

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

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)
 Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»
 Профиль «Надежность и долговечность газонефтепроводов и хранилищ»
 Отделение нефтегазового дела

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
«ПРИМЕНЕНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ПИТАНИЯ ДЛЯ СВАРКИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ»

УДК 621.791.754:621.644.053

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ6А	Машлыкин Н.А.		28.05.2018

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД	Веровкин А.В.	к.т.н., доцент		28.05.2018

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОСГН	Макашева Ю.С.	-		28.05.2018

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД	Немцова О.А.	-		28.05.2018

Консультант-лингвист

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ	Коротченко Т.В.	к.ф.н., доцент		28.05.2018

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОНД ИШПР	Бурков П.В.	д.т.н, профессор		28.05.2018

Томск – 2018г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП
подготовки магистров
по направлению 21.04.01 «Нефтегазовое дело»,
профиль подготовки: «Надежность газонефтепроводов и хранилищ»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>В соответствии с универсальными, общепрофессиональными и профессиональными компетенциями</i>		
Общие по направлению подготовки 21.04.01 «Нефтегазовое дело»		
P1	Применять естественнонаучные, математические, гуманитарные, экономические, инженерные, технические и глубокие профессиональные знания в области современных нефтегазовых технологий для решения прикладных междисциплинарных задач и инженерных проблем, соответствующих профилю подготовки (в нефтегазовом секторе экономики)	ОК-1; ОК-2; ОК-3, ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-5; ОПК-6; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-6; ПК-7; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-14; ПК-16; ПК-17; ПК-19; ПК-20; ПК-21; ПК-23
P2	Планировать и проводить аналитические и экспериментальные исследования с использованием новейших достижений науки и техники, уметь критически оценивать результаты и делать выводы, полученные в сложных и неопределённых условиях; использовать принципы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности	ОК-1; ОК-2; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-6; ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-14; ПК-15; ПК-17; ПК-18; ПК-19; ПК-20; ПК-22; ПК-23
<i>в области производственно-технологической деятельности</i>		
P3	Проявлять профессиональную осведомленность о передовых знаниях и открытиях в области нефтегазовых технологий с учетом передового отечественного и зарубежного опыта; использовать инновационный подход при разработке новых идей и методов проектирования объектов нефтегазового комплекса для решения инженерных задач развития нефтегазовых технологий, модернизации и усовершенствования нефтегазового производства.	ОК-1; ОК-2; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-3; ОПК-6; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-11; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-18; ПК-20; ПК-21; ПК-22; ПК-23
P4	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные машины и механизмы для реализации технологических процессов нефтегазовой области, обеспечивать их высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда, выполнять требования по защите окружающей среды.	ОК-2; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-3; ПК-6; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-14; ПК-16; ПК-17; ПК-18; ПК-19; ПК-21; ПК-22
<i>в области экспериментально-исследовательской деятельности</i>		

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
P5	Быстро ориентироваться и выбирать оптимальные решения в многофакторных ситуациях, владеть методами и средствами математического моделирования технологических процессов и объектов	ОК-2; ОК-3; ОПК-1; ОПК-2; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-17; ПК-20
<i>в области проектной деятельности</i>		
P6	Эффективно использовать любой имеющийся арсенал технических средств для максимального приближения к поставленным производственным целям при разработке и реализации проектов, проводить экономический анализ затрат, маркетинговые исследования, рассчитывать экономическую эффективность	ОК-2; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-7; ОПК-8; ПК-1; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-8; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-16; ПК-17; ПК-18; ПК-19; ПК-20; ПК-21; ПК-22; ПК-23; (АВЕТ-3с), (ЕАС-4.2-е)
<i>в области организационно-управленческой деятельности</i>		
P7	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя команды, умение формировать задания и оперативные планы всех видов деятельности, распределять обязанности членов команды, готовность нести ответственность за результаты работы	ОК-1; ОК-2; ОК-3; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-5; ОПК-6; ПК-6; ПК-11; ПК-12; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-23; (АВЕТ-3с), (ЕАС-4.2-е)
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности; активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию и защищать результаты инженерной деятельности	ОК-1; ОК-2; ОК-3; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-5; ОПК-6; ПК-6; ПК-11; ПК-12; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-23; (АВЕТ-3с), (ЕАС-4.2-е)
Профиль «Надежность газонефтепроводов и хранилищ»		
P9	Организация технологического сопровождения планирования и оптимизации потоков углеводородного сырья и режимов работы технологических объектов	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК-6, ОПК-7, ПК-4, ПК-7, ПК-13), требования профессионального стандарта 19.008 Специалист по диспетчерско-технологическому управлению нефтегазовой отрасли
P10	Организация ТОиР, ДО нефте- и газотранспортного оборудования	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК-5, ОПК-6, ПК-9, ПК-11), требования профессионального стандарта 19.013 «Специалист по эксплуатации

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
		газотранспортного оборудования»
Р11	Повышение надежности, долговечности, эффективности газотранспортного оборудования	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК-4, ОПК-5, ПК-9, ПК-14), требования профессионального стандарта 19.013 «Специалист по эксплуатации газотранспортного оборудования»

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

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)
 Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»
 Профиль «Надежность газонефтепроводов и хранилищ»
 Уровень образования магистратура
 Отделение нефтегазового дела
 Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2017/2018 учебного года)

Форма представления работы:

магистерская диссертация

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	28.05.2018г.
------------------------------------------	--------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
05.04.2018	<i>Введение</i>	5
13.04.2018	<i>Обзор литературы</i>	20
20.04.2018	<i>Объект и методы исследования</i>	15
04.05.2018	<i>Моделирование напряженно-деформированного состояния участков магистрального трубопровода</i>	25
10.05.2018	<i>Социальная ответственность</i>	10
14.05.2018	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	10
17.05.2018	<i>Заключение</i>	5
17.05.2018	<i>Презентация</i>	10
	<i>Итого</i>	<i>100</i>

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД	Веровкин А.В.	к.т.н., доцент		28.05.2018

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОНД ИШПР	Бурков П.В.	д.т.н., профессор		28.05.2018

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

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)
 Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»
 Профиль «Надежность газонефтепроводов и хранилищ»
 Отделение нефтегазового дела

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП ОНД ИШПР
 _____ Бурков П.В.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ6А	Машлыкину Никите Андреевичу

Тема работы:

«Применение импульсного питания для сварки магистральных трубопроводов»	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 12.03.2018г. №1625/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	28.05.2018г.
------------------------------------------	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p><i>Объект исследования:</i> Модели участков магистрального трубопровода со сварными соединениями, выполненными сваркой в защитных газах и сваркой в защитных газах с применением импульсного питания в щелевую разделку.</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Произвести литературный обзор по теме применение импульсного питания для сварки магистральных трубопроводов. Выполнить анализ методов сварки импульсным питанием. Построить модели магистральных трубопроводов со сварными швами, выполненными сваркой в защитных газах в обычную разделку и с применением импульсного питания в щелевую разделку. Провести анализ полученных результатов.</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Геометрические модели магистральных трубопроводов. 2. Геометрические модели магистральных трубопроводов с наложенной конечно-элементной сеткой. 3. Модели магистральных трубопроводов с нагрузками и воздействиями. 4. Результаты моделирования
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</p>	<p>Макашева Юлия Сергеевна, ассистент ОСГН</p>
<p>«Социальная ответственность»</p>	<p>Немцова Ольга Александровна, ассистент ООД</p>
<p>«Иностранный язык»</p>	<p>Коротченко Татьяна Валериевна, доцент ОИЯ</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках: реферат (abstract), зарубежный опыт (foreign experience).</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>19.09.2016г</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД	Веровкин Алексей Валерьевич	к.т.н., доцент		19.09.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ6А	Машлыкин Никита Андреевич		19.09.2016

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

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ6А	Машлыкину Никите Андреевичу

Инженерная школа	Природных ресурсов	Отделение	Нефтегазового дела
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	21.04.01 «Нефтегазовое дело» профиль <u>«Надежность газонефтепроводов и хранилищ»</u>

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Технико-экономическое обоснование проекта
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	...
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений.	Страховые взносы 30 % Районный коэффициент заработной платы – 1.6

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Анализ конкурентных решений Проведение SWAT-анализа
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Расчёт сметы расходов на проведение сварочных работ
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Построение календарного плана, графика Ганта, сравнение экономической эффективности

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка готовности проекта к коммерциализации
2. Матрица SWOT
3. График проведения НИ
4. Расчет затрат на проведение мероприятий по диагностике технического состояния трубопровода.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	12.03.2018г.
-------------------------------------------------------------	--------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОГН	Макашева Ю. С.	-		12.03.2018

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ6А	Машлыкин Никита Андреевич		12.03.2018

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ6А	Машлыкину Никите Андреевичу

Инженерная школа	Природных ресурсов	Отделение	Нефтегазового дела
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	21.04.01 «Нефтегазовое дело», профиль «Надежность газо-нефтепроводов и хранилищ»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. 1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона)	Применение импульсного питания для сварки магистральных трубопроводов»
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность 1.1. Анализ вредных производственных факторов 1.2. Анализ опасных производственных факторов	<i>Вредные факторы</i> 1. Повышенный уровень УФ радиации; 2. Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; 3. Превышение уровней шума; 4. Недостаточная освещенность рабочей зоны <i>Опасные факторы</i> 1. Повреждения в результате поражения электрическим током 2. Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования; 3. Взрывоопасность и пожароопасность; 4. Металлические искры при сварке
2. Экологическая безопасность 2.1 Защита атмосферы 2.2 Защита гидросферы 2.3 Защита литосферы	При исследовании вибрационного воздействия оказываются следующие воздействия: Воздействия на почву; Возможны выбросы метана.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях 3.1 Оценка степени загрязнения земель при аварийном разливе нефти 3.2 Очистка и рекультивация земель после аварийного разлива нефти	Чрезвычайные ситуации могут возникнуть при проведении электромонтажных и слесарных работ в местах с повышенной загазованностью: • пожар или взрыв.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности 4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства 4.2 Особенности организации работы	ВРД 39-1.10-069-2002 Положение по технической эксплуатации газораспределительных станций магистральных газо-проводов. В т.ч. типовая инструкция по охране труда при эксплуатации одоризационных установок ГРС и перевозке одоранта автомобильным транспортом

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	12.03.2018г.
------------------------------------------------------	--------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД	Немцова О. А.	-		12.03.2018

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ6А	Машлыкин Никита Андреевич		12.03.2018

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация содержит 98 страниц текстового материала, 30 рисунков, 8 таблиц, 36 источников, 1 приложение.

Ключевые слова. *Магистральный трубопровод, моделирование, импульсное питание, сварка в среде защитных газов, напряженно-деформированное состояние.*

Объект исследования. *Объектом исследования данной работы являются модели участков магистрального трубопровода.*

Цель работы. *Оценить возможность применения сварки с импульсным питанием дуги в углекислом газе для магистральных трубопроводов.*

Результаты исследования. *Выявлена эффективность предложенного варианта создания неразъемных сварных соединений для магистральных трубопроводов.*

Методы проведения исследования. *Анализ производился по результатам технологических расчетов. Для проведения расчетов были использованы расчетные методики, представленные в действующих нормативных документах, а также численные методы, реализованные в программном комплексе ANSYS.*

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики. *Параметры сварки в защитных газах с применением импульсного питания; параметры обычной и целевой разделки сварных кромок.*

Область применения. *Строительство магистральных нефтепроводов.*

Экономическая эффективность/значимость работы. *По результатам исследования было выявлено, что использование импульсных источников питания при сварке в целевую разделку в среде защитных газов позволяет снизить напряжения в сварных соединениях и увеличить производительность труда, а также снизить расход сварочной проволоки.*

ABSTRACT

The master's thesis contains a 98 page of text material, 30 drawings, 8 tables, 36 sources, 1 applications.

Keywords. *Trunk pipeline, simulation, impulse feeding, welding in a protective gas environment, stress-strain state.*

Object of study. *The object of research of this work are models of sections of the main pipeline.*

Objective. *Assess the possibility of using welding with pulsed arc feeding in carbon dioxide for main pipelines.*

Results of the study. *The effectiveness of the proposed variant for the development of non-breaking welded joints for main pipelines has been revealed.*

Methods of conducting the study. *The analysis was carried out based on the results of technological calculations. Calculations, level in the current regulatory documents, as well as numerical methods implemented in the ANSYS software package were used for the calculations.*

The main design, technological, technical, and operational characteristics. *Parameters of welding in shielding gases with the use of pulse power; parameters of conventional and slotted cutting of welded edges.*

Application area. *Construction of main oil pipelines.*

Economic efficiency / significance of the work. *According to the results of the study it was revealed that the use of pulsed sources during welding in the slotted section in protective solutions.*

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

Нормативные ссылки

В работе использованы ссылки на следующие нормативные документы:

ГОСТ 31447-2012	Трубы стальные сварные для магистральных газопроводов, нефтепроводов и нефтепродуктопроводов.
ГОСТ 16037-80	Соединения сварные стальных трубопроводов. Основные типы, конструктивные элементы и размеры
ГОСТ Р 55265.7-2012	Сборка, сварка и контроль качества сварных соединений трубопроводов
СП 86.13330.2014	Магистральные трубопроводы
ВСН 006-89	Строительство магистральных и промысловых трубопроводов. Сварка
ОТТ-25.160.00-КТН-219-09	Требования к сварочному оборудованию и сварочным материалам, применяемым на объектах Транснефть
РД-25.160.00-КТН-037-14	Сварка при строительстве и капитальном ремонте магистральных нефтепроводов
ГОСТ 12.1.010-76	ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования
ГОСТ 12.2.011-2012	ССБТ. Машины строительные, дорожные и землеройные. Общие требования безопасности

Определения

В работе используются следующие термины с соответствующими определениями:

дуговая сварка в защитном газе: Сварка плавлением, при которой нагрев осуществляется электрической дугой, когда дуга и расплавленный металл, а в некоторых случаях и остывающий шов находятся в защитном газе, подаваемом в зону сварки с помощью специальных устройств.

сварное соединение: Неразъемное соединение, выполненное сваркой и представляющее собой совокупность характерных зон в трубе.

металл шва: Сплав, образованный расплавленным основным и наплавленным металлами или только переплавленным основным металлом.

зона термического влияния: Участок основного металла, не подвергшийся расплавлению, структура и свойства которого изменились в результате нагрева при сварке.

свариваемость металла: Свойства металла образовывать при установленной технологии сварки соединение, отвечающее требованиям, обусловленным конструкцией и эксплуатацией изделия.

термическая обработка труб: Тепловая обработка труб для улучшения пластических и вязкостных свойств основного металла и сварных соединений труб.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	7
1. Литературный обзор	9
1.1 Сварка и ее виды	9
1.1.1 Электродуговая сварка. Принцип действия	10
1.1.2 Ручная электродуговая сварка	11
1.1.3 Автоматическая дуговая сварка под флюсом	13
1.1.4 Сварка в среде защитных газов	13
1.2 Импульсное питание для сварки в защитных газах	15
1.2.1 Использование импульсной сварки для улучшения структуры и свойств сварных соединений трубопроводов	16
1.2.2 Применение импульсной сварки для стыковых соединений труб с щелевой разделкой	18
1.3 Некоторые возможности обработки геометрической модели с помощью сетки конечных элементов	20
2. Объект и методы исследования	23
2.1 Объект исследования	23
2.1.1 Модель участка с обычной разделкой кромок	23
2.1.2 Модель участка с щелевой разделкой кромок	25
2.1.3 Методы для расчета числа проходов, объема наплавки и скорости сварки	26
3. Моделирование напряженно-деформированного состояния участков магистрального трубопровода и расчет некоторых параметров сварных швов.	28
3.1 Создание сетки конечных элементов участков магистрального трубопровода	28
3.2 Расчет участка магистрального трубопровода на прочность	30
3.2.1 Расчет на растяжение	30
3.2.1.1 Расчет модели с обычной разделкой кромок	31
3.2.1.1 Расчет модели с щелевой разделкой кромок	32
3.2.2 Расчет на сжатие	33
3.2.2.1 Расчет модели с обычной разделкой кромок	34
3.2.2.2 Расчет модели с щелевой разделкой кромок	35
3.2.3 Расчет на изгиб	36
3.2.3.1 Расчет модели с обычной разделкой кромок	37
3.2.3.2 Расчет модели с щелевой разделкой кромок	38
3.3 Расчет параметров сварных швов	39
3.3.1 Расчет числа сварочных проходов и объема наплавленного металла	40
3.3.2 Расчет скорости сварки	42
4.1 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	43
4.1.1 SWOT- анализ	44
4.2 Планирование управления научно-техническим проектом	46
4.2.1 План проекта	46
4.3 Экономическая оценка сравниваемых способов сварки	48
4.3.1 Первая ситуация	48
4.3.2 Вторая ситуация	51
5. Социальная ответственность	55
5.1 Производственная безопасность	55
5.1.1 Анализ вредных производственных факторов	56
5.1.1.1 Инфракрасное и ультрафиолетовое излучения	56
5.1.1.2 Воздушная среда и микроклимат производственного помещения.	58
5.1.1.3 Шум и вибрация.	59
5.1.1.4 Исследование освещенности рабочей зоны	60

5.1.2 Анализ опасных производственных факторов	63
5.1.2.1 Электробезопасность	63
5.1.2.2 Пожаробезопасность и взрывобезопасность.	64
5.1.2.3 Движущиеся машины и механизмы	65
5.1.2.4 Металлические искры при сварке	67
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	69
5.3.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	71
5.3.1.1 Специальные	71
5.3.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	71
Заключение	74
Список используемых источников	76
Приложение А Foreign experience	80

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. В настоящее время активно развивается сеть магистральных трубопроводов. Основным способом создания стыковых соединений труб и других конструкций объектов магистрального транспорта является сварка. От надежности сварных соединений металлоконструкций технических устройств существенно зависит безопасность и экономическая эффективность производства. Поэтому вопросы исследования сварочных методов являются актуальными.

Цель работы. Оценить возможность применения сварки с импульсным питанием дуги в углекислом газе для магистральных трубопроводов.

Задачи работы:

- Рассмотреть технические возможности сварки с импульсным питанием дуги.
- Моделирование напряженно-деформированного состояния магистрального трубопровода со сварным швом с обычной разделкой и со сварным швом с щелевой разделкой.
- Расчет и сравнение объемов наплавленного материала и скорости изготовления сварных соединений.
- Анализ напряженно-деформированного состояния полученного в результате моделирования.

Объект исследования. Объектом исследования данной работы являются модели участков магистрального трубопровода.

					Применение импульсных источников питания для сварки магистральных трубопроводов			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Машлыкин Н.А.			Введение	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Вережкин А.В.					7	98
Консульт.						НИ ТПУ гр. 2БМ6А		
Рук-ль ООП		Бурков П.В.						

Предмет исследования. Напряженно-деформированное состояние участков магистрального трубопровода со сварными швами, выполненными с различной разделкой кромок.

Научная или практическая новизна. Напряженно-деформированное состояние участков магистрального трубопровода с различной разделкой кромок сварных соединений определялось методом конечных элементов в специализированном программном комплексе «ANSYS».

Практическая значимость результатов исследования. По результатам исследования было выявлено, что использование импульсных источников питания при сварке в щелевую разделку в среде защитных газов позволяет снизить напряжения в сварных соединениях и увеличить производительность труда, а также снизить расход сварочной проволоки.

Реализация и апробация работы. Результаты исследований по теме «Применение импульсных источников питания для сварки магистральных трубопроводов» были представлены автором на международном симпозиуме XXII Международном научном симпозиуме студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр».

