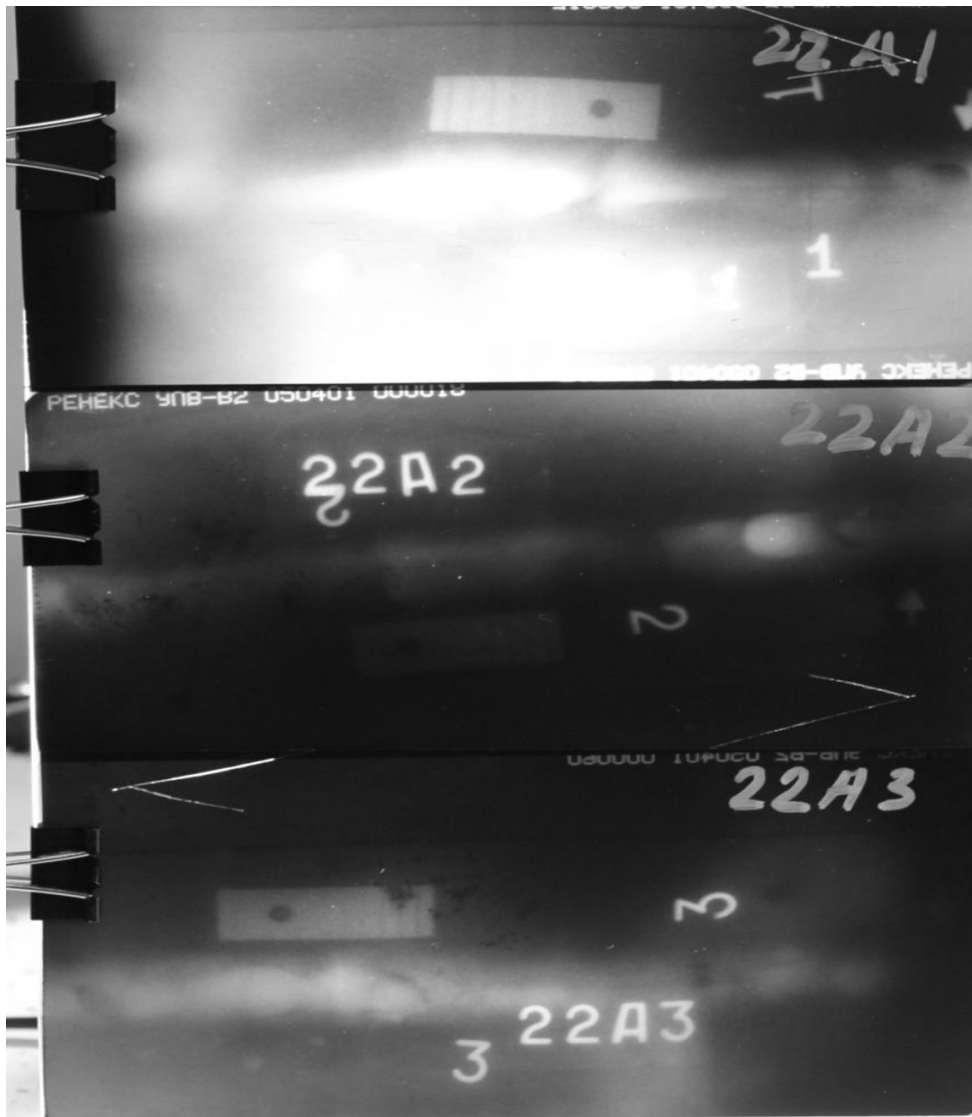


Рисунок В12. Сварное соединение 2.



Рисунок В13. Сварное соединение 3.

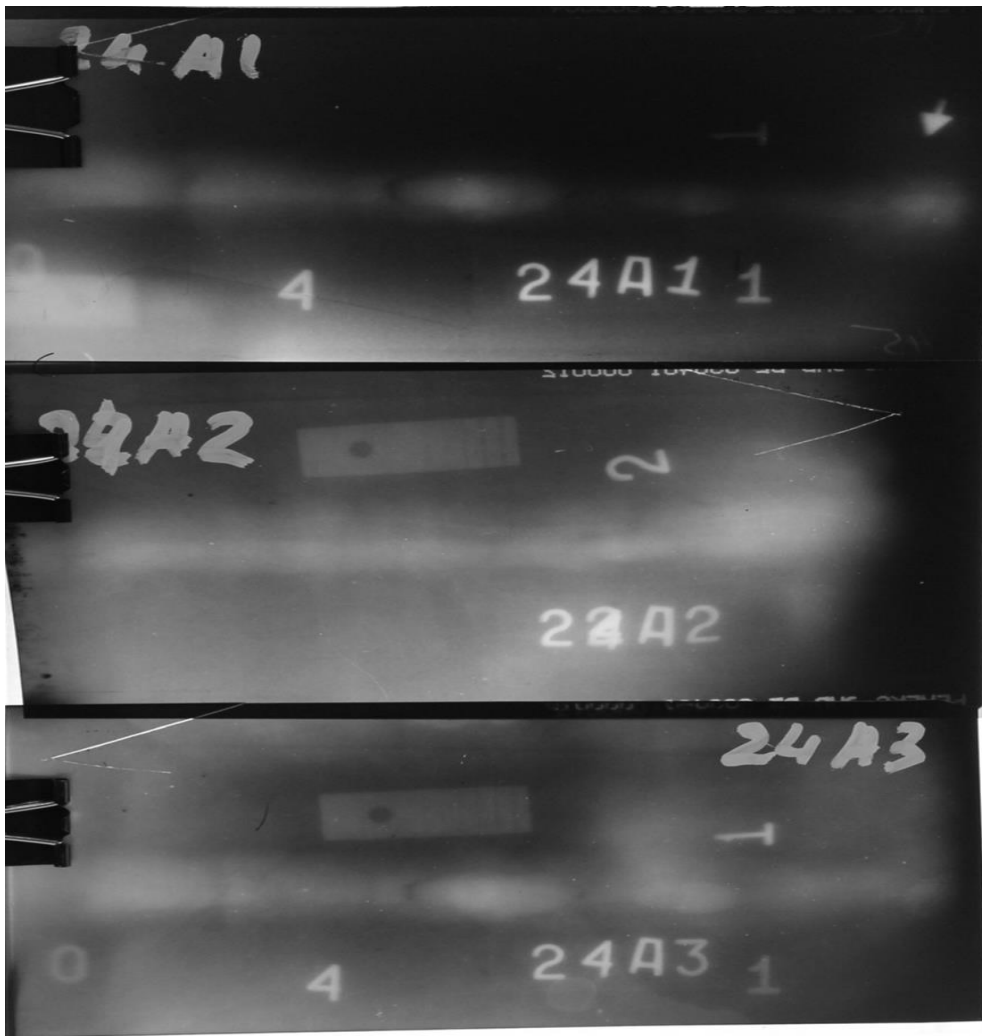


Рисунок В14. Сварное соединение 4.