					Введение	Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1. Литературный обзор

1.1 Сварка и ее виды

Сварка – технологический процесс изготовления неразъемных соединений материалов путём установления межатомных связей между свариваемыми частями при их местном или пластическом деформировании, или совместным действием того и другого. Сваркой соединяют разнородные и однородные металлы с различными неметаллическими материалами (керамикой, графитом, стеклом и др.), металлы и их сплавы, а также пластмассы.

Сварка – высокопроизводительный, экономически выгодный, и в большой степени механизированный процесс, очень широко применяемый практически во многих отраслях машиностроения и промышленности.

Физическая суть процесса сварки заключается в получении прочных связей между молекулами и атомами на стыкуемых поверхностях заготовок. Для создания таких соединений необходимо выполнение следующих условий: очистка свариваемых поверхностей от оксидов, грязи и адсорбированных на них инородных атомов; энергетическая активация поверхностных атомов, облегчающая их взаимодействие друг с другом; сближение свариваемых поверхностей на расстояние, сопоставимое с межатомным расстоянием в стыкуемых заготовках.

В зависимости от вида энергии, которая используется для образования сварного соединения, виды сварки подразделяют на три класса: механический, термический и термомеханический.

К механическому классу относят виды сварки, получаемые с использованием давления и механической энергии (взрывом, ультразвуковая, трением, холодная и др.).

					Определение совокупности диагностических признаков технического состояния центробежных насосных агрегатов			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Машлыкин Н.А.			Литературный обзор	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Веровкин А.В.					9	98
Консульт.								
Рук-ль ООП		Бурков П.В.				НИ ТПУ гр. 2БМ6А		

К термическому классу относят виды сварки, получаемые плавлением с применением тепловой энергии (дуговая, электрошлаковая, плазменная, электронно-лучевая, газовая, лазерная и др.).

К термомеханическому классу относят виды сварки, получаемые с применением тепловой энергии и давления (диффузионная, контактная и др.).

Свариваемость – свойство металла или комбинации металлов образовывать при определенной технологии сварки стыковое соединение, отвечающее требованиям, обусловленным конструкцией и эксплуатационными условиями изделия.

1.1.1 Электродуговая сварка. Принцип действия.

Электродуга – мощный стабильный разряд электричества в ионизированной среде газов и паров металла. Ионизация электродугового расстояния происходит во время поджога электродуги и непрерывно поддерживается в процессе ее горения. Процесс поджога дуги в большинстве случаев включает в себя три этапа: короткий контакт (короткое замыкание) электрода на заготовку, увеличение расстояния между электродом и заготовкой до 3-6 мм и возникновение устойчивого электродугового разряда.

Первый, короткий контакт выполняется для прогрева торца электрода и заготовки в месте контакта с электродом. После увеличения расстояния между заготовкой и электродом с его разогретого торца (катода) под воздействием электрического поля начинает происходить термоэмиссия электронов. Столкновение быстро движущихся по направлению к аноду электронов с частицами газов и паров металла приводит к их ионизированию. По мере прогрева столба электродуги и повышения кинетической энергии атомов и молекул начинается дополнительная ионизация за счет их соударения. Отдельные частицы также ионизируются в результате получения энергии, выделяемой при соударении других атомов. В результате дуговой промежуток становится электропроводящим и через него начинает проходить электроразряд.

					<i>Литературный обзор</i>	Лист
						10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Процесс поджигания дуги заканчивается возникновением устойчивого электродугового разряда.

Теплоту при дуговой сварке выделяет электродуга, которая горит между заготовкой и электродом. В зависимости от материала и числа электродов, а также способа включения электродов и заготовки в цепь электрического тока классифицируют следующие способы дуговой сварки:

а) Плавящимся (металлическим) электродом, прямой дугой, с одновременным расплавлением электрода и основного металла. Электрод в данном случае наполняет сварочную ванну расплавленным металлом.

б) Неплавящимся (вольфрамовым или графитным) электродом, прямой дугой, при которой стыковое соединение образуется путем добавления присадочного материала, либо путем расплавки только материала образующего сварочную ванну.

в) Косвенной дугой, зажигаемой между двумя, обычно, неплавящимися электродами. При этом основной материал, образующий сварную ванну, разогревается и плавится теплом столбца сварной дуги.

г) Трехфазной дугой, при которой электродуга поджигается между каждым электродом, а также основным материалом.

Питание электродуги можно осуществлять переменным или постоянным током. При использовании постоянного тока различают прямую и обратную полярность сварки. В первом случае электрод подключают к отрицательной клемме (катод), во втором – к положительной (анод).

1.1.2 Ручная электродуговая сварка.

Ручную электродуговую сварку производят сварочными электродами, которые подаются перемещаются вдоль заготовки вручную. В сварочном процессе покрытым электродом происходит горение электродуги между торцом

					<i>Литературный обзор</i>	Лист
						11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

стержня электрода и поверхностью основного металла. В процессе плавления электрода расплавленный металл переходит и заполняет сварочную ванну. Одновременно с этим процессом расплавляется покрытие электрода, образуя газовую защитную атмосферу вокруг электродуги и жидкую шлаковую ванну на поверхности расплавленного металла. По мере движения дуги сварочная ванна кристаллизуется и образует сварочный шов. Расплавленный шлак после кристаллизации образует твердую шлаковую корку, которую потом удаляют.

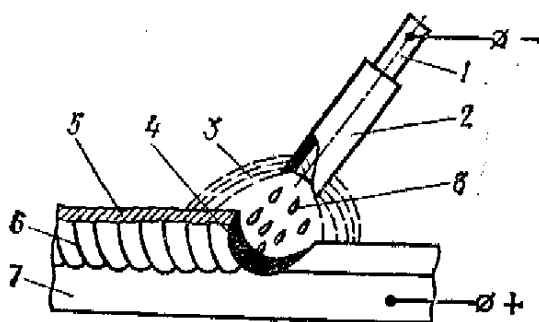


Рис. 1. Ручная дуговая сварка металлическим электродом с покрытием

Электроды для ручной электродуговой сварки имеют форму стержня с нанесенным на него покрытием. Стержень обычно изготовлен из сварочной проволоки. Сварочную проволоку всех видов и марок подразделяют на три группы, в зависимости от состава: низкоуглеродистая, легированная и высоколегированная.

Ручная сварка эффективна при выполнении коротких и криволинейных швов в любых пространственных положениях, при создании неразъемных соединений труднодоступных местах, а также при монтаже и сборке конструкций сложной формы. Ручная электродуговая сварка обеспечивает хорошее качество сварных соединений, но обладает небольшой производительностью, например, в сравнении с автоматической сваркой под флюсом.

					<i>Литературный обзор</i>	Лист
						12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1.1.3 Автоматическая дуговая сварка под флюсом.

Для автоматической дуговой сварки под флюсом обычно пользуются непокрытой электродной проволокой и флюсом для защиты электродуги и сварочной ванны от окисляющей среды. Перемещение и подача электродной проволоки механизированы. Так же автоматизирован процесс поджога дуги.

В процессе автоматизированной сварки под флюсом происходит горение электродуги между сварочной проволокой и основным металлом. Столбец дуги и сварочная ванна жидкого металла со всех сторон плотно покрыты флюсом с толщиной слоя от 30 до 35 мм. Флюс частично расплавляется и в результате этого вокруг сварочной дуги образуется газовая полость, а на поверхности расплавленного металла – ванна жидкого шлака. Для сварки под флюсом характерен глубокий провар основного металла. Под действием мощной дуги и весьма быстрой скорости движения электрода вдоль заготовки происходит вытеснение расплавленного металла в сторону, противоположную направлению сварки. По мере поступательного движения электрода происходит затвердевание металлической и шлаковой ванн с образованием сварного шва, покрытого твердой шлаковой коркой.

Электродуговая сварку под флюсом выполняется сварочными автоматами, сварочными головками или самоходными тракторами, которые перемещаются прямо по изделию. Назначением сварочных автоматов является постоянная подача электродной проволоки в сварочную дугу и поддержание одного режима сварки в течение всего сварочного процесса.

1.1.4 Сварка в среде защитных газов.

Сварка в защитном газе характеризуется тем, что электрод, зона горения электродуги и сварочная ванна находятся в струе защитного газа.

					<i>Литературный обзор</i>	Лист
						13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

В качестве защитных газов обычно применяются активные газы (углекислый газ, азот, водород и др.) и инертные газы (аргон и гелий), а иногда – смеси из двух газов и более.

Сварка в защитных газах может классифицироваться в зависимости от степени автоматизации процессов подачи сварочной проволоки и перемещения сварочной горелки может быть ручной, полуавтоматической и автоматической.

По сравнению с ручной электродуговой сваркой покрытыми электродами и автоматической сваркой под флюсом сварка в защитных газах имеет следующие достоинства: высокую степень защиты расплавленного металла от воздействия окисляющей среды; отсутствие на поверхности шва при применении аргона оксидов и шлаковых включений; возможность создания стыковых неразъемных соединений во всех пространственных положениях; возможность визуального наблюдения за процессом создания сварного шва и его регулирования; более высокую производительность процесса, чем при ручной дуговой сварке; относительно низкую стоимость сварки в углекислом газе.

Область применения сварки в защитном газе охватывает очень широкий круг материалов и изделий (сварка трубопроводов, узлов летательных аппаратов, элементов атомных установок, корпусов и трубопроводов химических аппаратов и т. п.).

					<i>Литературный обзор</i>	Лист
						14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1.2 Импульсное питание для сварки в защитных газах

Современные способы импульсного питания сварки в защитных газах можно разделить следующим образом: сварка с импульсной подачей защитных газов [1, 2], электродной проволоки [3], с импульсным изменением тока и напряжения [4–7]; сварка с наложением упругих продольных колебаний ультразвуковой частоты [8]; с комбинированием перечисленных способов (например, комбинирование процессов импульсно-дуговой сварки и импульсной подачи электродной проволоки [9]). На взгляд авторов, сварку с импульсным изменением тока и напряжения можно разделить по типу переноса электродного металла: с короткими замыканиями (короткой дугой, с вынужденными и принудительными короткими замыканиями); без коротких замыканий (длинной дугой) [5–9]; чередующийся режим с периодами с короткими замыканиями и без коротких замыканий. Особенности механизма плавления и переноса электродного металла длинной дугой в среде углекислого газа [10] представляют большой интерес и возможности при разработке более эффективных способов управления процессом сварки в углекислом газе и устройств для их реализации. Характерной особенностью импульсно-дуговой сварки в активных газах является совмещение таких процессов, как плавление и перенос электродного металла, т.е. энергия, вносимая дугой, идет на перенос капли электродного металла и плавление следующей капли.

Данные способы импульсно-дуговой сварки позволяют дозировать энергию, идущую на расплавление каждой капли электродного металла, тем самым обеспечивая большую стабильность процесса сварки за счет одинакового размера переносимых капель электродного металла.

Достоинства:

-отсутствует разбрызгивание металла и необходимость зачистки околошовного участка;

					<i>Литературный обзор</i>	Лист
						15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

-уменьшается выгорание легирующих добавок;

-сварка возможна в любом пространственном положении, чего не может обеспечить классический способ;

-уменьшается зона температурного воздействия и, соответственно, снижаются сварочные деформации.

-управляемый процесс переноса металла;

-возможность работы с тонкими материалами.

Недостатки:

-необходимо дополнительное оборудование;

-требуется квалифицированный персонал для настройки.

1.2.1 Использование импульсной сварки для улучшения структуры и свойств сварных соединений трубопроводов

В последнее время требования к механическим свойствам надежности и долговечности трубопроводов значительно возросли. В ряде случаев, для таких труб и конструкций устанавливаются минимально допустимые показатели механических свойств, в первую очередь, по прочности, ударной вязкости и пластичности, а свойства самих сварных соединений должны соответствовать свойствам основного металла. Особенностью широко используемых в нефтяной и газовой промышленности сталей типа 09Г2С, 17Г1С является их склонность к разупрочнению при сварке, в результате которого снижается конструкционная прочность сварных соединений. В настоящее время низколегированные стали применяют в термически улучшенном состоянии - после закалки и высокого отпуска. Например, такой обработке подвергают, стали 17Г1С, 16ГС, 30ХГСН2А и др. это связано с тем, что при сварке этих сталей в околошовной зоне происходит разупрочнение участка, подвергшегося нагреву выше температуры 550 °С. Полностью восстановить свойства зоны термического влияния таких

					<i>Литературный обзор</i>	Лист
						16
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

сварных соединений, можно только послесварочной термической обработкой - закалкой с высоким отпуском. Причем, режим такой обработки должен быть аналогичен режиму ранее проводившейся термической обработки. Термообработка также обязательна и в некоторых других случаях.

В результате исследования влияния процесса импульсной сварки труб из низколегированных сталей типа 09Г2С и 17Г1СУ на структуру и физико-механические свойства сварных соединений (прочность при статическом нагружении растяжением, микротвердость структурных составляющих и ее распределение в зонах сварного соединения, ударная вязкость при температурах +20 и -60 °С) и их соответствие основным требованиям, предъявляемым к сварным соединениям труб нефте- и газопроводов сделаны следующие выводы: применение импульсного режима сварки труб большого диаметра (1420 мм) из марганцовистых сталей типа 09Г2С и 17Г1СУ, предназначенных для нефте- и газопроводов, позволяет повысить однородность структуры и в 2-3 раза уменьшить размер зерна металлов сварного шва и зоны термического влияния основы.

Структурные изменения после импульсного режима сварки приводят к повышению пластичности зон сварного соединения и, одновременно, его ударной вязкости при положительной температуре (20 °С) на 8-27 % и отрицательной (-60 °С) на 15-24%.

Так же, исследования говорят, что наиболее грубая структура образуется в облицовочном слое. При переходе в зону заполнения и в корневой слой все выделения заметно измельчаются. Это связано с тем, что при многослойной сварке наложение каждого из последующих слоев вызывает нагрев предыдущего, перекристаллизацию и образование дисперсной структуры. В низко расположенных слоях могут протекать многократные превращения, обусловленные повторным нагревом.

					<i>Литературный обзор</i>	Лист
						17
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Применение адаптивных импульсных технологического процессов приводит к образованию более дисперсной и однородной структуры, как в металле шва, так и в зоне теплового влияния.

Важной особенностью образующихся сварных соединений является то, что структура металла шва измельчается при переходе от стационарного режима сварки к импульсному. В ряде случаев после импульсной обработки выявляются участки с чрезвычайно мелкой (1-2 мкм) зёрненной структурой. Формирование более дисперсной и однородной структуры является характерной особенностью адаптивного импульсного режима воздействия и связано с интенсивным перемешиванием металла сварочной ванны, разбиением ветвей дендритов и образованием множества новых центров кристаллизации при гидродинамическом воздействии пульсирующей дуги, а также с увеличением скорости охлаждения расплава.

Зона теплового влияния в импульсном режиме уже и также характеризуется более дисперсной структурой, что связано с различием в уровнях тепловложений. Так, если в стационарном режиме сварки в зоне теплового влияния на участке, прилегающем к облицовочному слою, присутствует зона перегрева, то при модулировании сварочного тока наблюдается начальная стадия нормализации, а у корня шва сохраняется «строчечность» структуры исходной стали.

По уровню прочности сварные соединения исследованных сталей после импульсного режима сварки соответствуют требованиям, предъявляемым стандартом к сварным соединениям труб газо- и нефтепроводов, что позволяет исключить послесварочную термическую обработку.

1.2.2 Применение импульсной сварки для стыковых соединений труб с щелевой разделкой.

При строительстве крупногабаритных конструкций с увеличением толщины свариваемых изделий увеличивается площадь наплавленного металла,

					<i>Литературный обзор</i>	Лист
						18
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

что приводит к значительным затратам времени и ресурсов. Одним из путей повышения производительности при сварке крупногабаритных конструкций является уменьшение площади наплавленного металла, т.е. применение узкой щелевой разделки,

В настоящее время сварку в щелевую разделку ведут неплавящимся электродом в среде аргона, плавящимся электродом в смесях газов и среде углекислого газа. Наиболее экономичным из перечисленных способов является механизированная сварка в среде углекислого газа при использовании проволок диаметром более 1,4 мм.

Однако у существующей технологии сварки в щелевую разделку есть ряд недостатков, которые снижают возможность широкого использования данного способа. Наиболее существенные - это образование дефектов сварных швов (склонность к образованию пор и несплавлений сварного шва с кромками разделки), а также снижение устойчивости горения дуги за счет влияния ферромагнитных масс и эффекта магнитного дутья дуги.

Устранить данные недостатки возможно при создании высокоэффективных технологий и новых, более совершенных способов сварки. Одним из таких способов является способ сварки в среде CO₂ при импульсном питании плавящимся электродом длинной дугой. С помощью данного способа возможно решить ряд технологических задач, а именно, снижение разбрызгивания, управление переносом электродного металла, управление формированием шва, улучшение технологии сварки в щелевую разделку, возможность выполнения сварки во всех пространственных положениях, улучшение качества сварных соединений, уменьшение вероятности образования дефектов. Также процесс сварки длинной дугой при импульсном питании обладает большой пространственной устойчивостью и низкой чувствительностью к влиянию ферромагнитных масс. Во время сварки при импульсном питании сварочной дуги происходит активное воздействие на

					<i>Литературный обзор</i>	Лист
						19
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

жидкий металл сварочной ванны, приводящее к колебательным движениям расплавленного металла сварочной ванны, что благоприятно сказывается на процессе газовыделения; сварной шов получается более плотный. При наложении мощных импульсов сварочного тока происходит воздействие на процесс кристаллизации сварного шва, что приводит к измельчению структуры наплавленного металла.

Таким образом, использование технологических рекомендаций процесса сварки в CO₂ при импульсном питании длинной дугой в щелевую разделку позволяет получить хорошее формирование сварного шва, обеспечивая тем самым качественное бездефектное соединение.

Использование процесса сварки в CO₂ при импульсном питании сварочной дуги позволяет повысить устойчивость горения сварочной дуги в щелевую разделку и получить бездефектное сварное соединение при колебаниях ширины разделки $\pm 2,5$ по длине шва. Так же такой процесс обладает большой пространственной устойчивостью, что позволяет вести сварку в различных положениях не меняя параметры дуги.

1.3 Некоторые возможности обработки геометрической модели с помощью сетки конечных элементов

Шагом вперед для решения задач неявными методами в статической постановке стало добавление разработчиками в графический интерфейс функции, зачастую незаменимой в решении нелинейных задач с большими деформациями, — а именно функции динамического перестроения сетки конечных элементов (КЭ). В терминологии ANSYS она называется Mesh Nonlinear Adaptivity (NLAD) и представлена в интерфейсе через команду Nonlinear Adaptive Region, доступную в ветке Static Structural. Суть данной функции заключается в уменьшении размера ячейки сетки КЭ на указанном в команде объекте непосредственно во время расчета при достижении некими контрольными параметрами (энергия, искривленность элементов) своего

					<i>Литературный обзор</i>	Лист
						20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

критического значения. Перестроение сетки КЭ происходит на подшагах расчета. В команде настраиваются как критерии запуска перестроения, так и возможность активации/деактивации команды на определенных шагах расчета. Кроме того, Nonlinear Adaptive Region можно добавлять в расчет не только перед его началом, но и после его расхождения, используя точки рестарта (их количество контролируется программой по умолчанию или может быть задано перед началом расчета). Применение динамического перестроения сетки в нелинейном расчете позволяет решать задачи, не сходящиеся при исходной неизменяемой сетке КЭ, и призвано сократить время вычислений с одновременным повышением их точности.