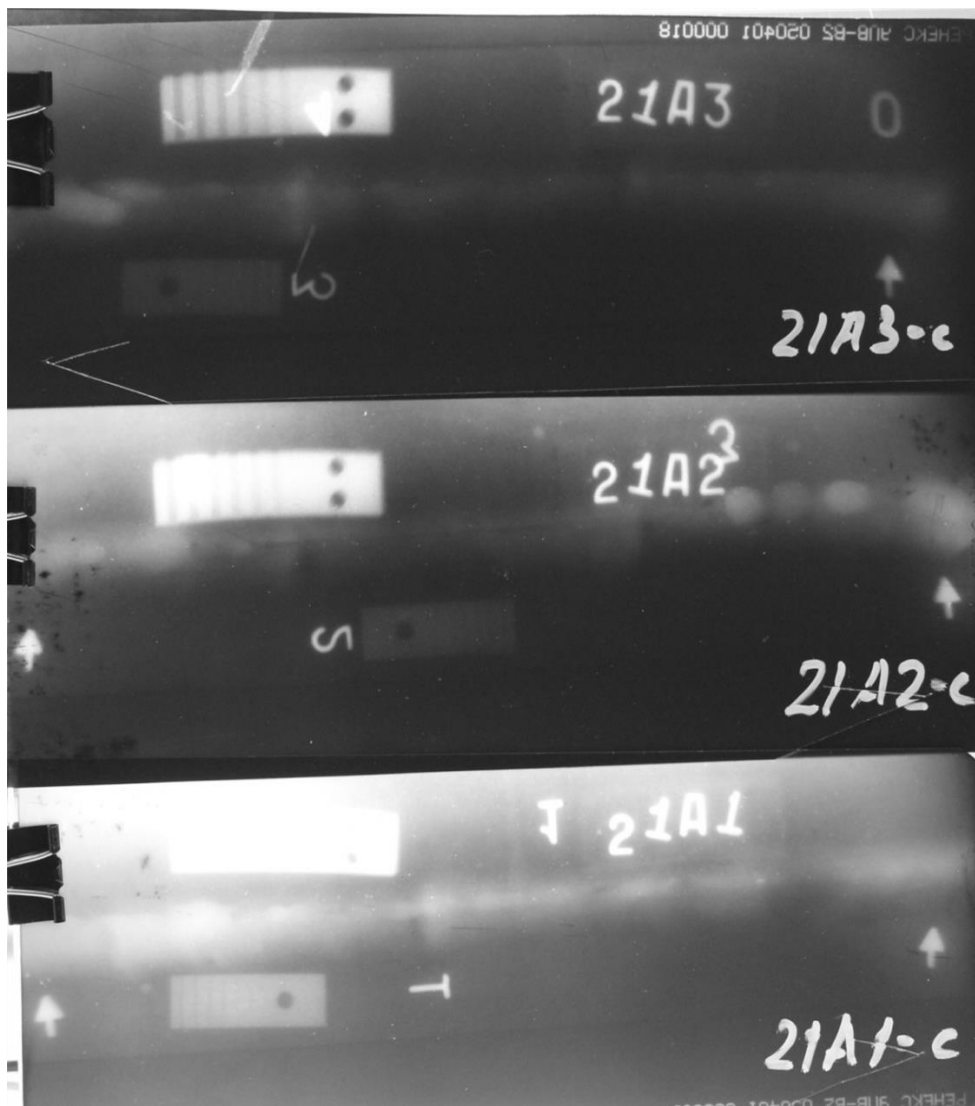


Рисунок В15. Сварное соединение 5.

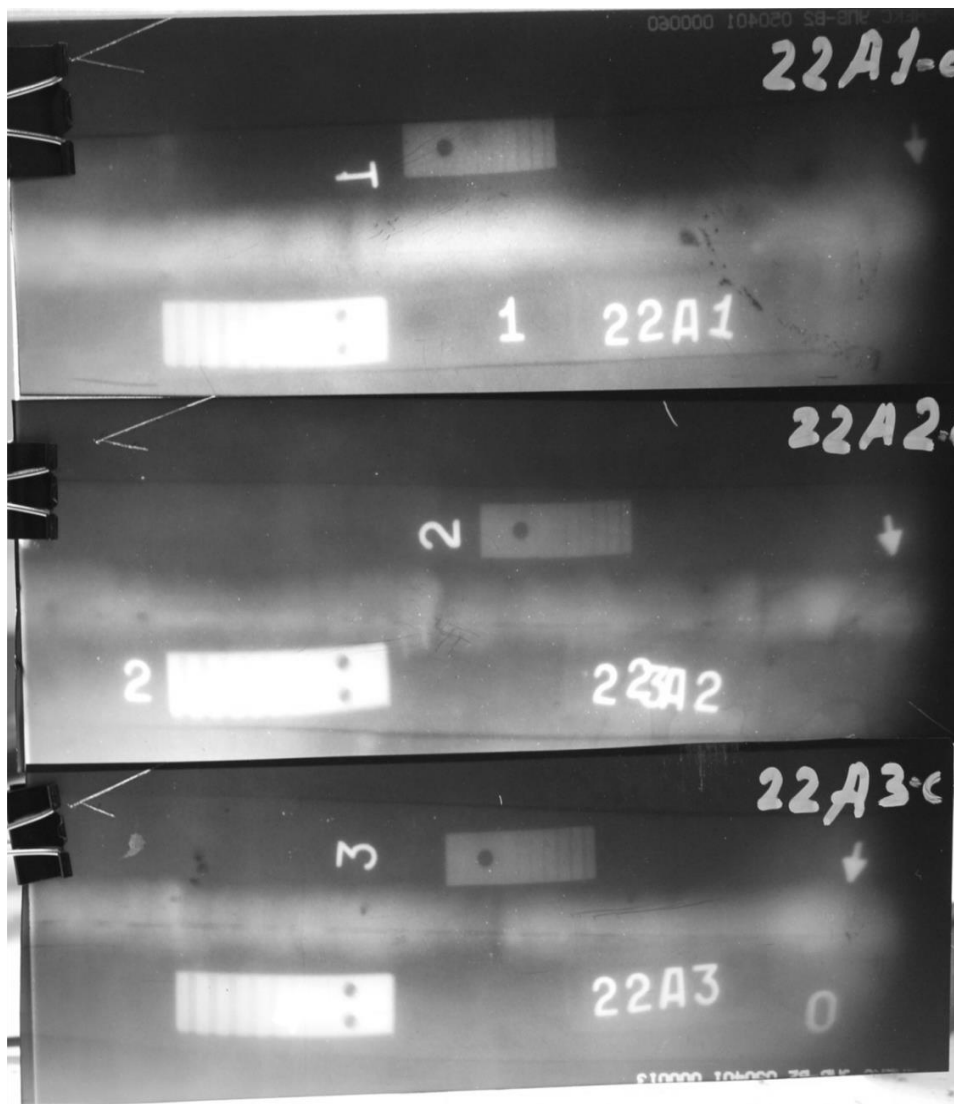


Рисунок В16. Сварное соединение 6.

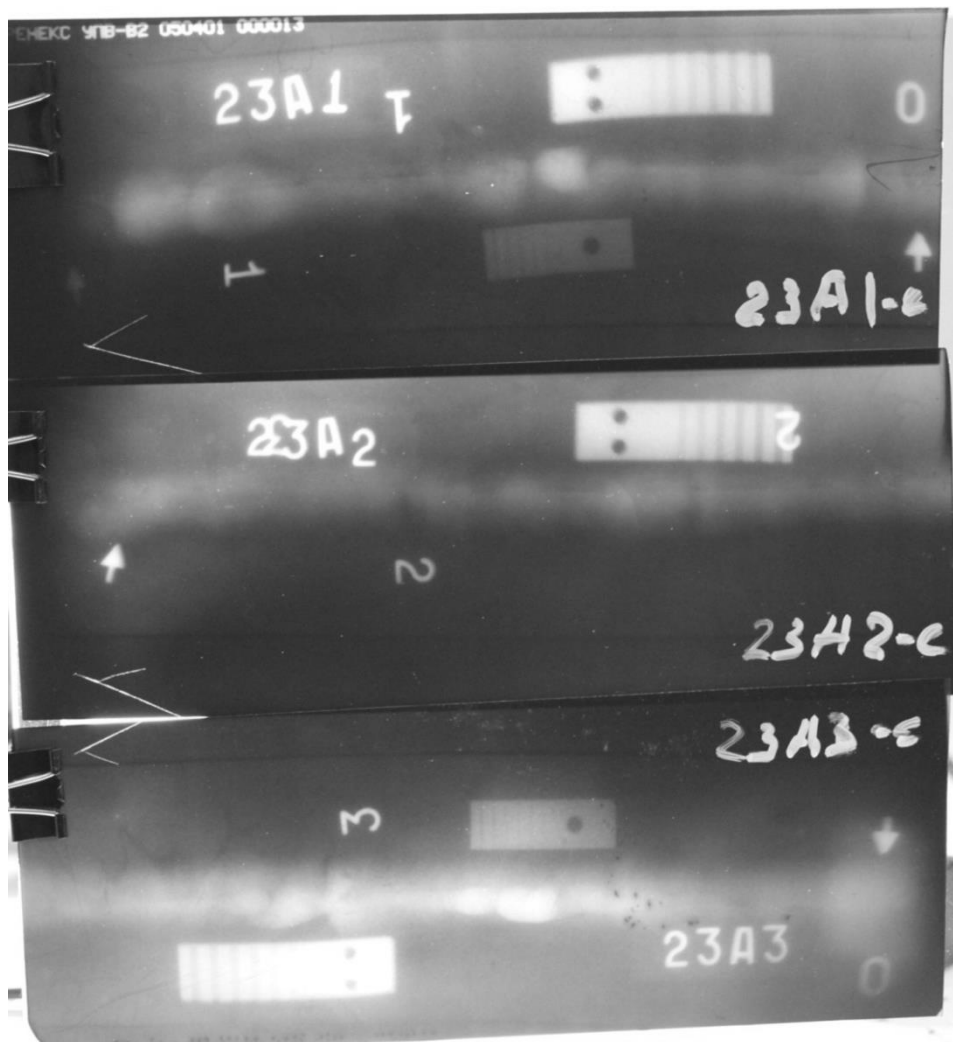


Рисунок В17. Сварное соединение 7.

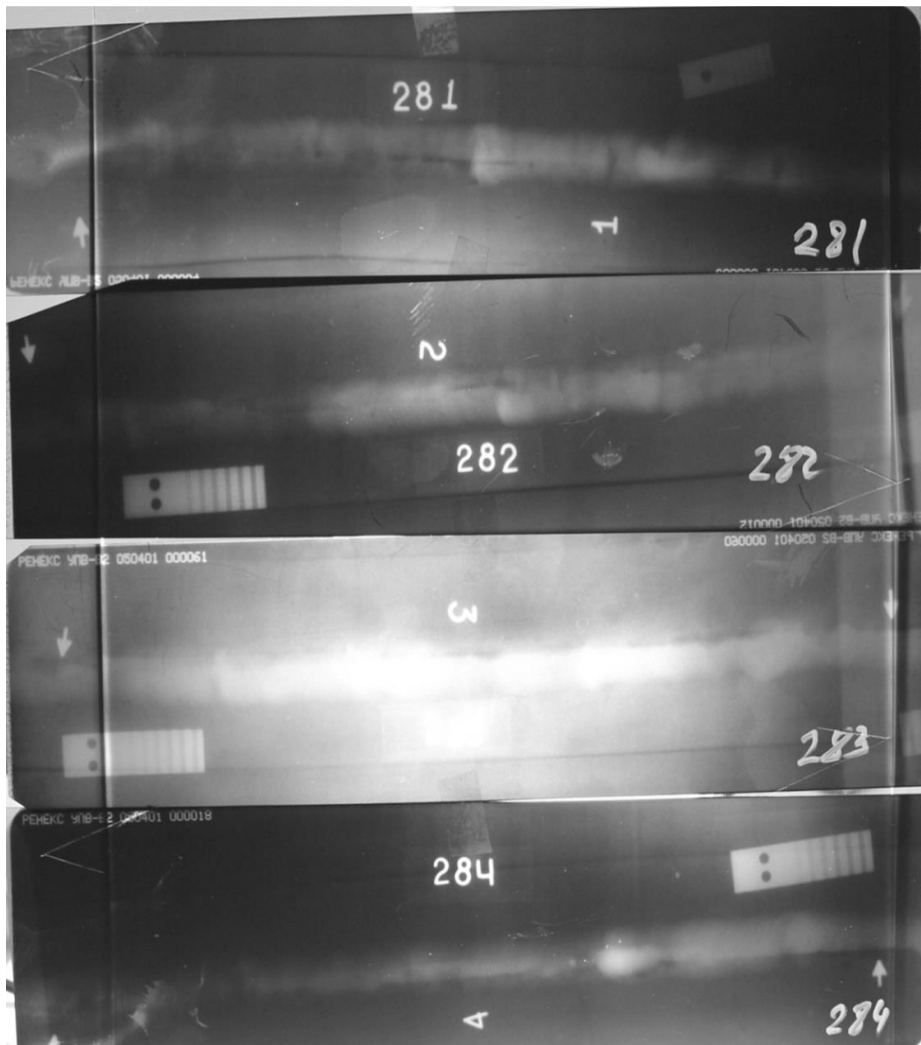


Рисунок В18. Сварное соединение 8.

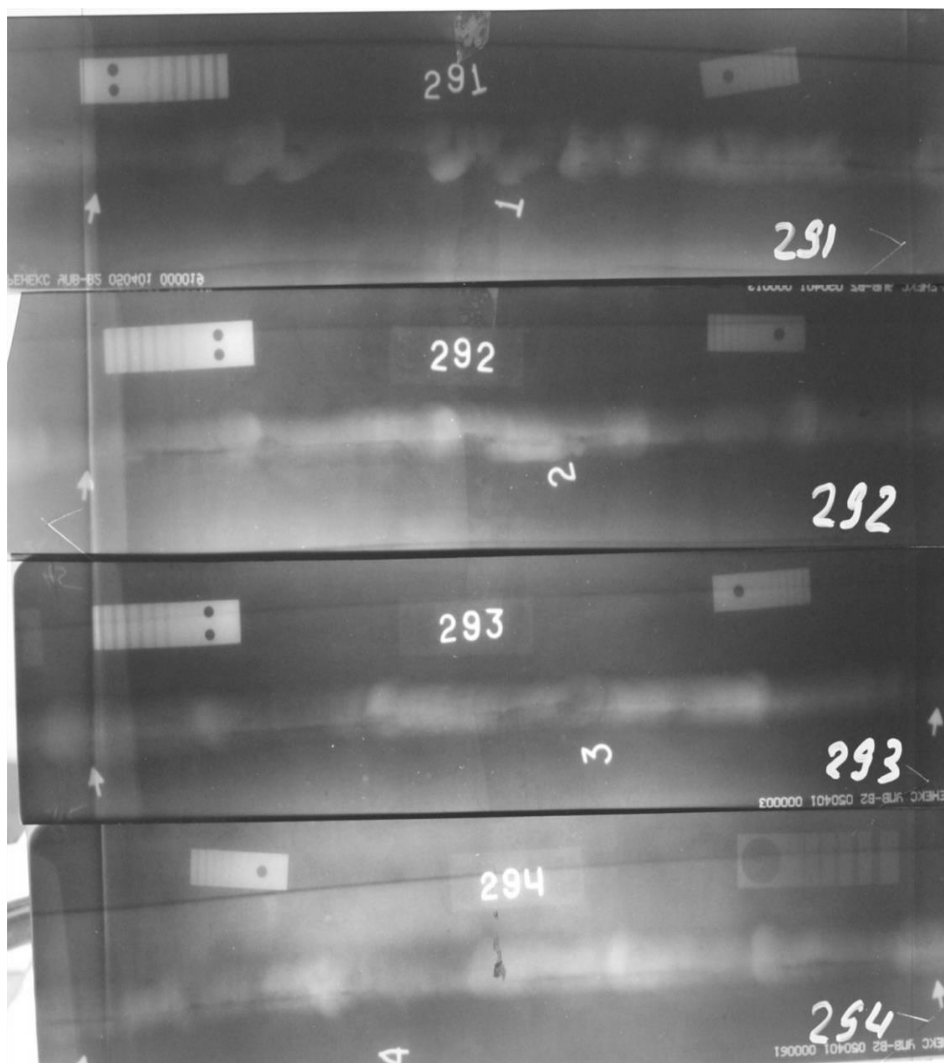


Рисунок В19. Сварное соединение 9.