Ранее точечное изменение сетки КЭ в Mechanical было невозможно по причине отсутствия соответствующих инструментов. Приходилось менять глобальные и добавлять локальные настройки сетки и производить ее перестроение. При моделировании доступен специализированный набор инструментов, добавляемый в дерево проекта под видом объекта с именем Mesh Edit. Данный объект наряду с командами, позволяющими вручную или автоматически сливать узлы сеток, принадлежащих разным телам, содержит также команду для перемещения узлов сетки — Node move. С помощью команды Node move пользователь может выбирать и перемещать узлы сетки. Таким образом, можно улучшать качество определенных конечных элементов. У команды имеется своя панель инструментов, позволяющих управлять процессом редактирования, отменяя предыдущее или все сделанные изменения.

Эффективность перемещения узлов может быть повышена путем отслеживания качества элементов в режиме реального времени. Для этого разработчики сделали возможным графическое отображение выбранного параметра качества элементов, доступного в Mesh Metrics. Таким образом, при перемещении узла сетки цвета соседних элементов будут перерисовываться динамически в соответствии с их новыми показателями качества. Также при применении команды Node Move возможно не только перемещение нужного

					<i>Литературный обзор</i>	Лист
						21
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

узла вручную на экране, но и указание соответствующих новых координат. Далеко не во всех ситуациях требуется структурированная сетка, которая иногда создается по умолчанию. Сделать сетку неструктурированной теперь можно с помощью нового подхода к созданию структурированных сеток на гранях.

Вместо функции Mapped face meshing появился инструмент под названием Face Meshing, содержащий в качестве одной из настроек пункт Mapped Mesh, который при желании всегда можно выключить. Существенные изменения произошли и с методом построения сетки Multizone. Назовем некоторые из них: в новой версии изменен тип неструктурированной сетки Tetra. Теперь типов такого рода два: Tetra и Tetra/Pyramid; поверхности источников и приемников сетки при их ручном определении теперь можно выбрать через именованные наборы. И наконец, следует отметить расширение возможностей исправления некачественной геометрической модели прямо в интерфейсе Mechanical — улучшение инструментария для создания виртуальных ячеек — Virtual Topology. Добавлены три новых режима работы наряду с автоматическим и ручным: Custom, Repair и Simplify. Первый режим позволяет подробно настраивать различные параметры, по которым будет производиться поиск объектов для создания виртуальных ячеек. Суть второго и третьего режимов заключается в повторении алгоритмов аналогичных функций из DesignModeler'a.

					<i>Литературный обзор</i>	Лист
						22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2. Объект и методы исследования

2.1 Объект исследования

Объектом исследования данной работы являются модели участков трубопровода. Данные для расчета и моделирования взяты из ГОСТ 31447-2012 «Трубы стальные сварные для магистральных газопроводов, нефтепроводов и нефтепродуктопроводов» и трудов научных конференций.

Таблица 1

Показатель	Характеристика
Диаметр, мм	1220
Толщина стенки, мм	16
Материал	09Г2С
σ_v , МПа	490
σ_t , МПа	343

2.1.1 Модель участка с обычной разделкой кромок

Данная модель построена в программном комплексе Ansys 18.2, в среде «static structural» решаемой методом конечных элементов.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Применение импульсных источников питания для сварки магистральных трубопроводов			
Разраб.		Машлыкин Н.А.			Объект и методы исследования	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Веревкин А.В.					23	98
Консульт.						НИ ТПУ гр. 2БМ6А		
Рук-ль ООП		Бурков П.В.						

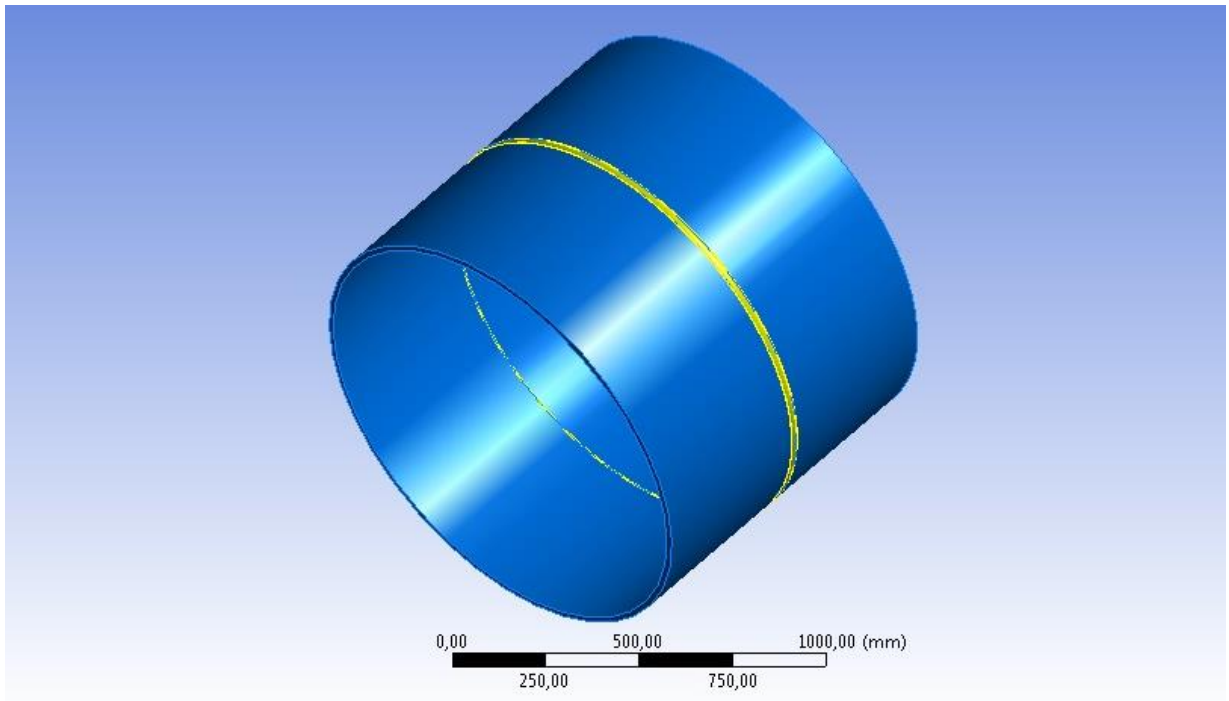


Рисунок 2. Геометрическая модель участка трубопровода с обычной разделкой кромок

При моделировании сварного стыка с обычной разделкой кромок использовались следующие размеры (Рис 3)

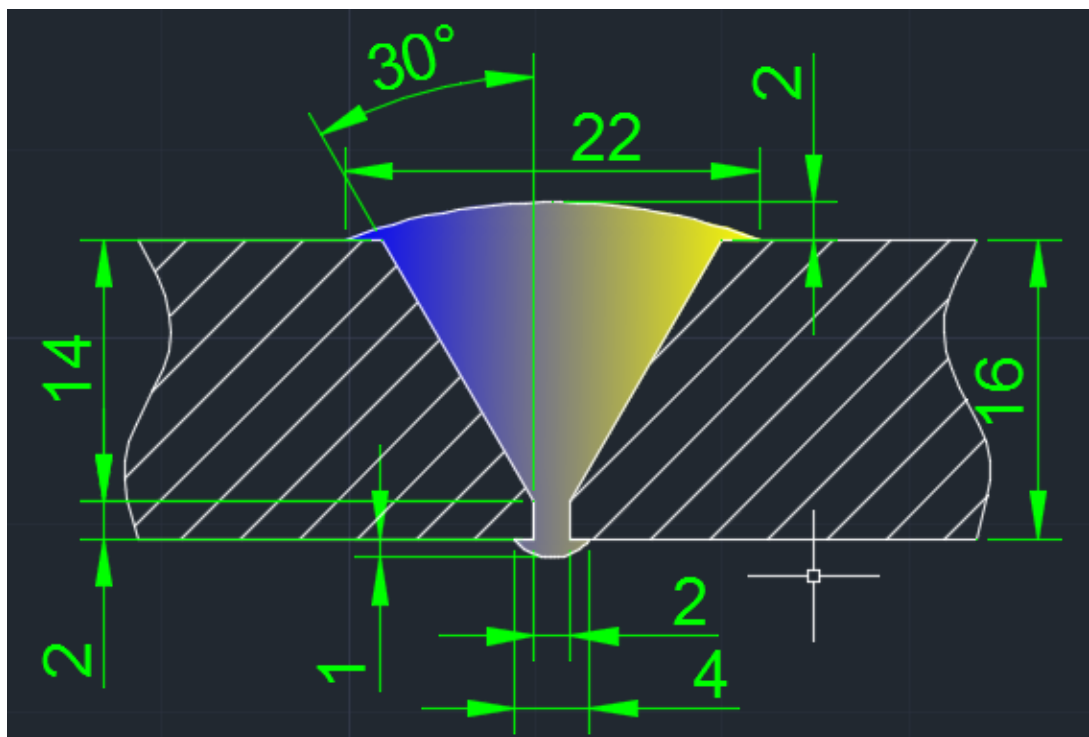


Рисунок 3. Сечение сварного стыка геометрической модели с обычной разделкой кромок

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Модель была построена геометрически верно, так как при генерации ошибок не возникло.

2.1.2 Модель участка с щелевой разделкой кромок

Построение модели в программном комплексе Ansys 18.2, в среде «static structural» решаемой методом конечных элементов.

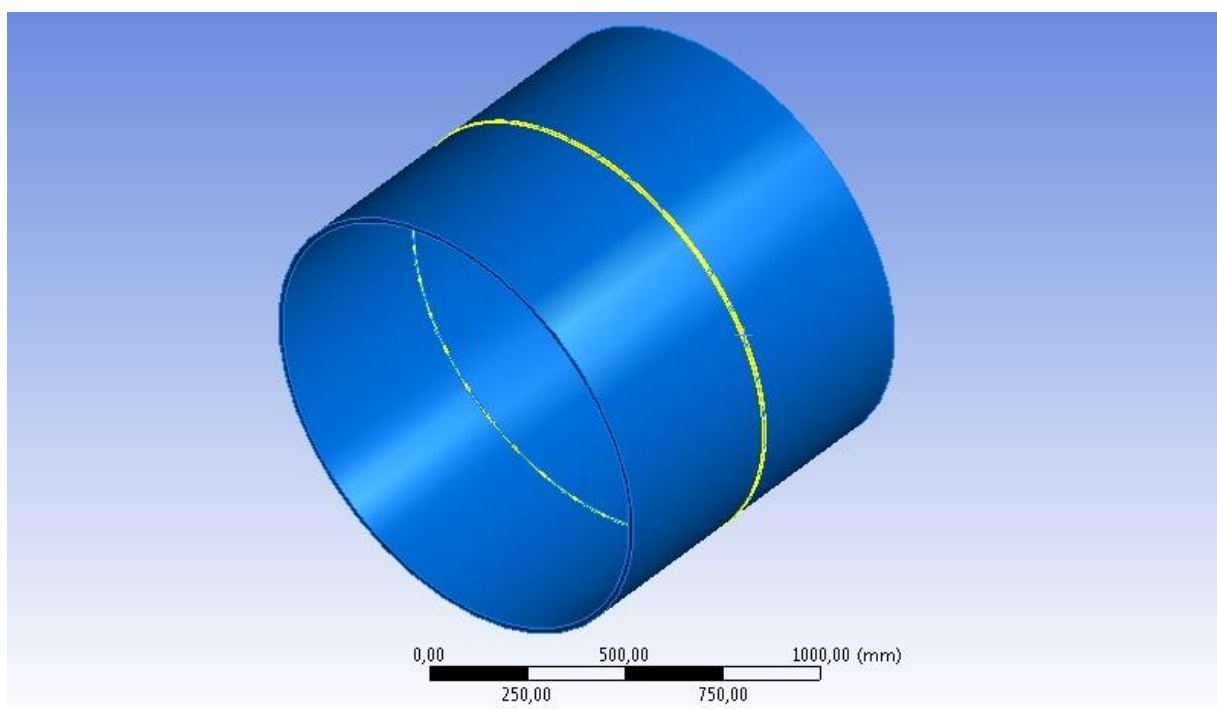


Рисунок 4. Геометрическая модель участка трубопровода с обычной разделкой кромок

При моделировании сварного стыка со щелевой разделкой кромок использовались следующие размеры (Рис 5)

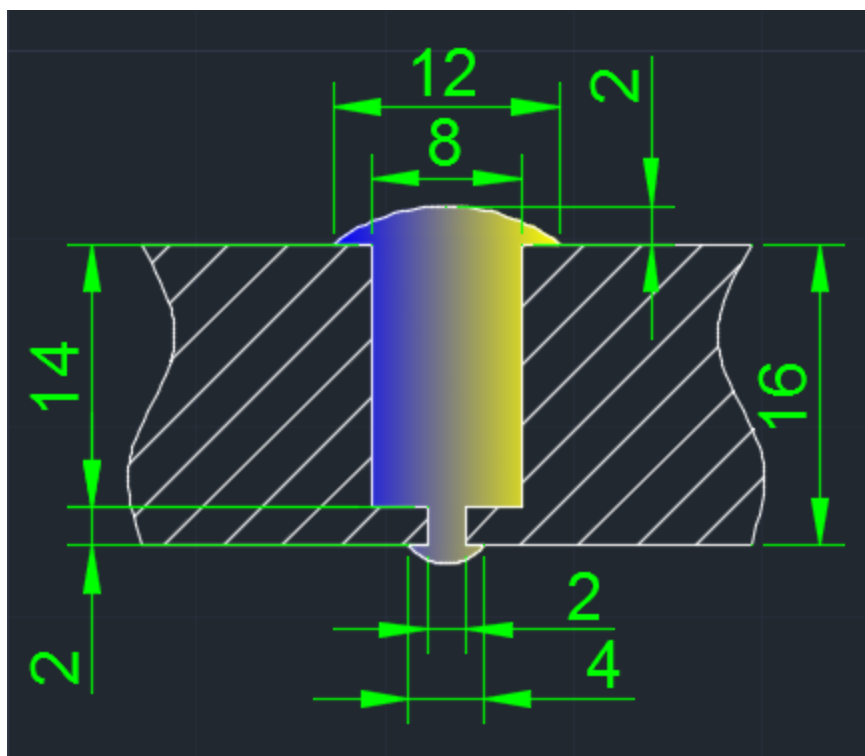


Рисунок 5. Сечение сварного стыка модели с щелевой разделкой кромок

Модель была построена геометрически верно, так как при генерации ошибок не возникло.

2.1.3 Методы для расчета числа проходов, объема наплавки и скорости сварки.

Для расчета числа проходов были использованы следующие указания и формулы из методических указаний:

Площадь наплавки (F_n) находится по формулам:

$$F_n = F' + F'' + F''' \text{ или } F_n = h^2 \operatorname{tg} \alpha + bS + 0,75ge \quad (1)$$

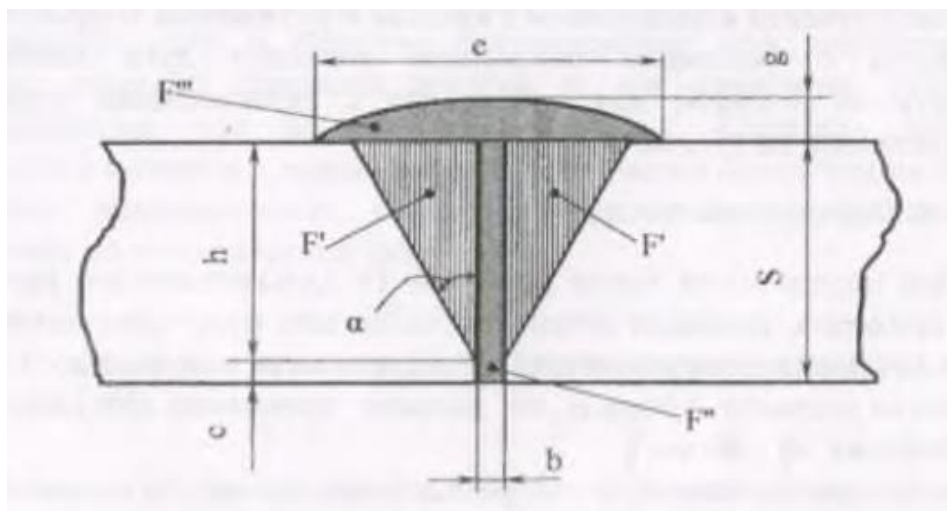


Рисунок 6. Сечение сварного стыка для нахождения площади сечения наплавленного металла.

Число сварочных проходов находится по формуле:

$$n = \frac{F_n - F_1}{F_n} + 1 \quad (2)$$

F_n – площадь наплавки

F_1 – площадь первого прохода

F_n – площадь последующих проходов

Скорость сварки определяется по формуле:

$$V_{св} = \frac{\alpha_n - I_{св}}{\gamma * F_n} \quad (3)$$

α_n – коэффициент наплавки

$I_{св}$ – сила сварного тока

γ – плотность металла

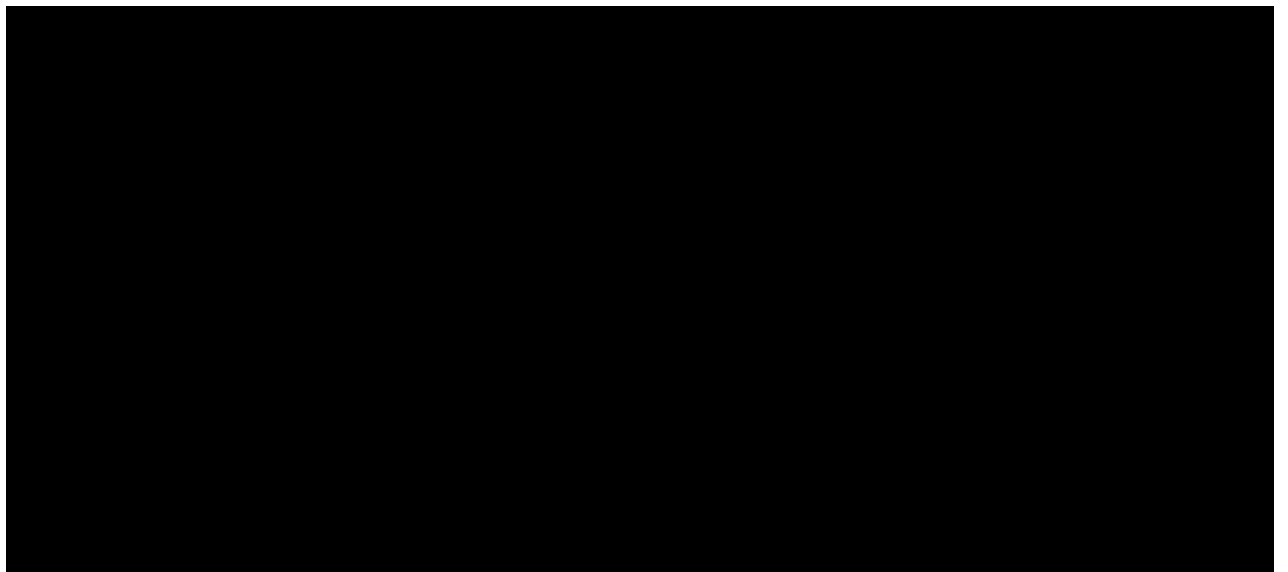
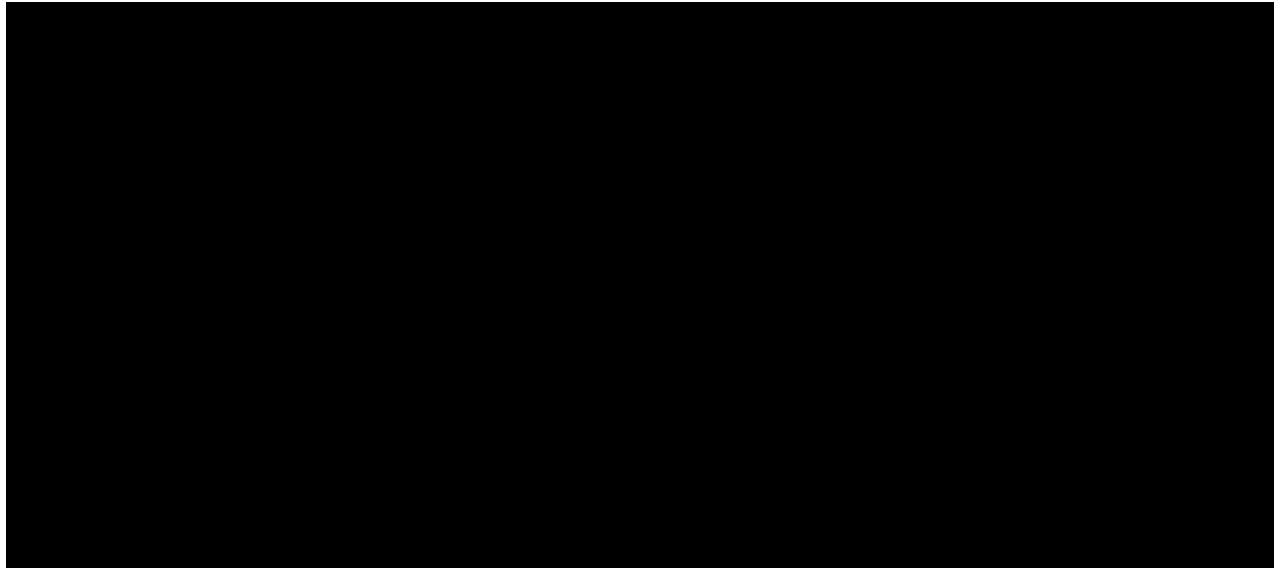
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

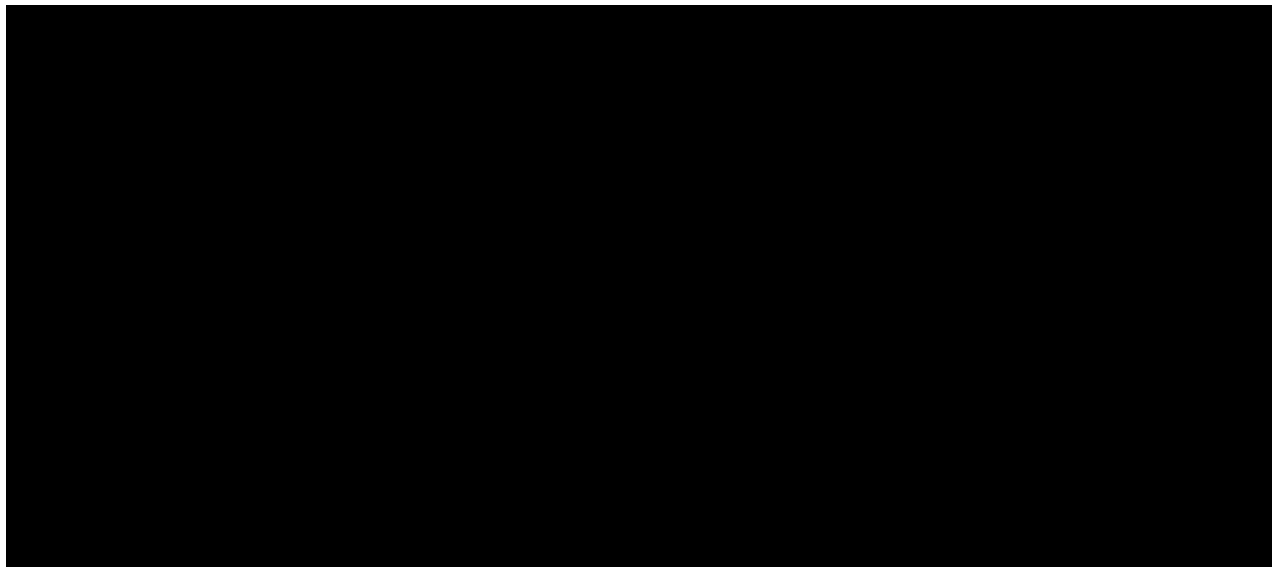
3. Моделирование напряженно-деформированного состояния участков магистрального трубопровода и расчет некоторых параметров сварных швов.

3.1 Создание сетки конечных элементов участков магистрального трубопровода

[Redacted content]

					Применение импульсного питания для сварки магистральных трубопроводов.			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.	Машлыкин Н.А				Моделирование напряженно-деформированного состояния участков магистрального трубопровода и расчет некоторых параметров сварных швов	Лит.	Лист	Листов
Руковод.	Веровкин А.В.						28	98
Консульт.						НИ ТПУ гр. 2БМ6А		
Рук-ль ООП	Бурков П.В.							





3.2 Расчет участка магистрального трубопровода на прочность



3.2.1 Расчет на растяжение



3.2.1.1 Расчет модели с обычной разделкой кромок

[Redacted]

[Redacted]

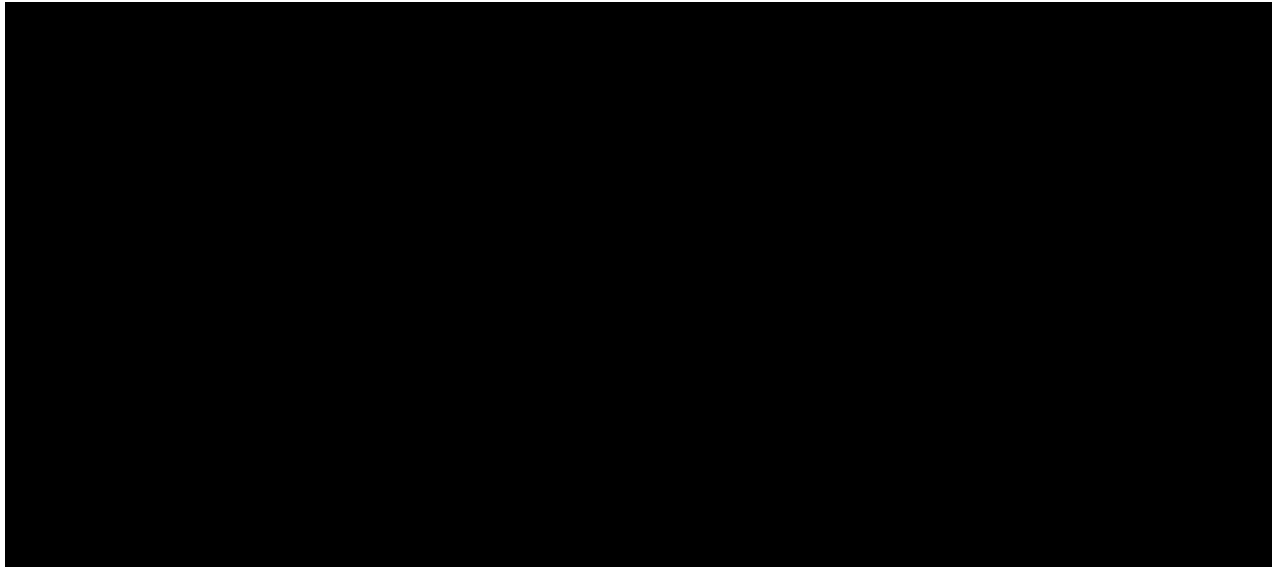
[Redacted]

[Redacted]

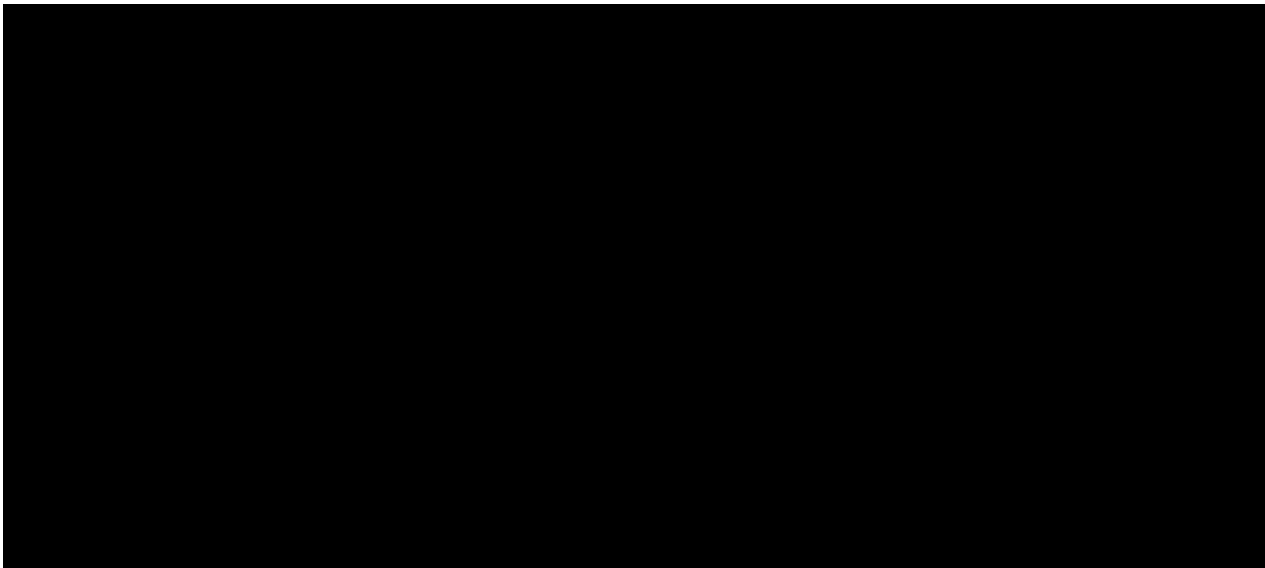
[Redacted]

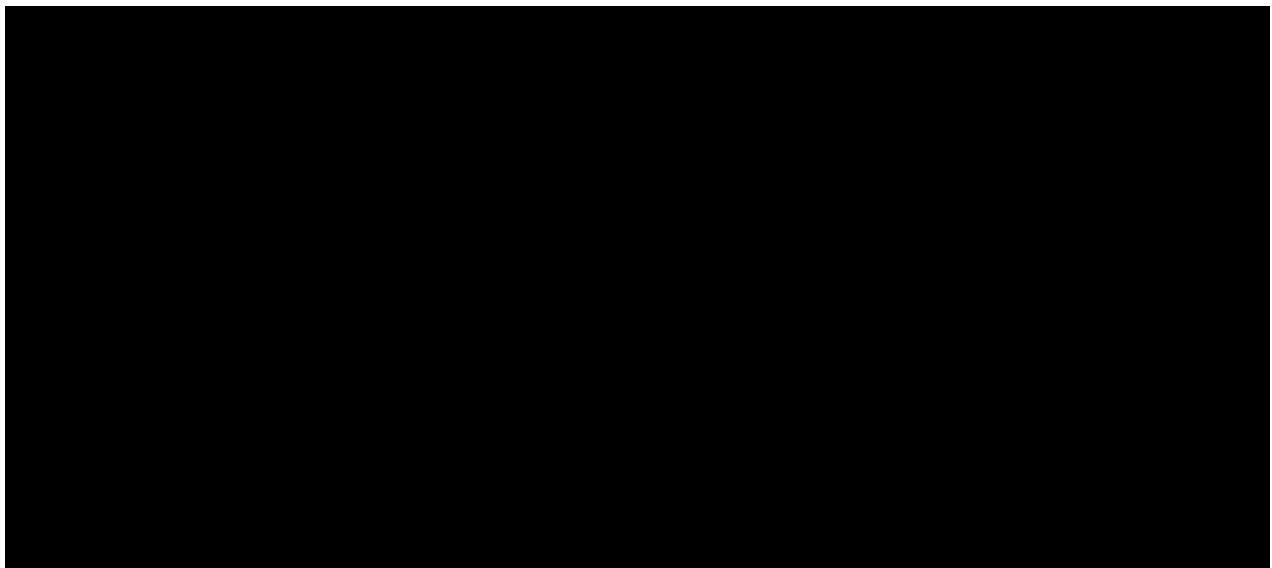
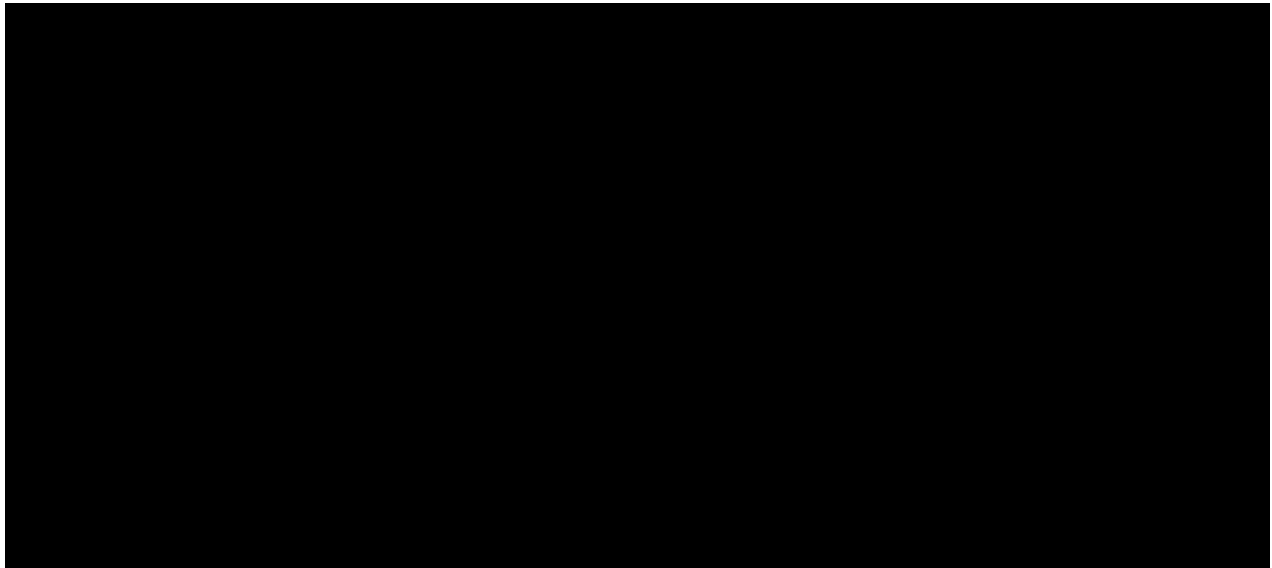
[Redacted]

[Redacted]



3.2.1.2 Расчет модели с щелевой разделкой кромок





3.2.2 Расчет на сжатие



					Моделирование напряженно-деформированного состояния участков магистрального трубопровода и расчет некоторых параметров сварных швов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

[Redacted text]

3.2.2.1 Расчет модели с обычной разделкой кромок

[Redacted text]

[Redacted text]

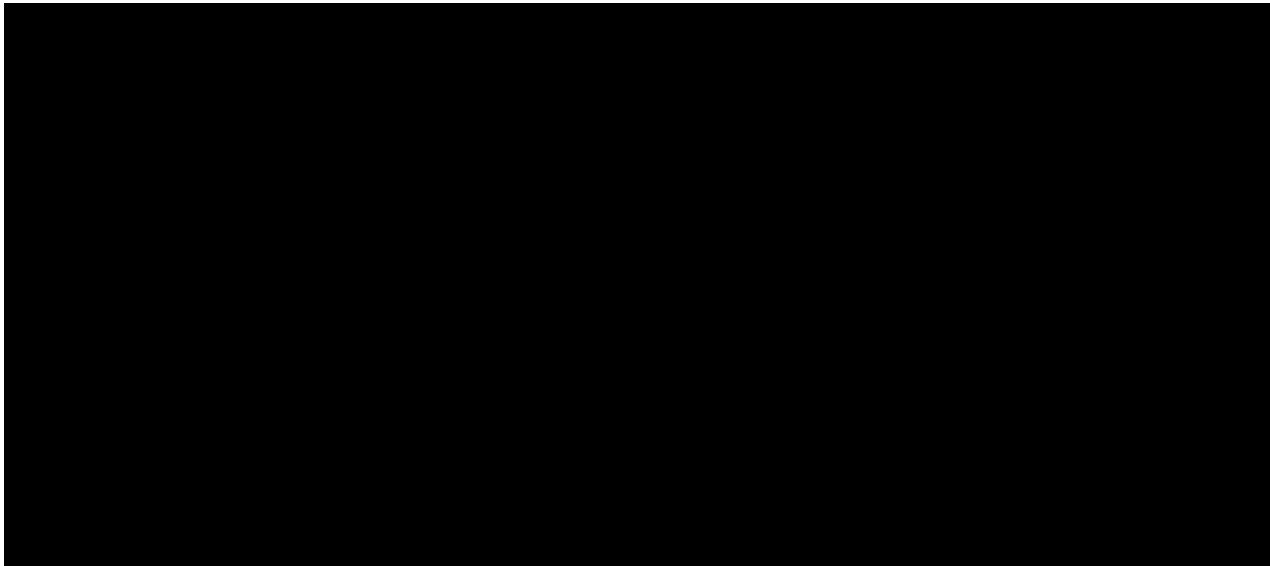
[Redacted text]

[Redacted text]

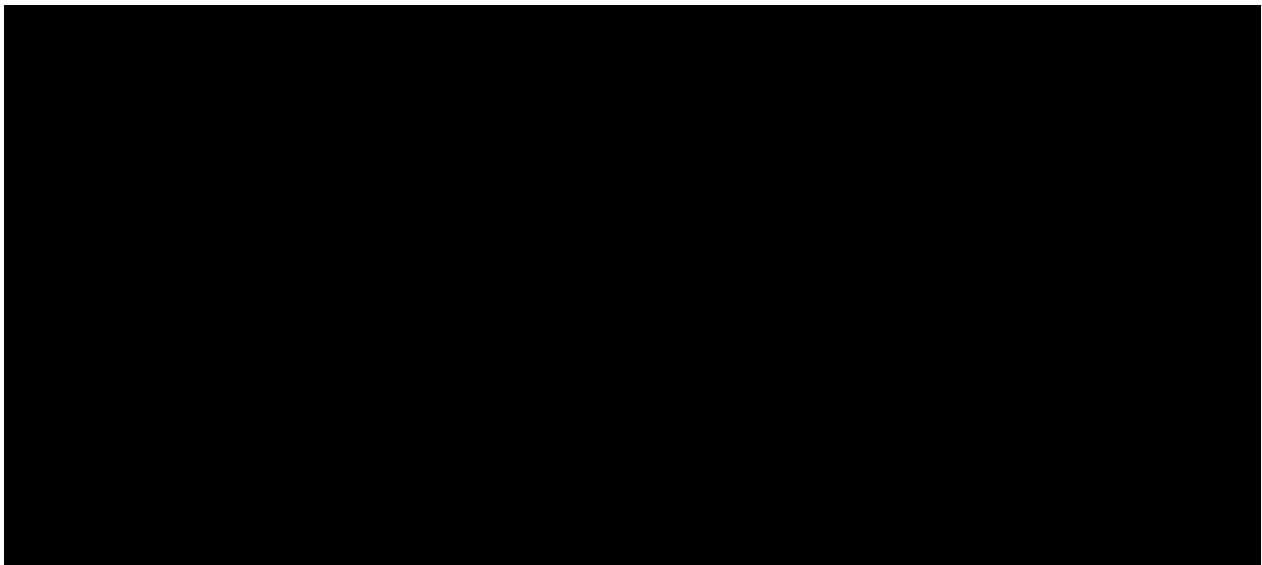
[Redacted text]