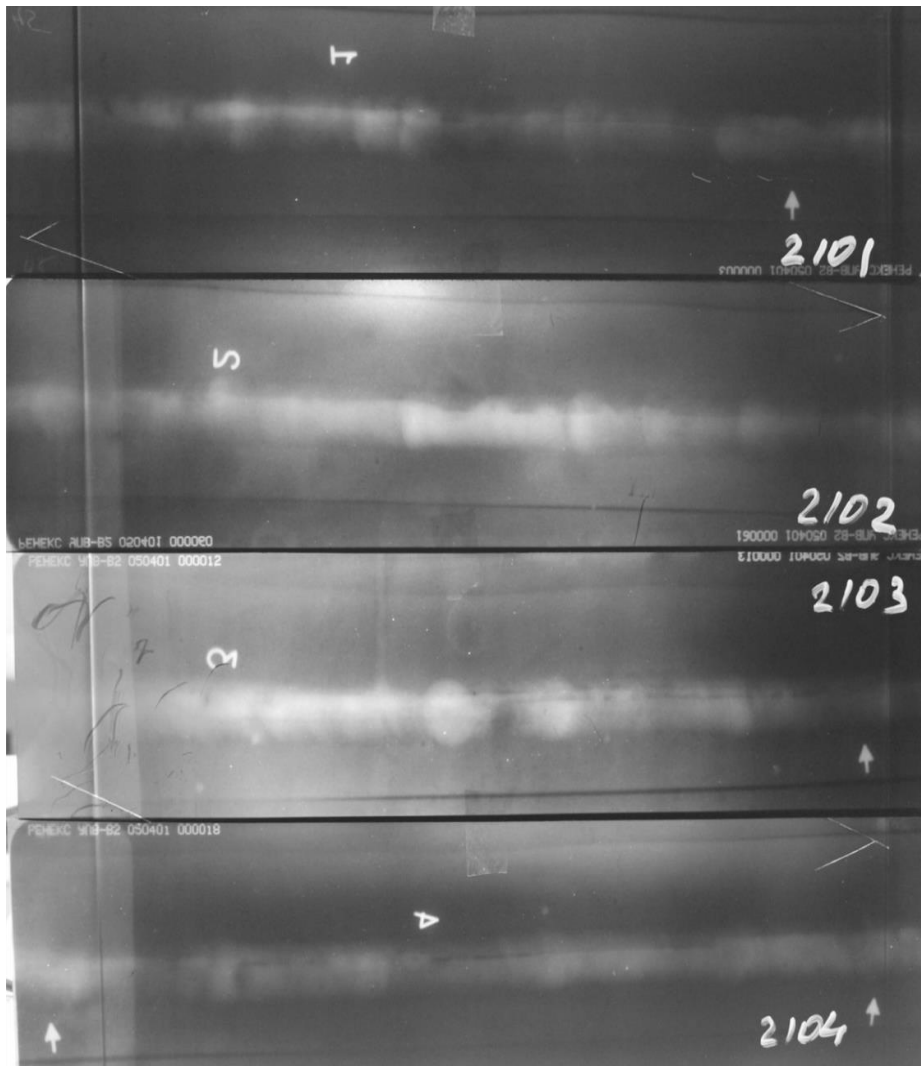


Рисунок В20. Сварное соединение 10.

Партия 3

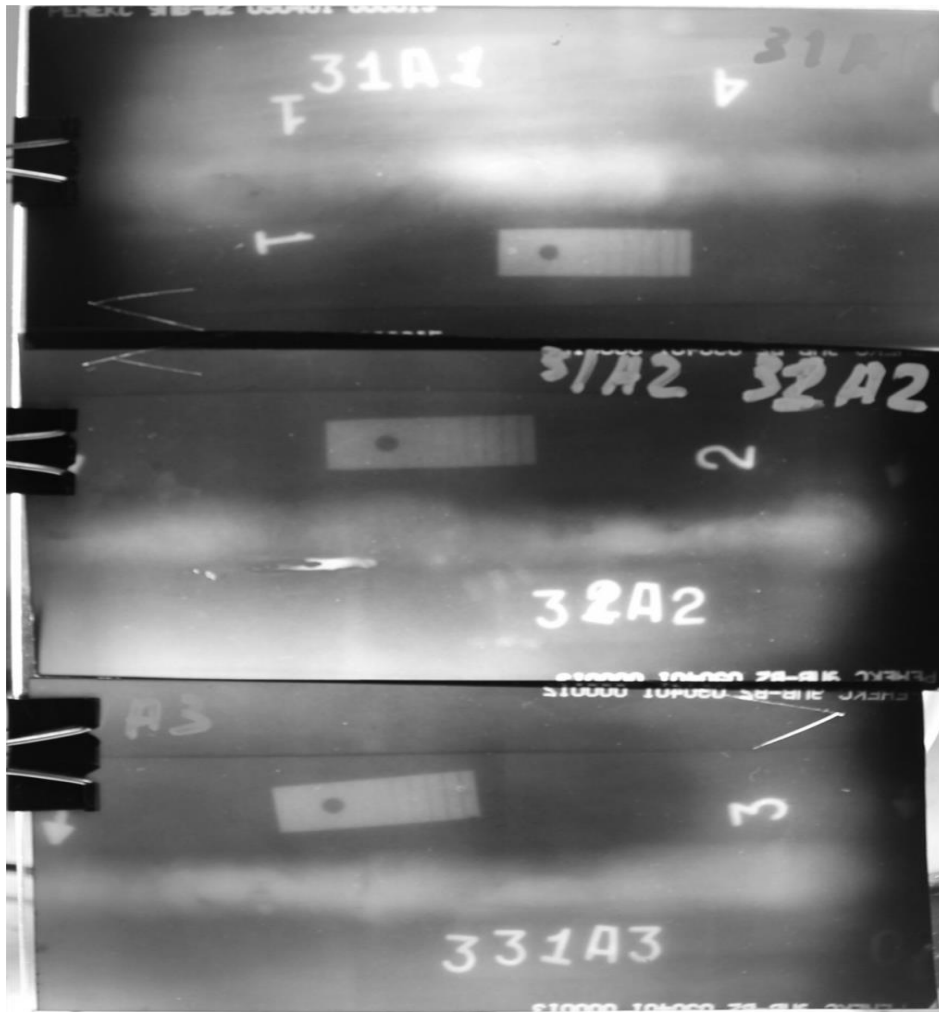


Рисунок В21. Сварное соединение 1.