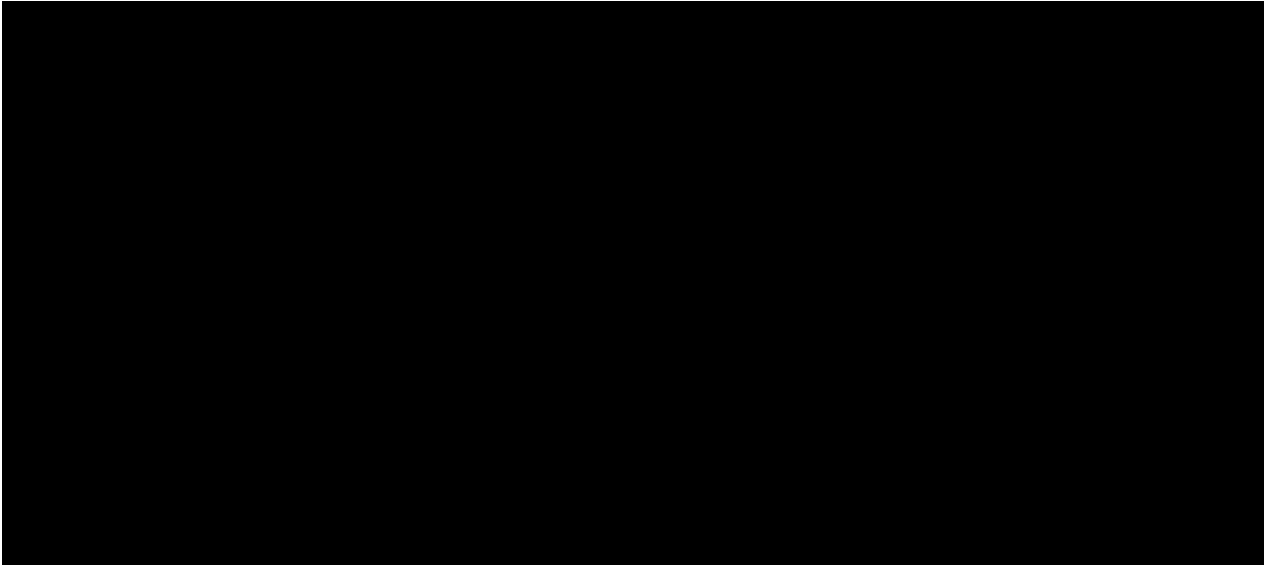
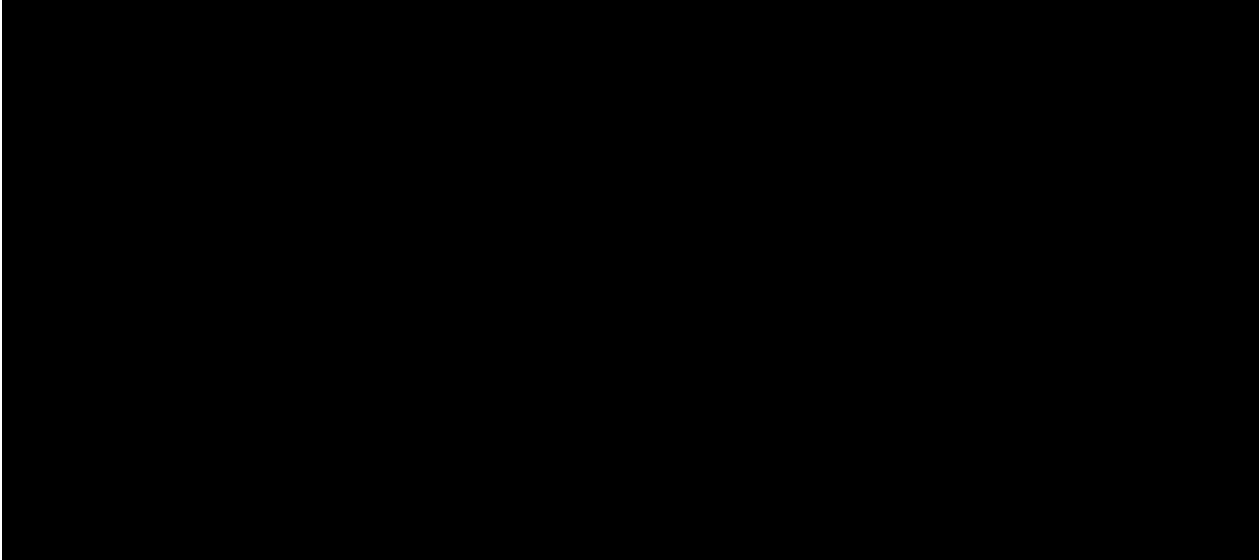
[Redacted text]

[Redacted text]



3.2.2.2 Расчет модели с щелевой разделкой кромок





3.2.3 Расчет на изгиб



[Redacted text]

3.2.3.1 Расчет модели с обычной разделкой кромок

[Redacted text]

[Redacted text]

[Redacted text]

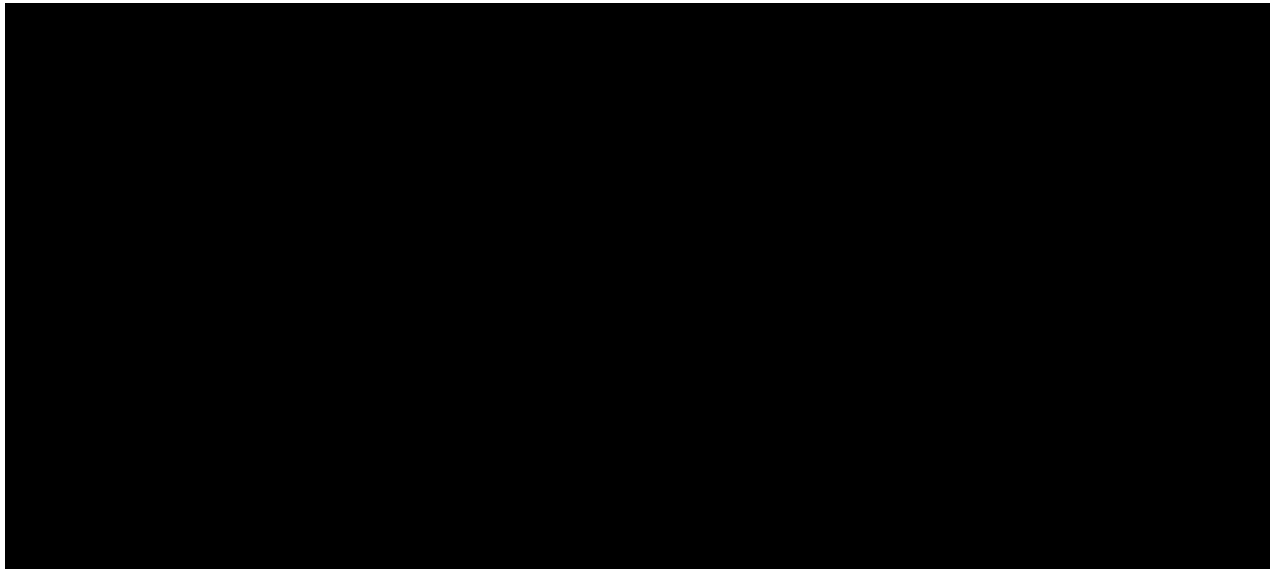
[Redacted text]

[Redacted text]

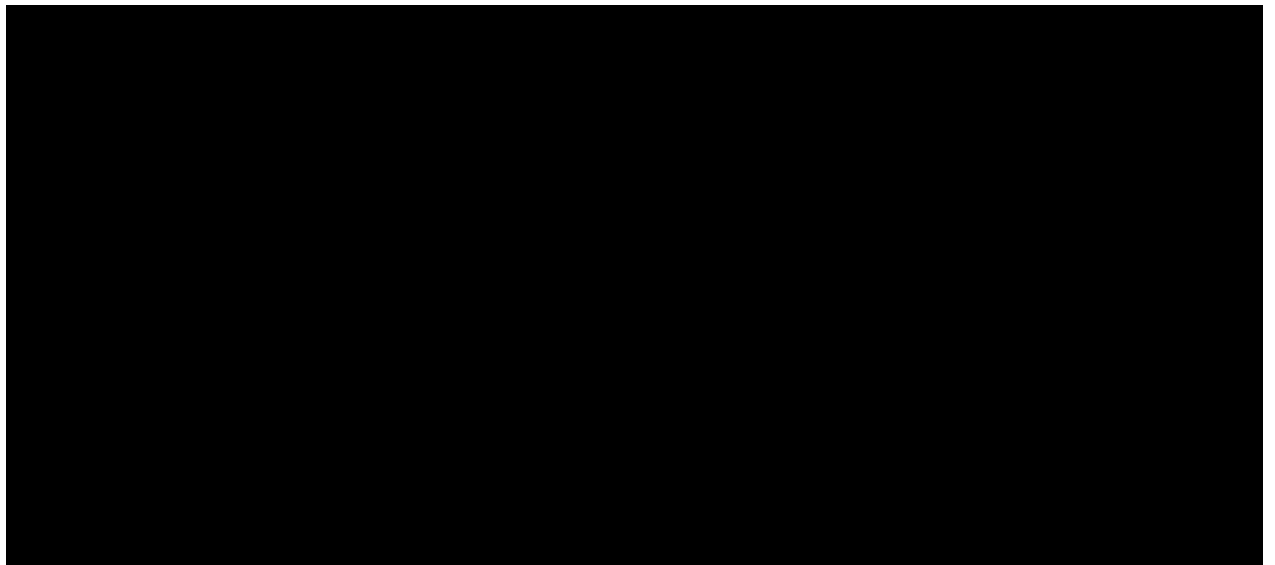
[Redacted text]

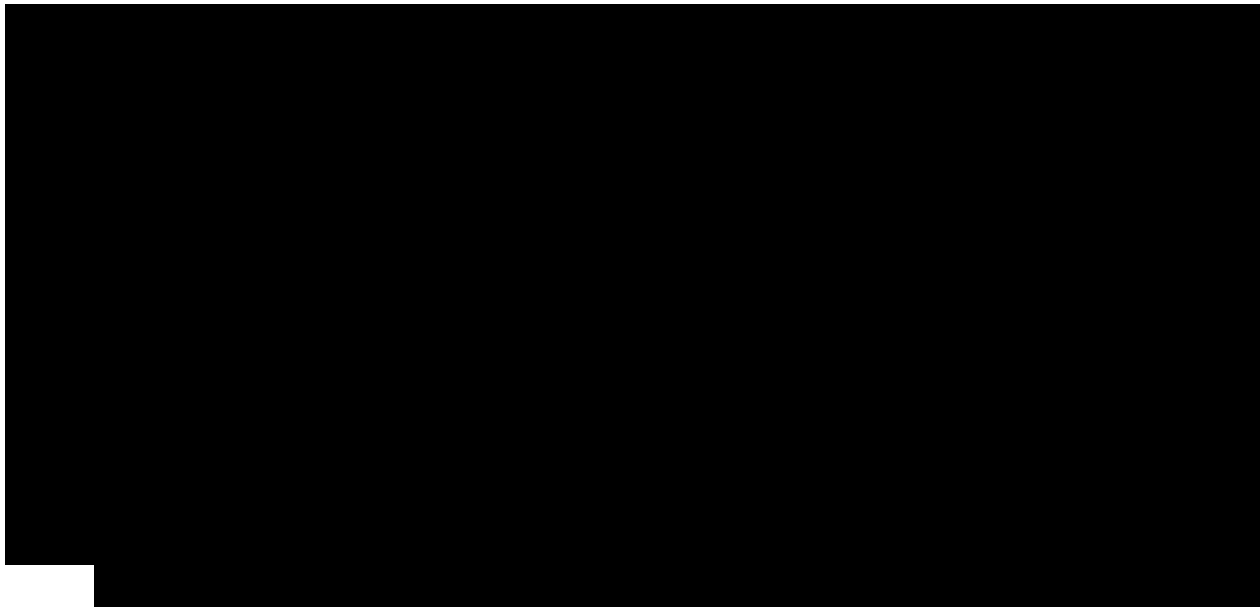
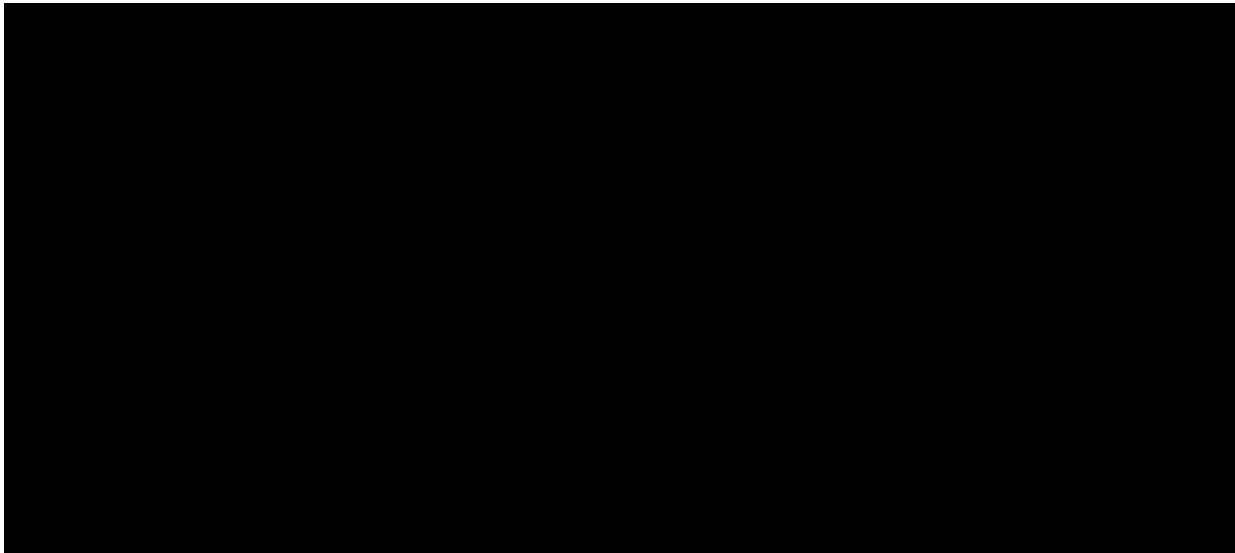
[Redacted text]

[Redacted text]



3.2.3.2 Расчет модели с щелевой разделкой кромок





3.3 Расчет параметров сварных швов

Рассчитаны число проходов, объем наплавки и скорость сварки для стыковых соединений труб $\text{Ø}1220$ мм и толщиной стенки 16 мм, дуговой сваркой в CO_2 и сваркой с применением импульсного питания в CO_2 . Данные параметры

					Моделирование напряженно-деформированного состояния участков магистрального трубопровода и расчет некоторых параметров сварных швов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

позволяют оценить сварка в какую разделку эффективнее с точки зрения производства.

3.3.1 Расчет числа сварочных проходов и объема наплавленного металла

Для расчета числа сварочных проходов необходимо найти площадь поперечного сечения сварного шва.

Площадь наплавки (F_H) находится по формулам:

$$F_H = F' + F'' + F''' \text{ или } F_H = h^2 \operatorname{tg} \alpha + bS + 0,75ge \quad (1)$$

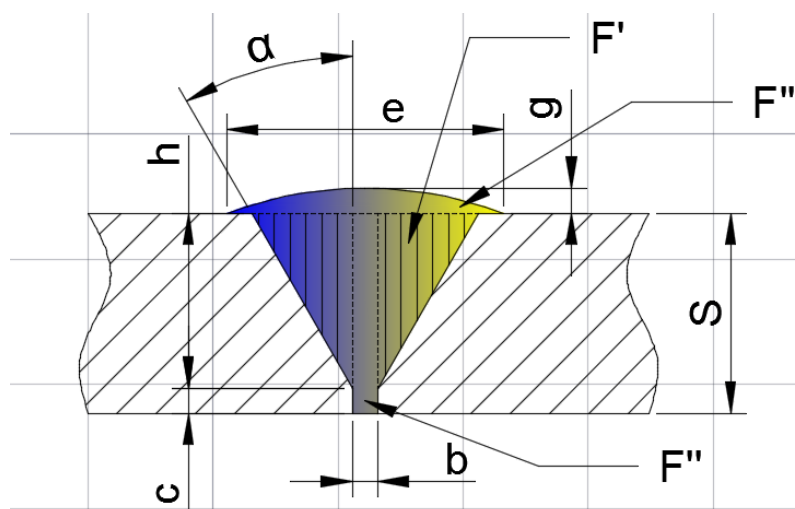


Рисунок 29. Поперечное сечение наплавленного металла в стыке труб $\varnothing 1220$ мм, где: $h=14$; $a=30$; $b=2$; $S=16$; $g=2$; $e=22$.

Применив формулу (1) получим:

$$F_H = h^2 \operatorname{tg} \alpha + bS + 0,75ge = 14^2 \operatorname{tg}(30) + 2 \cdot 16 + 0,75 \cdot 2 \cdot 22 = 174,9 \text{ мм}^2$$

Для расчета числа проходов (n) воспользуемся следующей формулой:

$$n = \frac{F_n - F_l}{F_n} + 1 \quad (2)$$

где, F_l – площадь первого прохода (30-35 мм²)

F_n - площадь последующих проходов (35-40 мм²)

Выбор такой площади прохода обусловлен тем, что при проходе более 40 мм² возникают непровары и другие дефекты сварных швов. [11]

Используя формулу (2) рассчитаем число проходов:

$$n = \frac{174,9 - 33}{37} + 1 = 4,8 \approx 5$$

Произведем расчет для сварки с импульсным питанием (рис. 30):

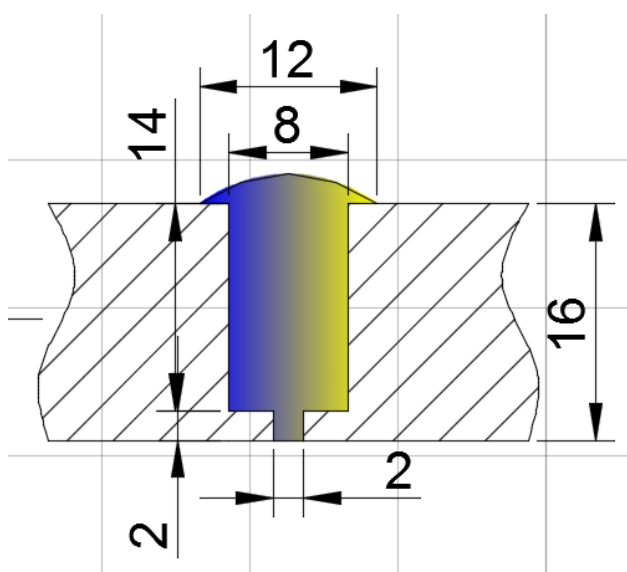


Рисунок 30. – сечение сварного стыка труб Ø1220 мм и толщиной стенки 16 мм, со сварным швом, выполненным в щелевую разделку.

Рассчитаем площадь наплавки путем сложения площадей простых фигур:

$$F_n = 2*2 + 14*8 + 0,75*12*2 = 134 \text{ мм}^2.$$

Рассчитаем число проходов используя формулу (2):

$$n = \frac{F_n - F_l}{F_n} + 1 = \frac{134 - 33}{37} + 1 = 3,8 \approx 4$$

Далее рассчитаем объем наплавленного металла для обоих случаев:

Для сварки с обычной разделкой кромок:

$$174,9 * 3832,7 = 670339,2 \text{ мм}^3 = 670,3 \text{ см}^3;$$

					Моделирование напряженно-деформированного состояния участков магистрального трубопровода и расчет некоторых параметров сварных швов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

Для сварки с импульсным питанием в щелевую разделку:

$$134 * 3832,7 = 513581,8 \text{ мм}^3 = 513,6 \text{ см}^3;$$

3.3.1 Расчет скорости сварки

Скорость сварки определяется по формуле:

$$V_{св} = \frac{\alpha_n * I_{св}}{\gamma * F_n} \quad (3)$$

α_n – коэффициент наплавки (для обоих случаев 17)

$I_{св}$ – сила сварного тока (для обоих случаев 190А)

γ – плотность металла (для 09Г2С – 7850 г/см³)

Расчет скорости для сварки с обычной разделкой кромок:

$$V_{св} = \frac{17 * 190}{7850 * 174,9} = 2,35 \text{ м / ч}$$

Расчет скорости для сварки с импульсным питанием с щелевой разделкой кромок:

$$V_{св} = \frac{17 * 190}{7850 * 134} = 3,07 \text{ м / ч}$$

Выводы по расчетам параметров сварных швов представлены в заключении.

					Моделирование напряженно-деформированного состояния участков магистрального трубопровода и расчет некоторых параметров сварных швов	Лист
						42
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

4.1 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Сварка модулированным током имеет ряд значительных преимуществ по сравнению с обычным процессом ручной дуговой сварки.

Все эти преимущества можно разделить на технологические и технико-экономические. В данном разделе рассмотрим технико-экономические преимущества сварки модулированным током по сравнению с обычной ручной дуговой сваркой. К технико-экономическим преимуществам можно отнести:

- снижение выгорания легирующих элементов;
- повышение производительности сварки в положении отличного от нижнего на (20-40)% за счет повышения коэффициента наплавки;
- снижение процента брака;
- сокращается время обучения сварщиков.

Технико-экономический анализ покажет насколько эффективно внедрение сварки модулированным током по сравнению с обычной ручной дуговой сваркой.

В данном разделе будет проведено нормирование ручной дуговой сварки плавящимся электродом и оценена экономическая эффективность, проведен SWOT-анализ и построен календарный план-график Ганта.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Применение импульсного питания для сварки магистральных трубопроводов			
Разраб.		Машлыкин Н.А.			Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Веревкин А.В.					43	98
Консульт.		Макашева Ю.С.				НИ ТПУ гр. 2БМ6А		
Рук-ль ООП		Бурков П.В.						

5.1 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта.

SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Сильные (S) и слабые (W) стороны являются факторами внутренней среды объекта анализа, (то есть тем, на что сам объект способен повлиять); возможности (O) и угрозы (T) являются факторами внешней среды (то есть тем, что может повлиять на объект извне и при этом не контролируется объектом)

					Финансовый менеджмент	Лист
						44
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 2 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны проекта:</p> <p>С1. Повышается качество сварного шва</p> <p>С2. Облегчается выполнение корня шва</p> <p>С3. Повышение производительности труда</p>	<p>Слабые стороны проекта:</p> <p>Сл1. Более тщательный подбор режимов сварки</p> <p>Сл2. Усталость глаз сварщика</p> <p>Сл3. Необходимость докупки модуляторов</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p> <p>В2. Появление повышенного спроса данный вид сварки</p> <p>В3. Автоматизация технологического процесса, применение защитных газов</p>	<p>1. Постоянный поиск путей снижения затрат времени</p> <p>2. Продолжение научных исследований с целью усовершенствования имеющейся технологии</p> <p>3. Замена импортных комплектующих отечественными аналогами</p>	<p>1. Поиск заинтересованных лиц через ТПУ</p> <p>2. Разработка собственного научного исследования</p> <p>3. Приобретение образцов исследуемого оборудования</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Введение дополнительных технических требований к сварочному оборудованию и технологическим процессам</p> <p>У2. Изменение нормативной документации.</p> <p>У3. Отсутствие квалифицированных кадров</p>	<p>1. Постоянное отслеживание изменений в законодательстве и в технических разработках.</p> <p>2. Сертификация продукции</p> <p>3. Мониторинг заинтересованности заказчиков в проекте</p>	<p>1. Повышение квалификации кадров.</p> <p>2. Поиск специалистов высокой категории</p> <p>3. Поиск поставщиков оборудования, готовых поставлять его по более низким ценам</p>

4.2 Планирование управления научно-техническим проектом

4.2.1 План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный и сетевые графики проекта. Линейный график представлен в виде таблицы 3.

Таблица 3 – Календарный план проекта

Код работы (из ИСР)	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)
1	Введение	10	01.02.2018	10.02.18	Машлыкин Н.А. Веровкин А.В.
2	Постановка задачи и целей исследования, актуальность, научная новизна	7	11.02.2018	18.02.18	Машлыкин Н.А. Веровкин А.В.
3	Литературный обзор	20	18.02.2018	09.03.18	Машлыкин Н.А.
4	Расчетная часть и анализ	25	09.03.2016	03.04.16	Машлыкин Н.А. Веровкин А.В.
5	Результаты и обсуждения	10	03.04.2016	13.04.16	Машлыкин Н.А. Веровкин А.В.
6	Оформление пояснительной записки	23	13.04.2016	25.04.16	Машлыкин Н.А.
Итого:		95			

Для иллюстрации календарного плана проекта приведена диаграмма Ганта, на которой работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Для удобства отображения каждый месяц разделен на декады (таблица 4)

Таблица 4 – Календарный план-график.

Вид работ	Исполнители	Т _к , раб · дн.	Продолжительность выполнения работ											
			февраль			март			апрель			май		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Выдача задания диссертации	Магистр Руководитель	10	■	■										
Постановка задачи и целей исследования, актуальность, научная новизна	Магистр Руководитель	7		■	■									
Литературный обзор	Магистр	20				■	■							
Расчетная часть и анализ	Магистр Руководитель	25							■	■	■	■	■	■
Результаты и обсуждения	Магистр Руководитель	10										■	■	
Оформление пояснительной записки	Магистр Руководитель	23											■	■

■ - Магистрант

■ - Руководитель

4.3 Экономическая оценка сравниваемых способов сварки

4.3.1 Первая ситуация

В первой ситуации исходим из того, что рассматриваемые варианты сварки на предприятии имеются.

Значит, нам не требуются средства на приобретение оборудования. Оборудование недостаточно загружено и имеется возможность его использования для производства нашего изделия.

Критерием выбора лучшего способа сварки будут служить затраты на сварку изделия. При этом во внимание принимаются те затраты, которые будут различаться по сравниваемым вариантам.

Различные затраты на сварку нашего изделия C (руб/изд-опер) определяются по формуле:

$$C = C_{см} + C_{оз} + C_{дз} + C_{сц} + C_{эл} + C_{р} + C_{б}, \quad (4)$$

где $C_{см}$ - затраты на сварочные материалы, руб.;

$C_{оз}$ - основная зарплата, руб.;

$C_{дз}$ - дополнительная зарплата, руб.;

$C_{сц}$ — отчисление на социальные цели, руб.;

$C_{эл}$ - затраты на электроэнергию, руб.;

$C_{р}$ - затраты на ремонт, руб.;

$C_{б}$ – затраты на исправление брака, руб.

Затраты на сварочный материал определяются по формуле

$$C_{см} = F_n \cdot l \cdot \gamma \cdot k_p \cdot C_{эл} + t_o, \quad (5)$$

Где:

F_n — площадь наплавленного металла, $F_n = 0.24 \text{ см}^2$;

k_p - коэффициент потерь на угар и разбрызгивание, $k_p = 1,05$;

$C_{эл}$ - стоимость электродов, руб/г, $C_{эл} = 0,14 \text{ руб/г}$;

t_o - основное время на сварку, t_o ;

$$C_{см} = 0,24 \cdot 0,13 \cdot 7,8 \cdot 1,05 \cdot 0,14 + 6,9 = 139,96 \text{ руб/изд.}$$

Основная зарплата определяется по формуле

					Финансовый менеджмент	Лист
						48
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$C_{оз} = \frac{C_{ср.ч} \cdot t_{шт.к.}}{60}, \quad (6)$$

Где $C_{ср.ч}$ – средняя часовая зарплата.

Средняя часовая зарплата определяется по формуле

$$C_{ср.ч} = \frac{C_{ср.м}}{172}, \quad (7)$$

Где $C_{ср.м}$ – средняя месячная зарплата, $C_{ср.м} = 6000$ руб.

172 – количество рабочих часов в месяц.

$$C_{ср.ч} = \frac{6000}{172} = 34,88 \text{ руб / час}$$

$$C_{оз} = \frac{34,88 \cdot 4,48}{60} = 2,6 \text{ руб / изд}$$

Дополнительная зарплата определяется по формуле

$$C_{дз} = (0,1-0,15) \cdot C_{оз}, \quad (8)$$

$$C_{дз} = 0,13 \cdot C_{оз} = 0,13 \cdot 2,6 = 0,33 \text{ руб.}$$

Затраты, отчисляемые на социальные цели, определяются

$$C_{сц} = 0,3 \cdot (C_{оз} + C_{дз}), \quad (9)$$

$$C_{сц} = 0,3 \cdot (2,6 + 0,33) = 0,76 \text{ руб.}$$

Затраты на электроэнергию определяются

$$C_{эл} = \frac{U \cdot I \cdot t_о}{60 \cdot \eta \cdot 1000} \cdot Ц_{эл}, \quad (10)$$

где $Ц_{эл}$ – стоимость 1кВт/час, $Ц_{эл} = 0,97$ руб/(кВт/ч).

U – напряжение, Вт;

$t_о$ – основное время, мин/м;

I – ток сварки, А;

η - КПД источника питания.

$$C_{эл} = \frac{12 \cdot 170 \cdot 6,9}{60 \cdot 0,85 \cdot 1000} \cdot 0,97 = 0,27 \text{ руб.}$$

Затраты на ремонт определяются по формуле

$$C_p = \frac{\sum Ц_{об} \cdot k_{рем} \cdot t_{шт.к}}{F_d \cdot 60}, \quad (11)$$

где $\Sigma Цоб$ – суммарная цена оборудования, $\Sigma Цоб = 70000$ руб;

$k_{рем}$ – коэффициент учитывающий затраты на ремонт,

$$k_{рем} = 0,13$$

F_d – годовой фонд времени работы оборудования, $F_d = 4000$ ч.

$$C_p = \frac{70000 \cdot 0,13 \cdot 4,48}{4000 \cdot 60} = 0,16 \text{ руб.}$$

Затраты на исправление дефектов

По статистическим данным ОАО Кузбассэнергоремонт при выполнении монтажа и ремонта труб поверхностей нагрева ручной дуговой сваркой приходится 4% брака, а при сварки модулированным током 1,5%. Поэтому в данном разделе рассмотрим затраты на исправления бракованных участков шва ручной аргонодуговой сварки с расчетам 2,5%.

Таблица 5

Общие результаты по первой ситуации

Наименование	1
1. Сварочные материалы, руб/изд.	139,96
2. Основная зарплата, руб/изд.	2,6
3. Дополнительная зарплата, руб/изд.	0,33
4. Социальные цели, руб/изд.	0,76
5. Электроэнергия, руб/изд.	0,27
6. Ремонт, руб/изд.	0,16
7. Затраты на исправление брака, руб/изд.	0,07
Итого	144,15

4.3.2 Вторая ситуация

Вторая ситуация характеризуется тем, что в процессе производства сварной конструкции возникает потребность в инвестициях (приобретения соответствующего оборудования).

Худший из вариантов имеется, а другой вариант будет внедряться (он раньше отсутствовал).

Когда возникает вторая ситуация, то появляется необходимость в инвестициях. Экономическая эффективность предлагаемых решений будет сводиться к экономической оценке инвестиций. В соответствии с основами стандарта экономической оценки инвестиций, оценка инвестиций осуществляется путем расчета четырех показателей:

- NPV – чисто текущая стоимость;
- PP – срок окупаемости;
- IRR – внутренняя ставка доходности;
- PI – индекс доходности.

Чисто текущая стоимость определяется по формуле

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{\Delta\Pi_{rt} + \Delta C_{at}}{(1+i)^t} - I_o, \quad (12)$$

где $\Delta\Pi_{rt}$ – прирост чистой прибыли за соответствующий период, руб;

n – продолжительность использования данной техники, n=5лет;

ΔC_{at} – прирост амортизационных отчислений в соответствующем году, руб;

i – ставка дисконтирования, i = 10%;

I_o – инвестиции, которые необходимо для осуществления нашего проекта, руб.

Прирост чистой прибыли находится по формуле

$$\Delta\Pi_{rt} = (C_{np} \cdot Q - H_{ум} \cdot I_{ост} - \Delta C_a) \cdot (I - H_{np}), \quad (13)$$

					Финансовый менеджмент	Лист
						51
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

где $\Delta C_{\text{пр}}$ – экономия затрат, которая принимается равной величине подсчитанной в первой ситуации, $\Delta C_{\text{пр}} = 59,33$ руб/шт;

Q – годовой объем продукции, шт;

I_0 – затраты на приобретение оборудования, руб;

$H_{\text{пр}}$ – налог на прибыль,

ΔC_a – амортизация,

Годовой объем продукции определяется по формуле:

$$Q = \frac{F_D \cdot k_3 \cdot 60}{t_{\text{ш.к}}}, \quad (14)$$

где k_3 – коэффициент загрузки оборудования, равен 0,75;

F_D – годовой фонд времени 4000 ч.;

$t_{\text{ш.к}}$ – штучно калькуляционное время.

$$Q = \frac{4000 \cdot 0,75 \cdot 60}{4} = 45000 \quad \text{шт.}$$

Остаточная стоимость определяется по формуле:

$$I_{\text{ост.t}} = I_{t-1} - C_{\text{ат}}, \quad (15)$$

где I_{t-1} – остаточная стоимость по годам;

$C_{\text{ат}}$ – норма амортизации 16,7%.

$$I_{\text{ост.t}} = 30000 - 16,7\% = 24990 \text{ руб.}$$

$$I_{\text{ост.2}} = 24990 - 5010 = 19980 \text{ руб.}$$

$$I_{\text{ост.3}} = 19980 - 5010 = 14970 \text{ руб.}$$

$$I_{\text{ост.4}} = 14970 - 5010 = 9960 \text{ руб.}$$

$$I_{\text{ост.5}} = 9960 - 5010 = 4950 \text{ руб.}$$

Прирост чистой прибыли по годам равен:

$$\Delta\Pi_{\text{гt}} = (1.69 \cdot 34285 - 0.02 \cdot 24990 - 5010) \cdot (1 - 0.3) = 36701 \text{ руб.}$$

$$\Delta\Pi_{\text{гt}} = (1.69 \cdot 34285 - 0.02 \cdot 19980 - 5010) \cdot (1 - 0.3) = 36772 \text{ руб.}$$

$$\Delta\Pi_{\text{гt}} = (1.69 \cdot 34285 - 0.02 \cdot 14970 - 5010) \cdot (1 - 0.3) = 36842 \text{ руб.}$$

$$\Delta\Pi_{rt} = (1.69 \cdot 34285 - 0.02 \cdot 9960 - 5010) \cdot (1 - 0.3) = 36912 \text{ руб.}$$

$$\Delta\Pi_{rt} = (1.69 \cdot 34285 - 0.02 \cdot 4950 - 5010) \cdot (1 - 0.3) = 36982 \text{ руб.}$$

Чисто текущая стоимость равняется

$$NPV = \left(\frac{36701 + 5010}{1.1} + \frac{36772 + 5010}{1.21} + \frac{36842 + 5010}{1.331} + \frac{36912 + 5010}{1.4641} + \frac{36982 + 5010}{1.61} \right) -$$

$$- 30000 = 128607$$

Общие результаты по годам представлены в таблице 6:

Таблица 6

Наименование	Годы					
	0	1	2	3	4	5
1. Коэффициент загрузки, кз	0	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
2. Годовой объем производства Q, шт	0	34285	34285	34285	34285	34285
3. Инвестиции I ₀ , тыс.руб	30	0	0	0	0	0
4. Экономия затрат ΔC _{спр} · Q, руб	0	57941	57941	57941	57941	57941
5. Амортизация C _a , руб	0	5010	5010	5010	5010	5010
6. Остаточная стоимость I _{ост} , руб	0	24990	19980	14970	9960	4950
7. налог на имущество 0,02 · I _{ост} , р	0	499,8	399,6	299,4	199,2	99
8. Прирост прибыли 4 ст. – 5 ст. – 7 ст.	0	52431	52531	52631	52731	52832
9. Налог на прибыль 0,3 · на 8 стр.	0	15729	15759	15789	15819	15849
10. ЧДП=8 стр. - 9 стр. + 5 стр.	0	41712	41782	41852	41922	41992
11. Коэффициент дисконтирования i = 10%, руб	1	0.909	0.826	0.751	0.6383	0.621
i = 20%, руб	1	0.833	0.694	0.578	0.482	0.402
i = 30%, руб	1	0.769	0.592	0.455	0.350	0.269
12. Дисконтированный ЧДП при i = 10%	0	37916	34512	31431	26759	26077
при i = 20%	0	34746	28997	24190	20206	16881
при i = 30%	0	32076	24735	19043	14673	11296

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

При ставке дисконтирования $i = 10\%$ окупаемости равен

$$1 + \frac{5362}{7879} = 1,6 \text{ года}$$

При ставке дисконтирования $i = 20\%$ окупаемости равен

$$1 + \frac{5362}{7879} = 1,6 \text{ года}$$

При ставке дисконтирования $i = 30\%$ окупаемости равен

$$1 + \frac{5362}{7879} = 1,6 \text{ года}$$

Индекс доходности PI определяется по формуле:

$$PI = \frac{\left(\sum \frac{\Delta \Pi_{it} + \Delta C_{at}}{(1+i)^t} \right)}{I_o}, \quad (16)$$

При ставке дисконтирования $i = 10\%$ индекс доходности равен:

$$PI = \frac{36293}{14000} = 2.5 \text{ года}$$

При ставке дисконтирования $i = 20\%$ индекс доходности равен:

$$PI = \frac{36293}{14000} = 2.5 \text{ года}$$

При ставке дисконтирования $i = 30\%$ индекс доходности равен:

$$PI = \frac{36293}{14000} = 2.5 \text{ года}$$

Экономическое сравнение двух способов сварки показало, что при сварке модулированным током затраты на сварку изделия меньше, чем при ручной дуговой сварке.

5. Социальная ответственность при сварке с использованием импульсного питания в защитных газах на трубопроводах

В ходе выполнения магистерской диссертации были проанализированы различные технологические операции: заготовительные операции, подготовка деталей к сварке, разработка технологии сборки и сварки. Заготовительные операции включают в себя входной контроль металла и конструктивных элементов, подготовка деталей к сварке - проверка наличия клейм, маркировки, обработка кромок трубопровода, разработка технологии сборки и сварки – зачистка и обезжиривание свариваемых поверхностей и непосредственно сама сварка трубопровода с последующей диагностикой сварных соединений на наличие дефектов.

В этом разделе приводится анализ технологического процесса сварки с точки зрения наличия или возможного появления опасных и вредных факторов, а также воздействия их на рабочих. Разработаны мероприятия по технике безопасности (ТБ) и производственной санитарии, направленные на снижение или устранение опасных факторов. Разработаны мероприятия по противопожарной профилактике, экологической безопасности и чрезвычайным ситуациям.

5.1. Производственная безопасность

Широкое применение электросварочных работ различных сплавов требует такой организации сварочных работ, которая обеспечила бы максимально возможную безопасность труда сварщиков.

При эксплуатации установок для электросварки обслуживающий персонал может подвергаться воздействию большой группы опасных и вредных факторов. Наиболее характерные приведены в таблице:

					Применение импульсного питания для сварки магистральных трубопроводов			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Машлыкин Н.А.			Социальная ответственность	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Веревкин А.В.					55	98
Консульт.		Немцова О.А.				НИ ТПУ гр. 2БМ6А		
Рук-ль ООП		Бурков П.В.						