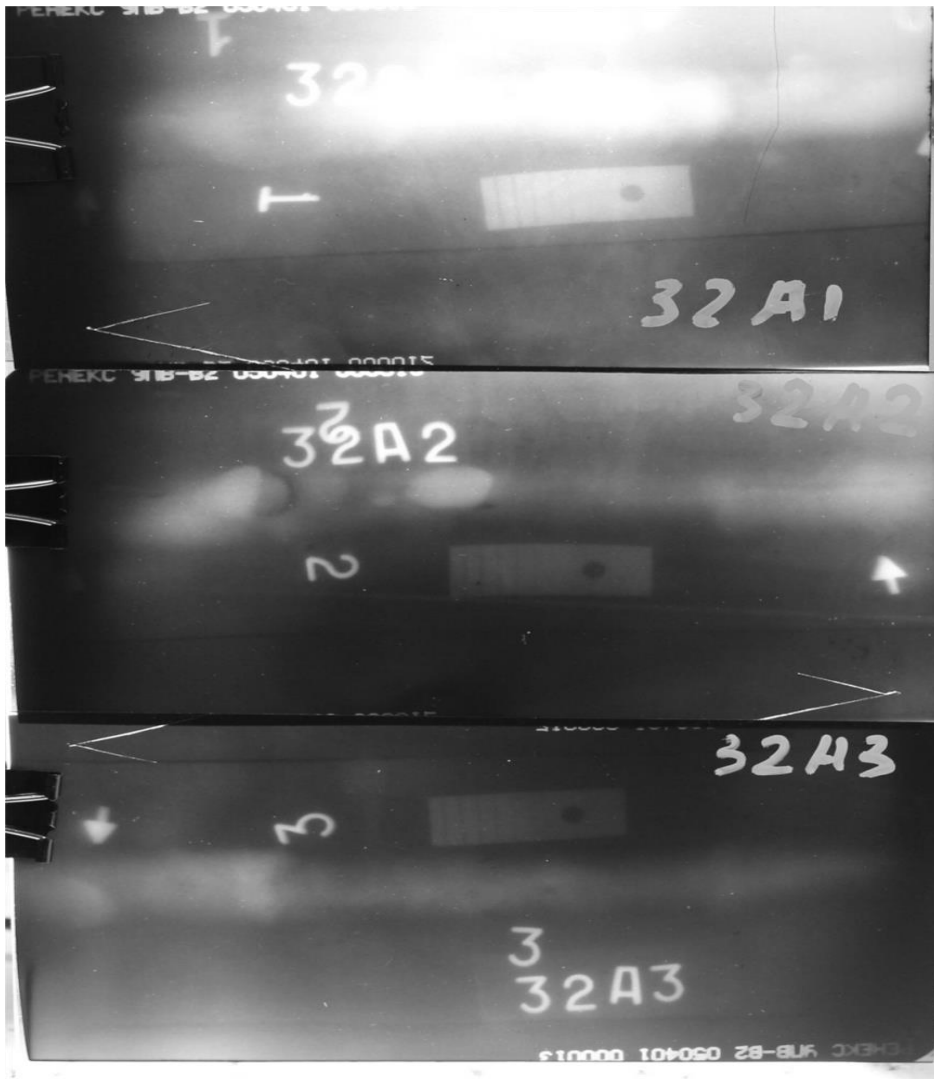


Рисунок 22. Сварное соединение 2.

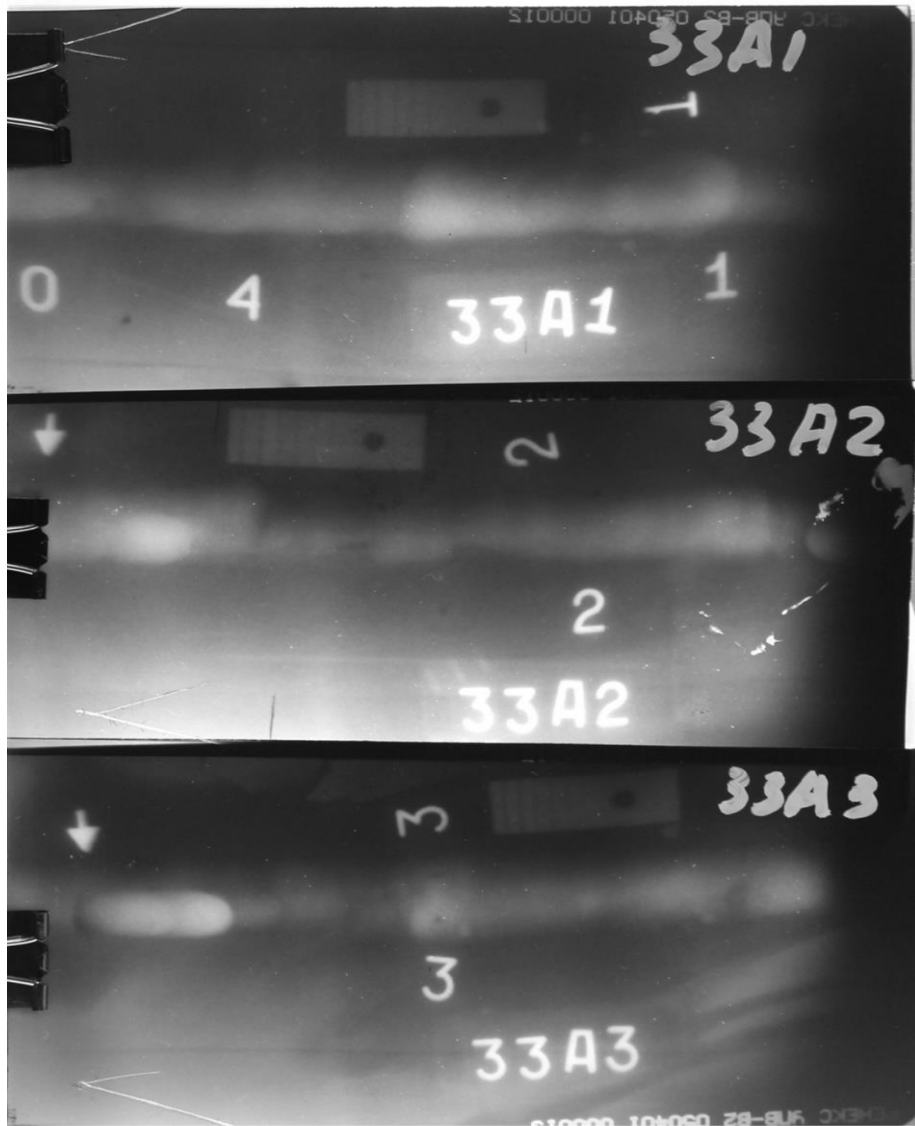


Рисунок В23. Сварное соединение 3.



Рисунок В24. Сварное соединение 4.

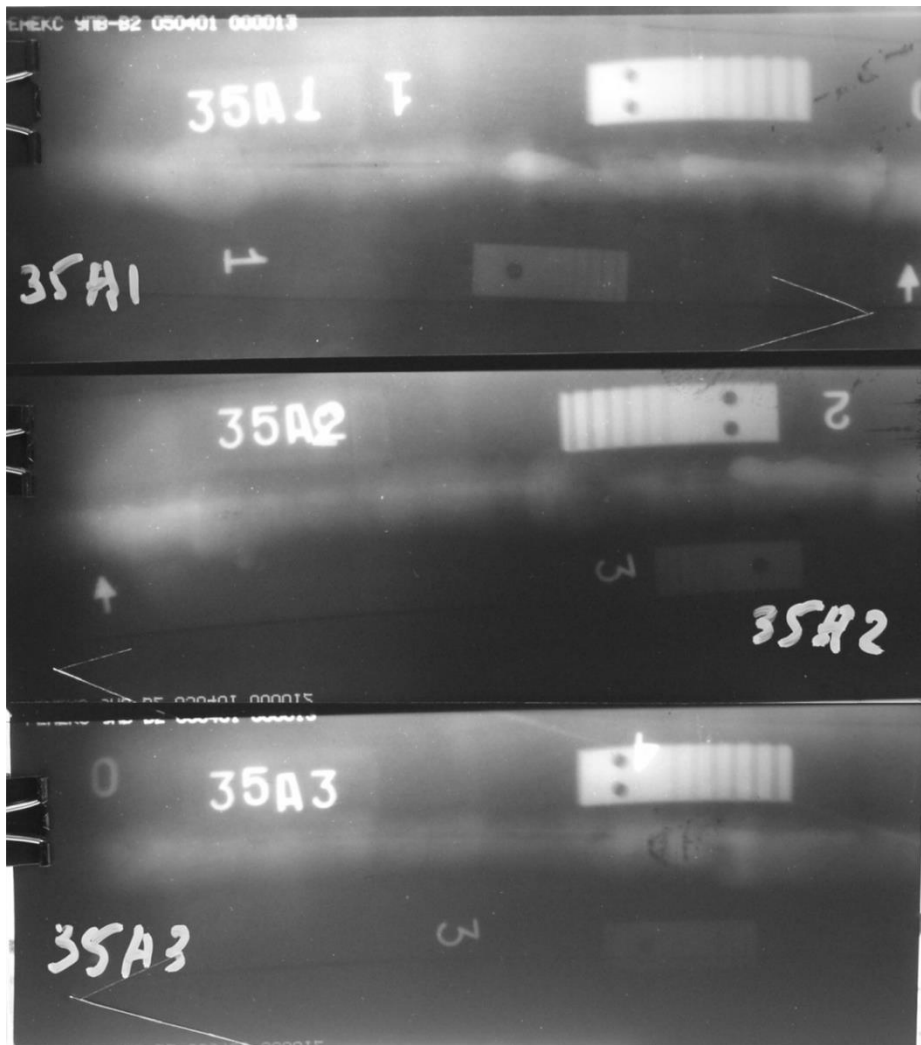


Рисунок В25. Сварное соединение 5.