Таблица 7 – Опасные и вредные факторы при эксплуатации объекта исследования

Источник фактора, наименование вида работ	Факторы по ГОСТ 12.0.003-2015 [26]		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1. Сварочные работы	1. Повышенный уровень УФ радиации 2. Загазованность рабочего места 4. Повышенный уровень шума; 5. Недостаточная освещенность рабочей зоны	1. Повреждения в результате поражения электрическим током; 2. Пожаро- и взрывоопасность; 3. Подвижные части производственного оборудования; 4. Металлические искры при сварке	ГОСТ 12.1.003-83 [20] ГОСТ 12.4.011-89 [21] ГОСТ 12.2.003-91 [22] ГОСТ 12.1.044-89 [23] ГОСТ Р 22.0.05-94 [24] ГОСТ 12.1.012–2004 [25]

Таким образом, обслуживающий персонал при работе на данном оборудовании подвергается воздействию практически всех перечисленных факторов. Рассмотрим опасные и вредные факторы и методы защиты от их воздействия.

5.1.1 Анализ вредных факторов

5.1.1.1 Инфракрасное и ультрафиолетовое излучения

Для ИК-излучения характерны электромагнитные волны с длиной волны 0,76...1000 мкм. ИК-излучение испускается любым нагретым телом, температура которого определяет интенсивность и спектр излучаемой электромагнитной энергии. Тела, нагретые выше 1000 °С, являются источниками коротковолнового ИК-излучения (0,7...9 мкм). С уменьшением температуры тела до 50 - 1000 °С ИК-излучение характеризуется длинноволновым спектром.

В зависимости от длины волны меняется проникающая способность.

Наибольшей способностью обладает ИК-излучение с $\lambda=0,76...1,4$ мкм, которое способно проникать в ткани человека на глубину нескольких сантиметров. ИК-лучи длинноволнового диапазона задерживаются в поверхностных слоях кожи. Большая проникающая способность короткого ИК-излучения вызывает непосредственное воздействие на жизненно - важные органы (оболочка мозга, глаза и др.), поэтому опасность его воздействия существенна.

При эксплуатации сварочного оборудования, как правило, нет мощных источников ИК-излучения. Оборудование нагревается умеренно, что не приводит к образованию опасного коротковолнового ИК-излучения. Его источником может стать зона взаимодействия сварочной дуги со свариваемым изделием.

Электрическая дуга во время сварки при эксплуатации является источником ИК и ультрафиолетового излучения, оказывающего вредное влияние на глаза своим действием. Испускаемые сварочной дугой невидимые ИК и УФ лучи вредно действуют на сетчатую и роговую оболочку глаза. Длительное воздействие дуги на незащищенный глаз (в течении 5-10 минут) вызывает через 1,5-2 часа сильные боли в глазах, слезотечение, светобоязнь, спазмы век и воспаление глаз. Облучение ультрафиолетовыми лучами в течении 1-3 часов вызывает ожог кожи наподобие солнечного. Испускаемые сварочной дугой невидимые инфракрасные лучи вызывают при длительном облучении незащищенных глаз общую потерю зрения.

Мерой защиты от излучения дуги является использование сварщиком защитных цветных стекол - светофильтров. Светофильтры кроме ионизирующего действия излучения дуги также обеспечивают полную защиту от брызг расплавленного металла, от раздражения слизистой глаза из-за выделяющихся при сварке аэрозолей, и т.д. Российской промышленностью выпускаются светофильтры марок С4-С8, в европейской классификации это соответствует DIN 9-13. Так для нашего случая, при аргодуговой сварки алюминия на средних значениях тока (от 60 до 100 А), необходимо использовать

					Социальная ответственность	Лист
						57
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

светофильтр типа «С5» или «С6».

5.1.1.2 Воздушная среда и микроклимат производственного помещения

Микроклимат в производственном помещении оказывает существенное влияние на здоровье и самочувствие людей. Значительные колебания микроклимата могут приводить к перегреву или переохлаждению организма, что снижает производительность труда и влечет за собой заболевания и травматизм. Нормы производственного микроклимата установлены системой стандартов безопасности труда.

Микроклимат производственных помещений определяется действующими на организм сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха. Оптимальные микроклиматические условия обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены, не вызывают отклонений в состоянии здоровья и создают предпосылки для высокой работоспособности.

Нормы оптимальных и допустимых метеорологических условий устанавливает СанПиН 2.2.4.548-96, ГОСТ 12.1.005-88 и руководство, по гигиенической оценке, факторов рабочей среды и трудового процесса утвержденное главным санитарным врачом - Р 2.2.2006-05 от 29 июля 2005 года. Все категории работ разграничиваются на основе интенсивности энергозатрат организма в ккал/ч (Вт). Работа инженера-разработчика относится к категории 1а - работа с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч (до 139 Вт), производимая сидя и сопровождающаяся незначительным физическим напряжением.

Для помещения без избытка выделения тепла для работ категории тяжести 1а оптимальные параметры микроклимата должны соответствовать требованиям таблицы 8.

					Социальная ответственность	Лист
						58
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Сезон года	Категория тяжести выполняемых работ	Температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/сек	
		Фактич. значение	Допустим. значение	Фактич. значение	Допустим. значение	Фактич. значение	Допустим. значение
Холодный	Ia	22,4	(20÷25)	36,5	(15÷75)	< 0,05	0,1
Теплый	Ia	23,3	(21÷28)	39,3	(15÷75)	< 0,05	0,1

Таблица 8 - Допустимые нормы и фактические значения параметров микроклимата в рабочей зоне производственных помещений

Из таблицы 8 видно, что в анализируемой комнате параметры микроклимата соответствуют нормам.

Микроклимат помещения должен поддерживаться на оптимальном уровне системой водяного центрального отопления, естественной вентиляцией, а также искусственным кондиционированием и дополнительным прогревом в холодное время года.

Вентиляция сварочных цехов и участков оборудуется в соответствии с ГОСТ 12.3.003-86 (Система стандартов безопасности труда. Работы электросварочные. Требования безопасности). По этим нормам воздухообмен в час на один пост должен составлять от 500 до 1000 м³/ч. В тех случаях, когда трудно обеспечить необходимую вентиляцию, а содержание вредных газов и пыли превышает допустимые нормы, необходимо применять средства индивидуальной защиты органов дыхания сварщиков. Когда концентрации газов в зоне дыхания не велики, можно использовать противопылевые респираторы типа ШБ-1 («Летосток», «Астра-2» и др.).

5.1.1.3 Шум и вибрация

Шумовое воздействие оборудования для импульсной сварки мало и можно не применять средств защиты от шума и вибрации.

При сварке и сборке изделий используют шлифовальные машинки, которые создают дополнительный шум, вредно действующий на организм. У лиц, работающих в условиях постоянного шума, наблюдается повышенная утомляемость, нарушается концентрация внимания, точность и координация

движений, ухудшается восприятие звуковых и световых сигналов опасности, что способствует росту травматизма на производстве.

Вибрации, воздействуя на организм человека, могут явиться причиной функциональных расстройств нервной и сердечно-сосудистой системы, а также опорно-двигательного аппарата. Увеличение интенсивности и длительности вибрации, в ряде случаев, приводит к развитию вибрационной болезни.

У лиц, работающих в условиях постоянного шума, наблюдается повышенная утомляемость, нарушается концентрация внимания, точность и координированность движений, ухудшается восприятие звуковых и световых сигналов опасности, что способствует росту травматизма на производстве.

Нормируемые параметры шума на рабочих местах определены ГОСТ 12.1.003-14 и санитарными нормами СН 2.2.4/2.1.8.562-96 (Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки).

Для работающих с вибрирующим оборудованием рекомендуется организовывать 10-15 минутные перерывы после каждого часа работы и проводить комплекс профилактических мероприятий. Одним из направлений борьбы с шумом является создание шумопоглощающих устройств в самом технологическом оборудовании.

5.1.1.4 Исследование освещенности рабочей зоны

Освещение рабочего места - важнейший фактор создания нормальных условий труда. Согласно санитарно-гигиеническим требованиям рабочее место инженера должно освещаться как естественным, так искусственным освещением. Естественное освещение проникает в помещение через одно большое окно в светлое время суток. Естественное освещение по своему спектральному составу является наиболее приемлемым. Искусственное же отличается относительной сложностью восприятия его зрительным органом человека.

Недостаточная освещенность рабочего места не только уменьшает остроту зрения, но и вызывает утомление организма в целом, что приводит к

					Социальная ответственность	Лист
						60
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

снижению производительности труда и увеличению опасности заболеваний человека. Поэтому с целью обеспечения требуемых норм освещенности необходимо произвести расчет искусственной освещенности. Для расчета общего равномерного освещения при горизонтальной рабочей поверхности основным является метод светового потока (коэффициента использования), учитывающий световой поток, отраженный от потолка и стен. При работах по сварке тонколистового алюминия в сочетании с работой на персональном компьютере в сочетании с работой и с нормативной и технической документацией согласно нормам, СП 52.13330.2011 регламентируется минимальная искусственная освещенность рабочих мест в 400 лк при общем освещении. Разряд зрительной работы 1Г.

Световой поток, создаваемый каждой из ламп, рассчитывается по формуле (17)

$$F = \frac{E \cdot S \cdot z \cdot k}{n \cdot \eta} \quad (17)$$

где F - световой поток одной лампы, лм;

E - минимальная освещенность, лк, E = 400 лк;

S - площадь помещения, м², S = 24 м²;

z - поправочный коэффициент, z = 0,9;

k - коэффициент запаса, k = 1,5;

П - коэффициент использования осветителей, %;

n - число светильников в помещении.

Коэффициент k для помещений, освещаемых люминесцентными лампами, при условии чистки светильников не реже двух раз в год, берется равным от 1,4 до 1,5.

Коэффициент использования может быть определен по известному индексу помещения (i), рассчитанный по выражению (18)

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)}, \quad (18)$$

где A - длина помещения, м, A = 7 м;

					Социальная ответственность	Лист
						61
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

В - ширина помещения, м, В = 5 м.

Для соответствующих размеров аудитории со светлым потолком и стенами, оклеенными светлыми обоями, согласно методическим указаниям, примем коэффициенты отражения от стен $\rho_c = 30\%$ и потолка $\rho_p = 70\%$.

По формуле (19) определим расчетную высоту подвеса светильников над рабочей поверхностью (h).

$$h = H - h_p - h_c, \quad (19)$$

где h_p - расстояние от пола до рабочей поверхности стола, м, $h_p = 0,8$ м;

h_c - расстояние от потолка до светильника, м, $h_c = 0,15$ м;

H - высота потолка в помещении, м, H = 3,2 м.

Из расчетов следует, что $h = 2,25$ м, тогда согласно выражению (18)

$$i = \frac{7 \cdot 5}{2,25 \cdot (7 + 5)} = 1,3$$

По таблице коэффициентов использования светового потока для соответствующих значений i , ρ_c и ρ_p примем $\eta = 49\%$.

Для осуществления проверочного расчета с целью определения того, создает ли существующая система освещенности требуемую освещенность по СП 52.13330.2011, рассчитаем количество ламп в помещении, выразив отношение из формулы (17).

$$n = \frac{400 \cdot 35 \cdot 0,9 \cdot 1,5}{1500 \cdot 0,49} = 25,7$$

Таким образом, люминесцентные лампочки дневного света (ЛД) в количестве 26 штук, мощностью 30 Вт, потребляемые ток 0,34 А при питании от сети 220 В, достаточны для обеспечения минимальной требуемой освещенности в анализируемом помещении.

					Социальная ответственность	Лист
						62
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Для утилизации люминесцентных ламп необходимо заключить договор с компанией, имеющей лицензию на утилизацию отходов соответствующего класса опасности.

5.1.2 Анализ опасных производственных факторов

5.1.2.1 Электробезопасность

Повышенное напряжение электрической цепи создает опасность поражения электрическим током, степень тяжести которого зависит в основном от величины напряжения и условий включения человека в электрическую цепь. Электрический ток, проходящий через человеческий организм, обратно пропорционален его сопротивлению (расчетное значение 1000 Ом) и общему сопротивлению участка цепи.

Электрический ток до 0.05 А вызывает боль, ток от 0.05 до 01 А является опасным, а ток 0.1 А и более - может привести к смертельному исходу

Для предотвращения поражения электрическим током необходимо следовать следующим правилам техники безопасности:

необходимо надежно заземлять корпуса сварочных машин, аппаратов и установок, а также свариваемое изделие;

не следует касаться голыми руками (без диэлектрических перчаток) токонесущих частей сварочных установок, а также проводов без изоляции или с поврежденной изоляцией;

перед началом работ необходимо проверять исправность изоляции сварочных проводов, сварочного инструмента и оборудования, а также надежность всех контактных соединений сварочной цепи;

при длительных перерывах сварочного процесса источник сварочного тока следует отключать;

при прокладке сварочных проводов и при каждом их перемещении не допускать: повреждения изоляции, соприкосновения проводов с водой, маслом, стальными канатами, рукавами (шлангами) и трубопроводами с горючими газами и кислородом, а также с горячими трубопроводами;

					Социальная ответственность	Лист
						63
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

необходимо надежно заземлять металлический корпус осциллятора, конструкция которого должна обеспечивать автоматическое выключение тока при открывании его дверцы; нельзя ремонтировать сварочное оборудование и установки, находящиеся под напряжением; сварщик не должен самостоятельно подключать источник питания сварочной дуги к силовой сети, или производить в ней ремонт, связанный с работой источника питания. Все эти работы выполняют только электрики цехов.

В случае поражения сварщика электрическим током необходимо срочно отключить ток ближайшим выключателем или отделить пострадавшего от токоведущих частей, используя сухие подручные материалы (шест, доску и др.). После этого положить его на теплую подстилку и по возможности согреть. Немедленно вызвать медицинскую помощь, учитывая, что промедление свыше 5-6 минут может привести к непоправимым последствиям. При бессознательном состоянии пострадавшего следует освободить от стесняющей одежды и немедленно приступить к искусственному дыханию, продолжая его до прибытия врача или восстановления нормального дыхания.

5.1.2.2 Пожаробезопасность и взрывобезопасность

Пожар - это стихийное бедствие. В результате пожаров гибнут люди, материальные ценности, наносится большой ущерб народному хозяйству. Поэтому для предотвращения пожаров необходимо следовать следующим правилам:

о предстоящих работах по сварке необходимо заблаговременно сообщать лицу, ответственному за пожарную безопасность;

рабочие места сварщиков следует предварительно очистить от древесных стружек, сгораемого мусора в радиусе не менее 10 метров, а также удалить из этой зоны другие взрывоопасные и огнеопасные вещества; необходимо соблюдать осторожность при перемещении сварочных проводов. Особую опасность при этом представляет собой искрение проводов (при их недостаточной или нарушенной изоляции) в местах, удаленных от сварщика или недоступных его наблюдению; при длительном или концентрированном

					Социальная ответственность	Лист
						64
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

воздействии искр и капель расплавленного металла, образующимся при сварке, необходимо защищать деревянные настилы или подмости от возгорания листовым железом или асбестом; по окончании смены нужно тщательно проверять рабочую зону и не оставлять открытого огня, нагретых до высокой температуры предметов, а не тлеющих сгораемых материалов, мусора.

В случае возникновения пожара необходимо отключить подачу электроэнергии, вызвать пожарную команду и, если это, возможно, приступить: ликвидации очагов возгорания силами персонала цеха.

Для быстрой ликвидации пожара вблизи места сварки всегда должна (быть бочка с водой и ведро, ящик с песком и лопата, а также ручной огнетушитель. Огнетушители, применяемые при тушении пожара на участке с электроустановками, должны быть углекислотами. На участке, в специально оборудованных местах, должно находиться не менее двух огнетушителей ОУ-5.

Пожарные краны, рукава, стволы огнетушители и другие средства тушения пожара необходимо содержать в исправности и хранить в определенных местах по согласованию с органами пожарного надзора.

5.1.2.3 Движущиеся машины и механизмы

Вероятность получения травм в процессе монтажа любого оборудования очень велика. Тяжесть повреждений может быть вплоть до летального исхода. Для того что бы не было травм на опасном производстве необходимо выполнять правила техники безопасности.

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

- ограждения (кожухи, козырьки, дверцы, экраны, щиты, барьеры и т. д.);
- предохранительные – блокировочные устройства (механические, электрические, электронные, пневматические, гидравлические и т. д.);
- тормозные устройства (рабочие, стояночные, экстренного торможения);
- сигнальные устройства (звуковые, световые), которые могут встраиваться в оборудование или быть составными элементами.

					Социальная ответственность	Лист
						65
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- сигнальные цвета и сигнальная разметка, знаки производственной безопасности.

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

ГОСТ Р 12.4.026-2001 «ССБТ. Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная» устанавливает термины с соответствующими определениями, для правильного понимания их назначения, правила применения и характеристики знаков безопасности, сигнальных цветов и сигнальной разметки [44].

Мероприятия по обеспечению охраны труда, техники безопасности описаны в ГОСТ 12.4.011-89.

Организационные и технические меры по обеспечению безопасности, осуществляемые при подготовке объекта к проведению работ, применяемые средства коллективной и индивидуальной защиты, режим проведения работ, а также по оборудованию мест отдыха, приема пищи и санитарно – гигиенических норм.

До начала работ:

1. оформить наряды – допуска на проведение газоопасных, огневых работ и работ повышенной опасности. Перевозка и транспортировка техники в охранной зоне, сварочно-монтажные работы.
2. провести внеочередной инструктаж всем членам бригады по безопасным методам и приёмам ведения газоопасных, огневых работ и работ повышенной опасности, а также по правилам поведения во взрыва- и пожароопасной обстановке и других опасных

					Социальная ответственность	Лист
						66
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

условиях, и обстоятельствах с росписью в Журнале инструктажей на рабочем месте и наряде-допуске. Ознакомить всех руководителей, специалистов, механизаторов и бригадиров с данным Планом производства работ до начала работ, выборочно опросить персонал по усвоению требований безопасности, отраженных в разделе;

3. до начала работ установить наличие и обозначить знаками расположение всех коммуникаций в радиусе проведения работ;

4. после доставки и расстановки всё электрооборудование, жилые вагоны, электрические аппараты следует заземлить;

5. проверить взрывозащиту и изоляцию применяемого оборудования.

На весь период работ:

1. в зоне производства работ организовать места для приема пищи, отдыха и санитарно – гигиенические зоны. Жилой городок расположить на расстоянии не менее 100 м от места производства работ;

2. при сильном притоке грунтовых вод стенки ремонтного котлована должны крепиться металлическими или деревянными шпунтами, а при их отсутствии – деревянными сваями;

3. всю гусеничную технику, используемую при производстве работ, оборудовать устройствами, предохраняющими от бокового скольжения;

4. проверить наличие спецодежды, спец обуви и СИЗ у исполнителей по видам работ (костюм х/б, костюм сварщика, противогаз шланговый, страховочный пояс, страховочная веревка, защитная каска и т.д.).

5.1.2.4 Металлические искры при сварке

Искры представляют собой нагретые до высокой температуры (раскаленные) частицы металла размером от 0,1 до 0,5 мм и более.

					Социальная ответственность	Лист
						67
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Температура искр из обычных конструкционных сталей достигает температуры плавления металла - 1550 °С.

Несмотря на высокую температуру искры ее воспламеняющая способность сравнительно невысока, т. к. из-за малых размеров (массы) запас тепловой энергии искры очень мал. Искры способны воспламенить парогазовоздушные смеси, имеющие малый период индукции, небольшую минимальную энергию зажигания. Наибольшую опасность в этой связи представляют ацетилен, водород, этилен, оксид углерода и сероуглерод.

Воспламеняющая способность искры, находящейся в покое, выше летящей, так как неподвижная искра медленнее охлаждается, она отдает тепло одному и тому же объему горючей среды и, следовательно, может его нагреть до более высокой температуры. Поэтому искры, находящиеся в покое, способны воспламенить даже твердые вещества в измельченном виде (волокна, пыли).