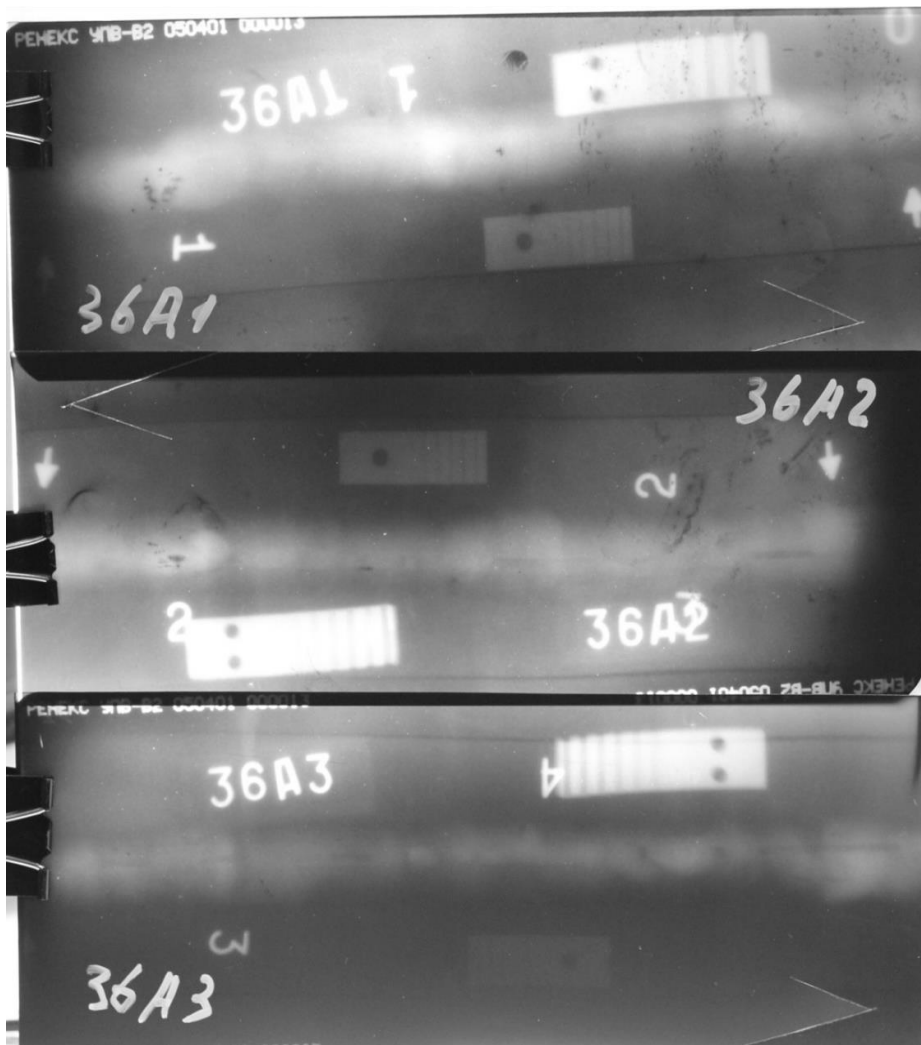


Рисунок В26. Сварное соединение 5.

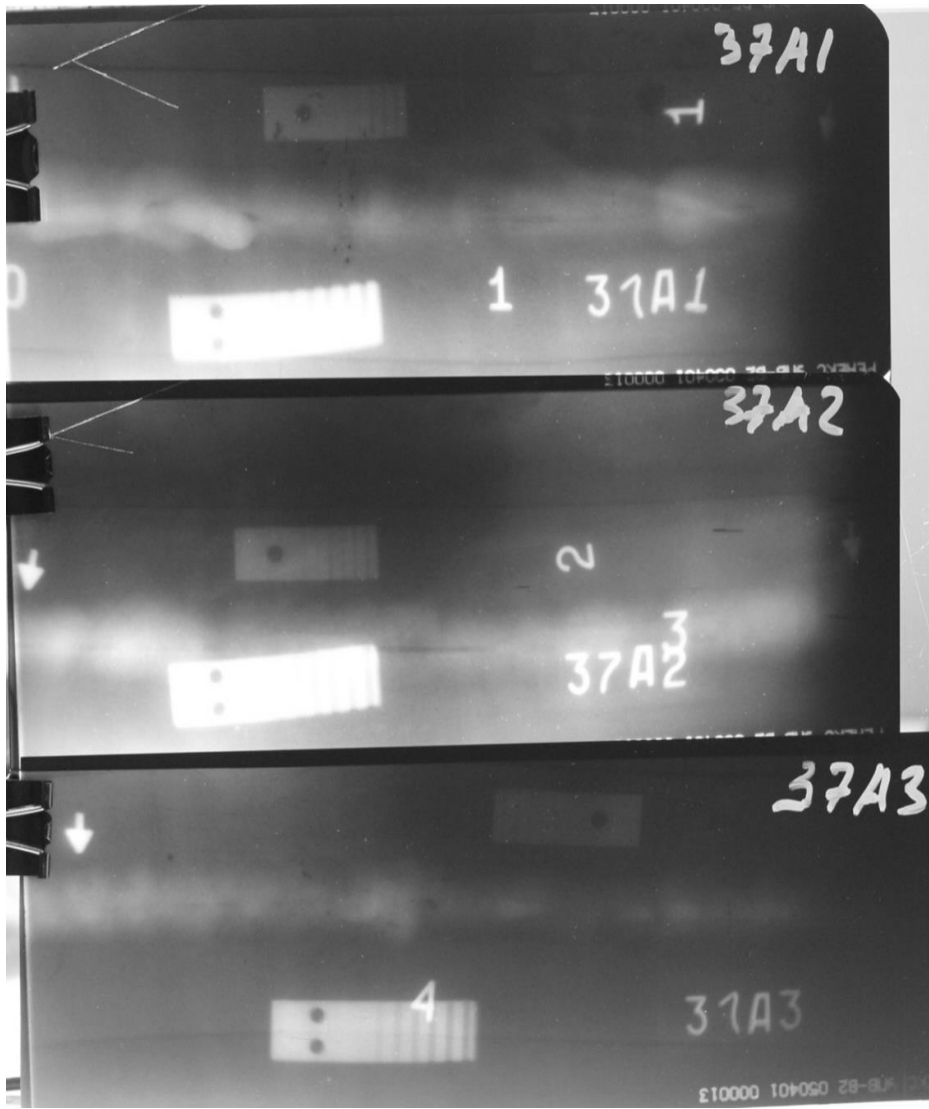


Рисунок В27. Сварное соединение 7.

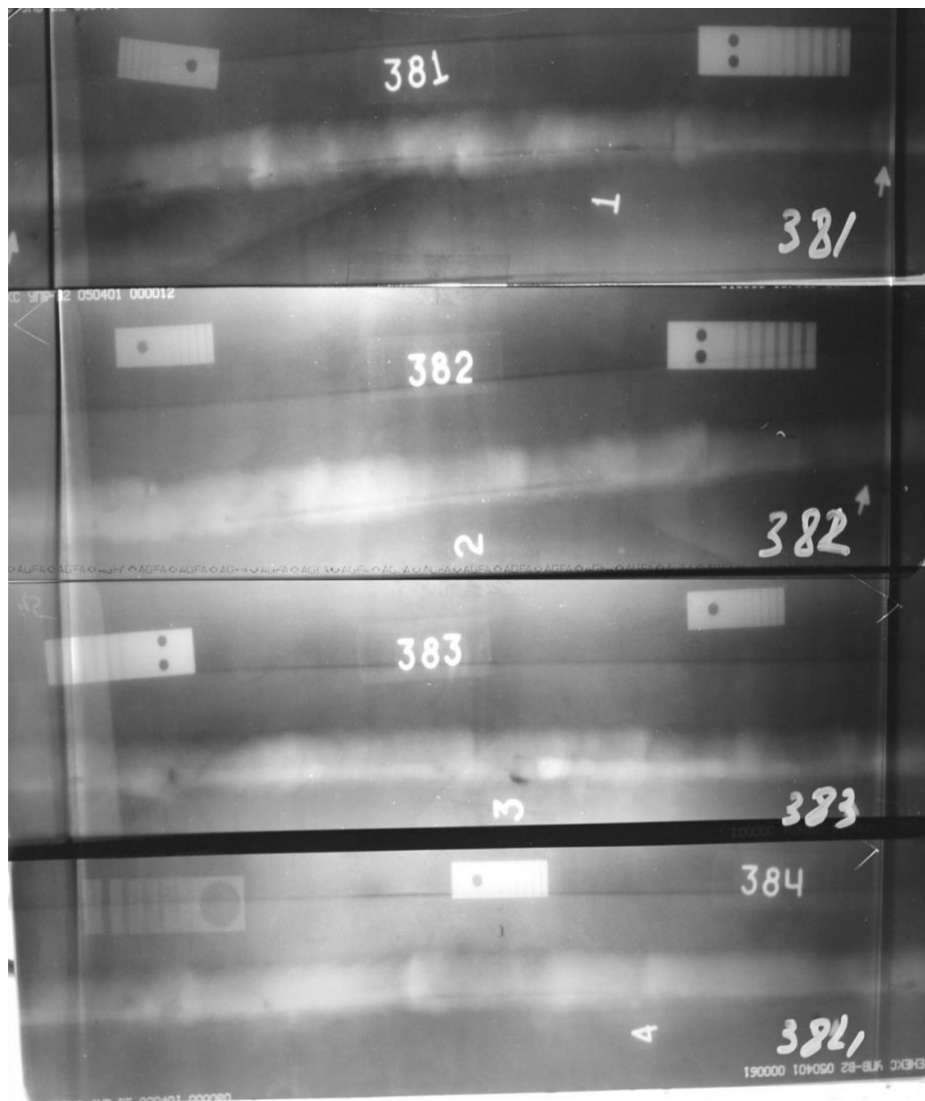


Рисунок В28. Сварное соединение 8.

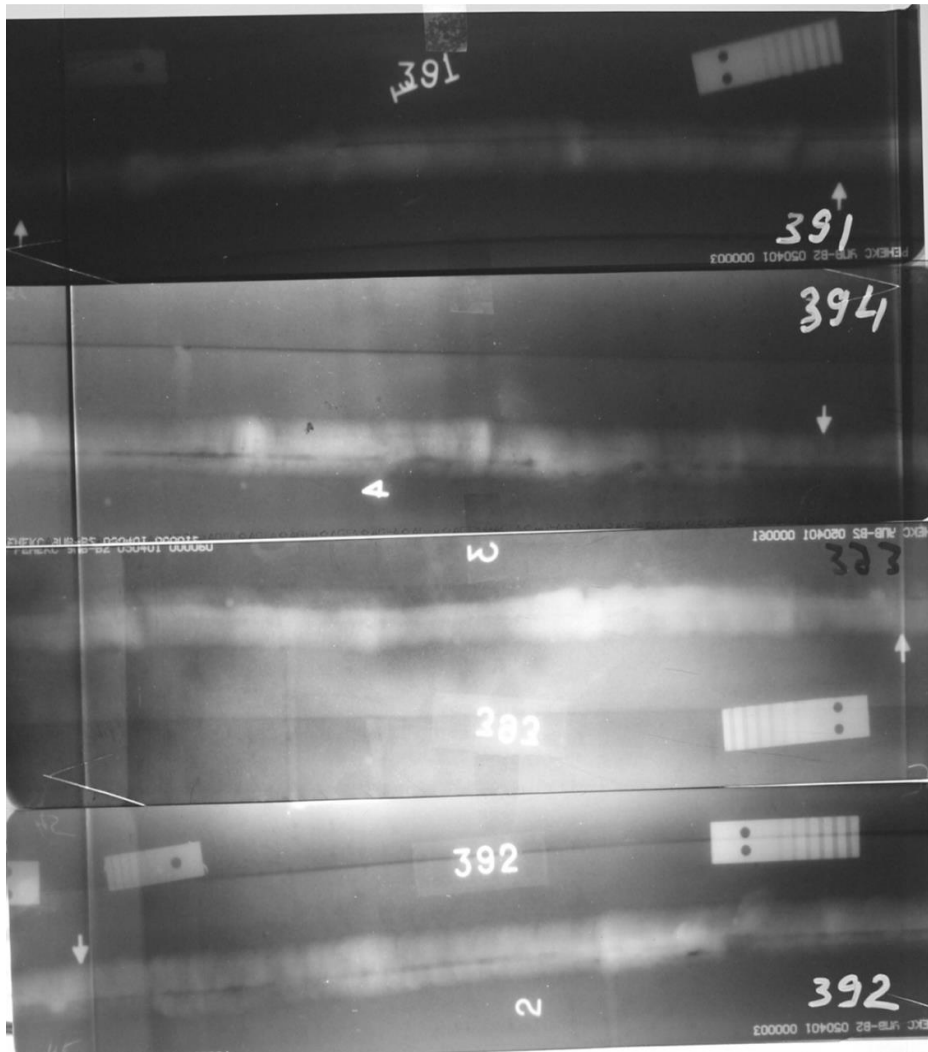


Рисунок В29. Сварное соединение 9.

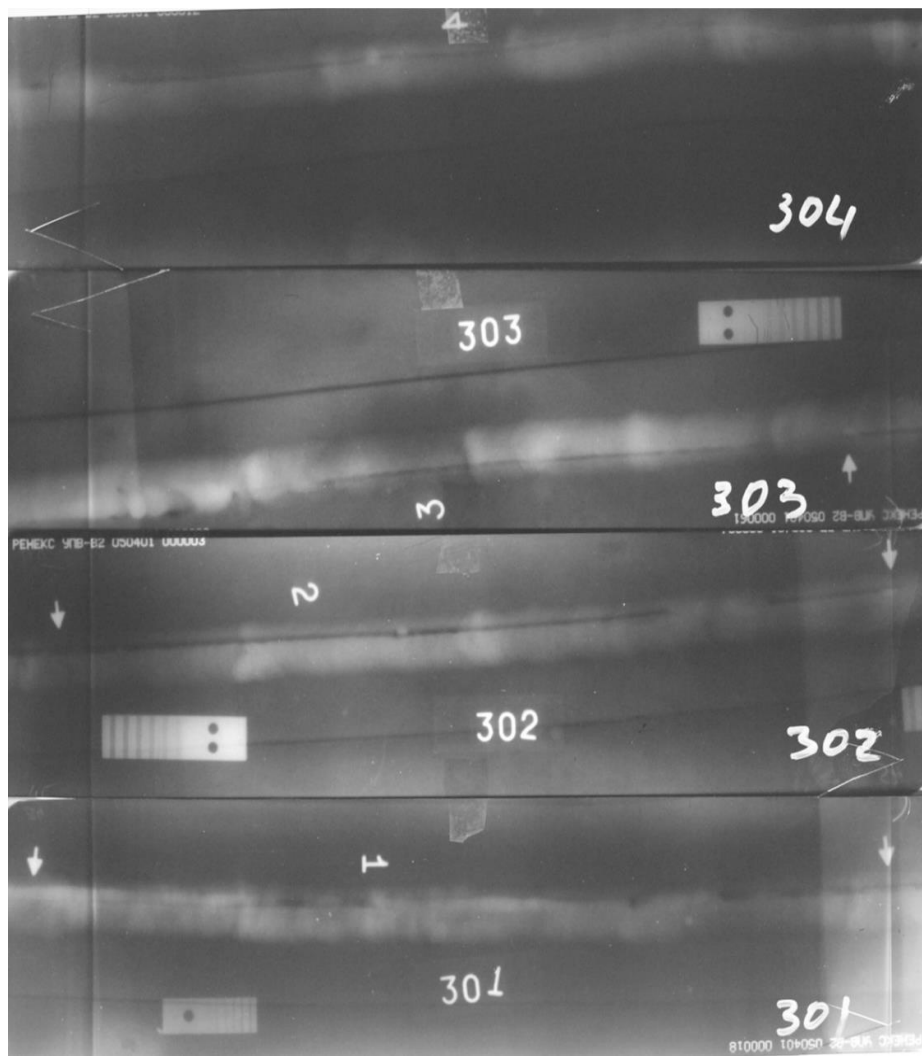


Рисунок В30. Сварное соединение 10.

Приложение Г

Образцы после механических испытаний

Партия 1.

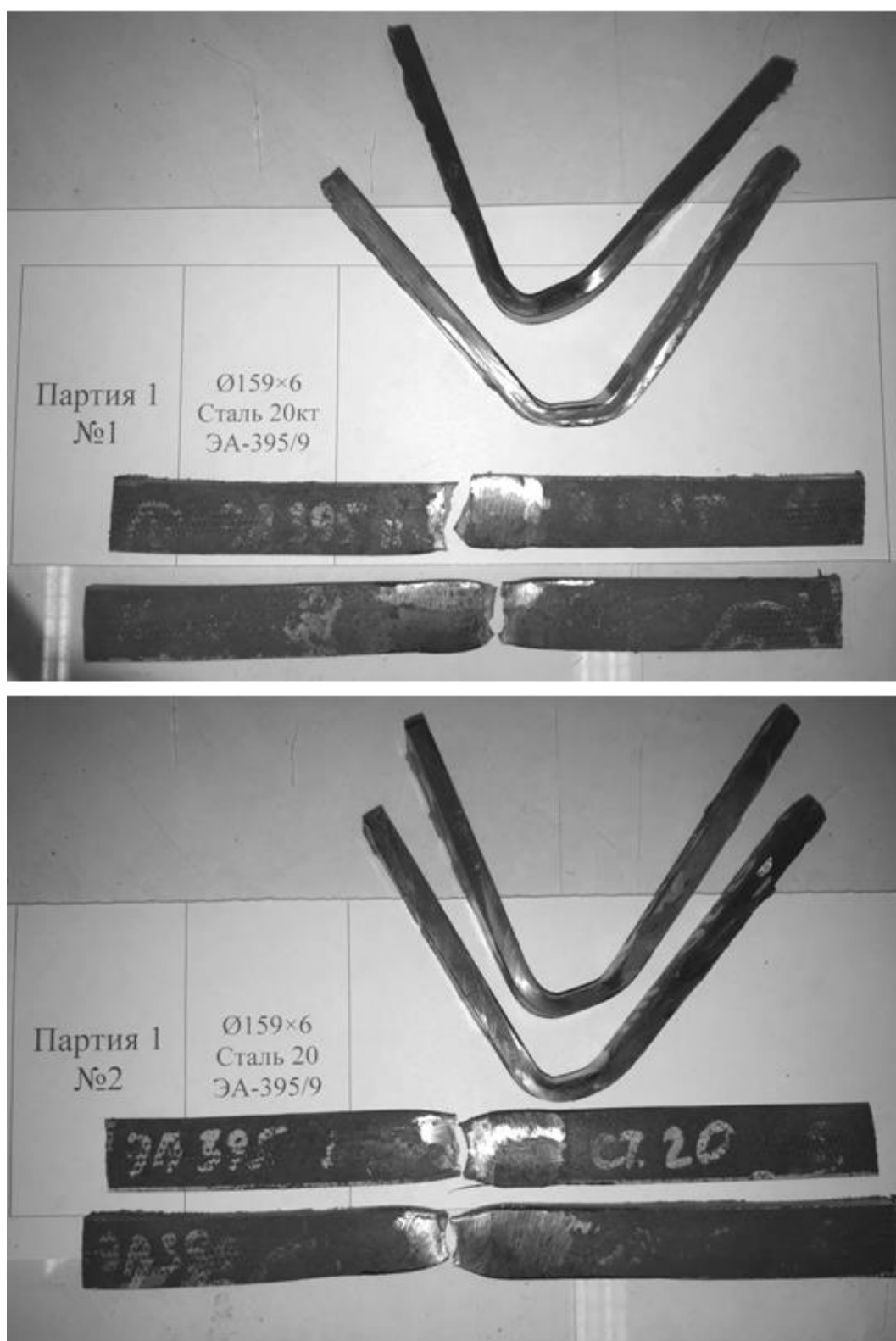


Рисунок Г1. Образец 1,2.



Рисунок Г2. Образец 3,4.

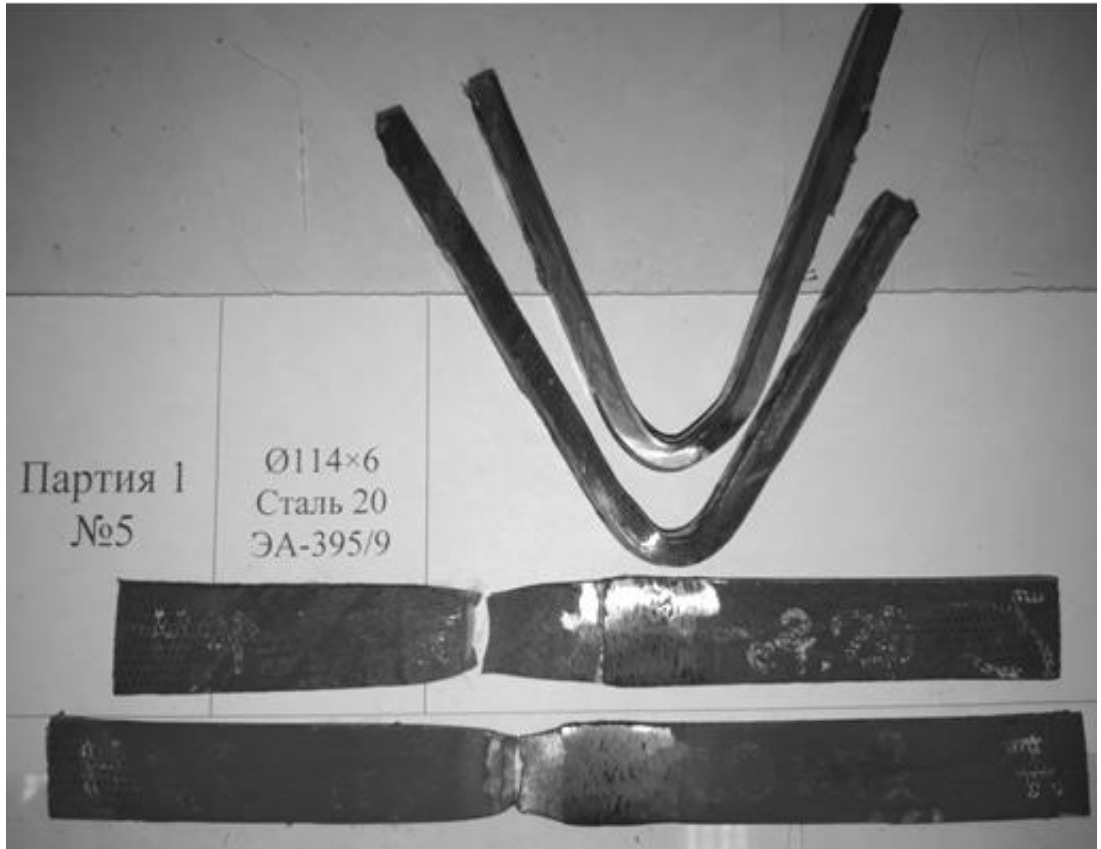


Рисунок Г3. Образец 5,6.



Рисунок Г4. Образец 7,8.



Рисунок Г5. Образец 9,10.

Партия 2.



Рисунок Г6. Образец 1,2.



Рисунок Г7. Образец 3,4.



Рисунок Г8. Образец 5,6.



Рисунок Г9. Образец 7,8.



Рисунок Г10. Образец 9,10.

Партия 3.



Рисунок Г11. Образец 1,2.



Рисунок Г12. Образец 3,4.



Рисунок Г13. Образец 5,6.



Рисунок Г14. Образец 7,8.



Рисунок Г15. Образец 9,10.