Искры в условиях производства образуются при работе с инструментом ударного действия (гаечными ключами, молотками, зубилами и т. п.), при попадании примесей металла и камней в машины с вращающимися механизмами (аппараты с мешалками, вентиляторы, газодувки и т. п.), а также при ударах подвижных механизмов машины о неподвижные (молотковые мельницы, вентиляторы, аппараты с откидными крышками, люками и т. п.).

Мероприятия по предупреждению опасного проявления искр от удара и трения:

1. Применение во взрывоопасных зонах (помещениях) применять искробезопасного инструмента.
2. Обдув чистым воздухом места производства ремонтных и др. работ.
3. Исключение попадания в машины металлических примесей и камней (магнитные уловители и камнеуловители).
4. Для предупреждения искр от ударов подвижных механизмов машин о неподвижные:
 1. тщательная регулировка и балансировка валов;
 2. проверка зазоров между этими механизмами;

					Социальная ответственность	Лист
						68
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3. недопущение перегрузки машин.
5. Применять искробезопасные вентиляторы для транспортировки паро- и газоздушных смесей, пылей и твердых горючих материалов.
6. В помещениях получения и хранения ацетилена, этилена и т.п. полы выполнять из неискрящего материала или застилать их резиновыми ковриками.

Образующиеся при дуговой сварке расплавленный металл имеет высокую температуру, в случае попадания на кожу брызг, искр, шлака и раскаленного металла возможны сильные ожоги. Для предотвращения ожогов при сварке, попадания искр и капель расплавленного металла, необходимо применять спец одежду: специальный брезентовый костюм сварщика, имеющий соответствующую маркировку «Тр»; рукавицы брезентовые или кожаные типа «Е» с защитными свойствами «Тр»; кожаные ботинки с маркировкой «Тр»; защитные очки, маски; предохранительный пояс.

5.2.1 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

На случай чрезвычайных ситуаций (военное положение, применение оружия массового поражения, вооруженные конфликты, экономическое, политическое, научно-техническое противостояние, а также бедствия природного либо техногенного характера) на предприятии необходим отдел по гражданской обороне и чрезвычайным ситуациям. Данный отдел является самостоятельным функциональным структурным подразделением системы организации и обеспечения безопасности производства и защиты обслуживающего его персонала в чрезвычайных ситуациях мирного и военного времени.

Отдел в своей деятельности руководствуется: законами Российской Федерации, Постановлениями Правительства Российской Федерации, приказам и распоряжениями МЧС Российской Федераций, уставом, положениями и приказами предприятия.

Основными функциями отдела являются:

					Социальная ответственность	Лист
						69
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- анализ, прогнозирование и оценка возможных последствий при возникновении радиационной аварии на объекты, персонал и территорию промплощадки, санитарно - защитной зоны, зоны наблюдения и разработка мероприятий по их защите;

- организация и проведение под руководством комиссии по чрезвычайным ситуациям предприятия спасательных и других неотложных работ в зонах чрезвычайных ситуаций с привлечением для этих целей гражданских организаций гражданской обороны предприятия, сил и средств ГО и ЧС областного и городского уровня в соответствии с планом взаимодействия;

- подготовка, организация и проведение под руководством КЧСО комплексных, командно-штабных учений и тренировок в соответствии с планом общих мероприятий по ГО и ЧС предприятия;

- организация накопления, хранения и поддержания в готовности индивидуальных и коллективных средств защиты, специального имущества и материалов гражданской обороны;

- организация, совершенствование и поддержание в постоянной готовности локальных и объектовых систем оповещения, систем управления и связи;

- организация обучения и подготовки руководящего и командно-начальствующего состава, рабочих и служащих к действиям при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций в мирное и военное время.

- организация своевременного оповещения и сбора руководящего и командно-начальствующего состава, персонала и населения при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций в мирное и военное время;

- организация и контроль за проведением эвакуационных мероприятий при возникновении чрезвычайных ситуаций в мирное и военное время;

- разработка, планирование и контроль за выполнением мероприятий по мобилизационной подготовке предприятия и др.

					Социальная ответственность	Лист
						70
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

5.3.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.3.1.1 Специальные:

1. Ведение учета времени фактической занятости во вредных условиях труда (включая время подготовки).

2. Если фактическая занятость работника более 80% - ему положена льготная пенсия.

3. При работах во вредных условиях труда у работника должна быть 36 часовая рабочая неделя в соответствии со статьей 92 Трудового кодекса Российской Федерации.

4. Доплаты за вредность не менее 4 процентов тарифной ставки (оклада), установленной для различных видов работ с нормальными условиями труда.

5. Дополнительный отпуск в количестве 7 дней в год (пропорционально отработанному во вредных условиях труда времени)

6. Дополнительный тариф в фонде социального страхования и пенсионном фонде. Даже при непроизведенной специальной оценке условий труда, дополнительный тариф остается (около 6%).

5.3.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Научная организация труда на предприятии есть совокупность организационных, технологических и санитарно-гигиенических мероприятий, обеспечивающих наиболее целесообразное использование рабочего времени, производственных навыков и творческих способностей каждого члена коллектива, способствующих устранению тяжелого ручного труда, неблагоприятных воздействий окружающей среды на организм работающего, снижение травматизма. Правильная организация рабочего места сварщика способствует не только повышению производительности труда и качества сварки, но и обеспечению безопасных условий работы, снижению травматизма и несчастных случаев.

В зависимости от габаритов свариваемых изделий и характера производства рабочее место сварщика может быть расположено либо в специальной кабине, либо в цехе или непосредственно на сборочном объекте.

					Социальная ответственность	Лист
						71
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Размеры кабины должны быть не менее 2x2 м². Стены кабины делают высотой 1,8-2 м. Для лучшей вентиляции между полом к нижнему обрезу стенки оставляют просвет 150-200 мм. В качестве материала для стен кабины можно использовать тонкое железо, а также фанеру, брезент, прочитанные огнестойким составом, или другие огнестойкие материалы. Каркас кабины делают из металлических труб или уголковой стали. Дверной проем кабины обычно закрывают брезентовым занавесом, укрепленным на кольцах.

Как указывалось, выше, для окраски стен кабины рекомендуется применять цинковые белила, желтый крон, титановые белила, которые хорошо поглощают ультрафиолетовые лучи. Окраска сварочных цехов и кабин в темные цвета не рекомендуется, так как при этом ухудшается общая освещенность места сварки. В тех случаях, когда сварочные работы приходится выполнять на открытых участках цеха, места сварки со всех сторон надо огораживать щитами или ширмами. Наружные стороны таких оградительных устройств рекомендуется окрашивать в ярком цвете (лучше в виде «зебры»), чтобы они лучше просматривались. Чтобы предупредить посторонних лиц об опасности, на таких щитах надо делать крупными буквами надписи: «Осторожно, идет сварка»!

В организации сварочных работ важное значение имеет правильное размещение оборудования. Многопостовые агрегаты и установки, состоящие из нескольких сварочных агрегатов, располагают в отдельном помещении или на площади общего производственного помещения, огражденной постоянными перегородками высотой не менее 1,7 м. Сварочные преобразователи при работу создают шум, оказывающий вредное действие на нервную систему человека, вызывая понижение внимания и снижение работоспособности. По этой причине все сварочные преобразователи надо изолировать в помещении цеха или вынести их за пределы производственного помещения, огородив со всех сторон и укрыв от атмосферных осадков.

В стационарных многопостовых сварочных установках присоединение сварочных постов к электросварочному агрегату осуществляют через общий

					Социальная ответственность	Лист
						72
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

щит, на котором должны находиться необходимые измерительные приборы, защитные средства, сигнальные лампочки, рубильники и зажимы для присоединения сварочных постов. При однопостовой сварке должны быть предусмотрены индивидуальные щиты, оборудованные вольтметром и сигнальной лампочкой, указывающей сварщику на наличие или отсутствие напряжения в сварочной цепи.

Проходы между многопостовыми сварочными агрегатами и между установками автоматической сварки должны быть не менее 1,5 м; проходы между однопостовыми сварочными трансформаторами или между сварочными генераторами, а также проходы с каждой стороны стеллажа или стола для выполнения ручных сварочных работ - не менее 1 м. Расстояние между стационарным сварочным агрегатом и стеной или колонной должно составлять не менее 0,5 м, а расстояние между стеной или колонной и сварочным автоматом - не менее 1 м. Проходы между машинами точечной и шовной (роликовой) сварки с расположением рабочих мест напротив друг друга должны быть не менее 2 м, а между машинами стыковой сварки — не менее 3 м. При расположении перечисленных выше машин тыльными сторонами друг к другу ширина проходов должна быть не менее 1 м, а при расположении передними и тыльными сторонами друг к другу - не менее 1,5 м.

					Социальная ответственность	Лист
						73
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В магистерской диссертации были рассмотрены технические возможности сварки магистральных трубопроводов с применением импульсного питания в среде защитных газов.

Построены модели напряженно-деформированного состояния магистрального трубопровода со сварным швом, сваренным дуговой сваркой в CO_2 , с обычной разделкой и со сварным швом, с щелевой разделкой, сваренным с применением импульсного питания в CO_2 .

По результатам моделирования видно, что напряжения в сварных соединениях, полученных методом сварки с импульсным питанием в щелевую разделку в среде защитных газов меньше, чем при обычной сварке в среде CO_2 . При растяжении – на 6%; при сжатии – на 6,1%.

Дополнительно в работе смоделировано нагружение участка магистрального трубопровода на изгиб с обоими вариантами разделки сварных кромок. По результатам видно, что напряжения в сечении сварного соединения меняются в пределах 1%. Следовательно, при изгибающих нагрузках сварка с применением импульсного питания в среде CO_2 в щелевую разделку, ничем не уступает сварке в среде CO_2 с обычной разделкой кромок.

Рассчитаны число проходов, объем наплавки и скорость сварки для стыковых соединений труб $\text{Ø}1220$ мм и толщиной стенки 16 мм, дуговой сваркой в CO_2 и сваркой с применением импульсного питания в CO_2 . По результатам расчета видно, что использование импульсного питания позволяет делать объем наплавки и число проходов меньше и, соответственно, снизить расход сварочной

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Применение импульсного питания для сварки магистральных трубопроводов			
Разраб.		Машлыкин Н.А.			Заключение	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Веревкин А.В.					74	98
Консульт.						НИ ТПУ гр. 2БМ6А		
Рук-ль ООП		Бурков П.В.						

проволоки на 24%. Так же уменьшается время, затраченное на создание сварного соединения на 39%.

Проанализировав результаты моделирования и расчетов можно с уверенностью сказать, что сварка в щелевую разделку с применением импульсного питания выгоднее не только с точки зрения прочностных показателей сварного соединения, но и экономически.

					Заключение	Лист
						75
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Арзамасов Б.Н. Конструкционные материалы. - М.: Машиностроение, 1990. – 688 с.
2. Журавлёв В.Н. Николаева О.И. Машиностроительные стали: Справочник. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1992. - 480 с
3. Акулов А.И., Бельчук Г.А., Деменцевич В.П. Технология и оборудование сварки плавлением. М.: Машиностроение, 1977. 432 с.
4. Грачева К.А. Экономика, организация и планирование сварочного производства: Учебное пособие. - М.: Машиностроение, 1984. 368 с.
5. РД 51-31323949-38-98 Руководящий документ по технологии сварки технологических трубопроводов КС из теплоустойчивых и высоколегированных сталей.
6. А.с. 100898 СССР 450109/К-578 Способ сварки тонколистовой стали электрической дугой М.П. Зайцев
7. Д.А.Дудко, В.С.Сидорук, С.А. Зацерковный Технология ручной дуговой сварки покрытыми электродами с модуляцией параметров режима.— Автоматическая сварка, 1991. №12
8. Т.Г. Шигаев О терминологии сварки модулированным током - Автоматическая сварка,
9. В.Н. Липодаев, В.В. Снисарь, В.П. Елагин, В.С. Сидорук, Влияние модуляции сварочного тока на структуру и трещиностойкость швов - Автоматическая сварка, 1991. №2
10. Д.А. Дудко, В.С. Сидорук, С.А. Зацерковный Влияние параметров режима ручной дуговой сварки модулированным током на форму шва - Автоматическая сварка, 1987. №6

					Применение импульсного питания для сварки магистральных трубопроводов			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Машлыкин Н.А.			Список используемых источников	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Веревкин А.В.					76	98
Консульт.						НИ ТПУ гр. 2БМ6А		
Рук-ль ООП		Бурков П.В.						

11. Д.А. Дудко, В.С. Сидорук, С.А. Зацерковный. Зависимость химического состава металла шва от параметров режима ручной дуговой сварки модулированным током - Автоматическая сварка, 1989. №2
12. А.с. 619307 Устройство для модуляции тока сварочного генератора Князьков А.Ф. Сараев Ю.Н.
13. А.с.727361 Устройство для ручной дуговой сварки модулированным током: Князьков АФ, Сараев ЮН, Шиков ВП.
14. А.С. 904934 Способ ручной дуговой сваркой модулированным током: Князьков А.Ф., Мазель ЛГ, Дедюх РИ.
15. А.С. 1131618 Способ сварки модулированным током: Дедюх Р.И., Мазель Л.Г, Азаров Н.А.
16. А.С. 951810 Способ дуговой сварки плавящимся электродом: Сараев Ю.Н., Князьков А.Ф., Тимошенко.
17. Князьков А.Ф. Разработка и исследование модуляторов тока для сварки: Автореф. дис. канд. наук. - Томск 1975.
18. А.С. Р327012 Устройство для ручной дуговой сварки. Лебедев ВК, Заруба И.И., Шойковский Д.А.
19. А.С. 206777 Устройство для регулирования сварочного тока. Оселедько В.Г., Каганский Б.А.
20. Китаев А.М., Китаев Я.А. Справочная книга сварщика - М. Машиностроение 1982-256 с.
21. Прокофьев Ю.С. Экономическая оценка инвестиций. - Т.: ТПУ, 2000.114 с.
22. Винокуров В.А. Сварка в машиностроении. т.3. - М.: Машиностроение, 1979.- 567с.
23. Малышев Б.Д. Сварка и резка в промышленном строительстве, т.2. - М.: Стройиздат, 1989. - 400 с.
24. Долин П.А. Основы техники безопасности в электрических установках. - М.:Энергия, 1990.-336 с.

					Список используемых источников	Лист
						77
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

25. Белов С.В. Охрана окружающей среды. - М.: Высшая школа, 1983. - 264 с. 26. Журавлев В.Г. Защита населения и территории в чрезвычайных ситуациях. - М.: Высшая школа, 1990. - 376 с.
26. M. Merklein, M. Geiger., New Materials and Production Technologies for innovative lightweight constructions, J MATER PROCESS TECH 125-126(2002) 532-536.
27. N. Sakundarini, Z. Taha, S. H. Abdul-Rashid, R. A. Raja Ghazila: Optimal multi-material selection for lightweight design of automotive body assembly incorporating recyclability, Materials & Design 50 (2013) 846-857.
- 28.V. Psyk, D. Risch, B. L. Kinsey, A. E. Tekkaya, M. Kleiner, Electromagnetic forming - A review, J MATER PROCESS TECH 211 (2011) 787-829.
29. I. V. Belyy, S. M. Fertik, L. T. Khimenko, Electromagnetic Metal Forming Handbook. An English translation of the book: Spravochnik po Magnitno-impul'snoy Obrabotke Metallov. Translated by Altynova M.M., Material Science and Engineering Department., Ohio State University (1996).
30. M. Watanabe, S. Kumai, T. Aizawa, Interfacial microstructure of magnetic pressure seam welded Al-Fe, Al-Ni, and Al-Cu lap joints. Mat. Science Forum, 519-521 (2006) 1145-1150.
31. V. Psyk, T. Lieber, P. Kurka, W.-G. Drossel, Electromagnetic joining of hybrid tubes for hydroforming, Procedia CIRP 23 (2014) 1-6.
32. T. Aizawa, M. Kashani, Magnetic Pulse Welding (MPW) Method for Dissimilar Sheet Metal Joints. 57th Ann. Assembly of the Int. Institute of Welding (IIW) Osaka, 2004.
33. J.-P. Cuq-Lelandais, G. Avriilaud, S. Ferreira, G. Mazars, A. Nottebaert, G. Teilla, V. Shribman, 3D Impacts Modeling of the Magnetic Pulse Welding Process and Comparison to Experimental Data, 7th International Conference on High Speed Forming, Dortmund, 2016, pp. 13-22.
34. G. Gobel, E. Beyer, J. Kaspar, B. Brenner, Dissimilar Metal Joining: Macro- and Microscopic Effects of MPW, 5th International Conference on High Speed Forming, Dortmund, 2012, 179-188.

					Список используемых источников	Лист
						78
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

35. Y. Zhang, S. Babu, G. S. Daehn, Impact welding in a Variety of Geometric Configurations, 4th International Conference on High Speed Forming, Ohio, 2010, 97-107.

36. V. Psyk, C. Scheffler, M. Linnemann, D. Landgrebe, Manufacturing of hybrid aluminum copper joints by electromagnetic pulse welding- an analysis of important process parameters. 20th International ESAFORM Conference on Material Forming, 26th - 28th April 2017, Dublin.

					Список используемых источников	Лист
						79
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ПРИЛОЖЕНИЕ А
Foreign experience

«Process analysis for magnetic pulse welding of similar and dissimilar material sheet metal joints»

1. Motivation

Rising awareness of responsibility for environmental protection and saving of energy and resources in society and politics which is fixed in national and international laws and agreements as e.g. the Agenda 2030, increasingly influences industrial manufacturing. This manifests e.g. via the increasing demand for lightweight construction

Approaches. For many years multi-material design has been a well-known strategy that allows weight savings, higher product performance and cost reduction at the same time [26], [27], but the realization of optimized multi-material products is frequently limited by the joining technology. Conventional (thermal) techniques reach their limits when it comes to joining of material combinations featuring significantly different melting temperatures or tending to form brittle intermetallic phases such as aluminum and stainless steel or copper and aluminum.

2. Fundamentals of magnetic pulse welding

Magnetic pulse welding (MPW) is an innovative technology for producing metallic bonds of similar and dissimilar metals. The setup of the process, which is based on the electromagnetic forming technique, consists of the inductor (i.e. the tool), the pulsed power generator (i.e. the machine), the flyer (i.e. the accelerated joining partner), the target (i.e. the static joining partner) and additional elements ensuring that flyer and target are positioned with a defined small gap g_{initial} in-between them (see Figure 1a). As explained in [28] discharging the capacitor of the pulsed power generator via the inductor generates a time-dependent current $I(t)$ in the inductor and a corresponding electromagnetic field. This induces a second current in the flyer. The interactions of the currents and the magnetic field result in Lorentz forces, which accelerate the flyer to velocities of up to some hundred meters per second towards the target and make the two joining partners collide with each other as shown in Figure 1b. The initial gap between flyer and target, which is indispensable for the process, significantly influences both, the available space for accelerating the flyer and thus the

achievable impact velocity and the impact angle of flyer and target. If these parameters are suitable, a metallic bond is formed without largely heating the parts. Thus, temperature induced problems of conventional welding such as heat distortion, forming of intermetallic phases and thermal softening are avoided and high-quality joints can be achieved. The process requires no additives and shielding gases, it is flexible, shows good reproducibility and high automation potential [29]. Feasibility was proved for multi-material welds as e.g. aluminum and iron, nickel and copper [30], aluminum and steel [31], or aluminum and titanium [32]. This shows high freedom regarding material combinations, but it must be considered that the process principle requires high electrical conductivity of the flyer.

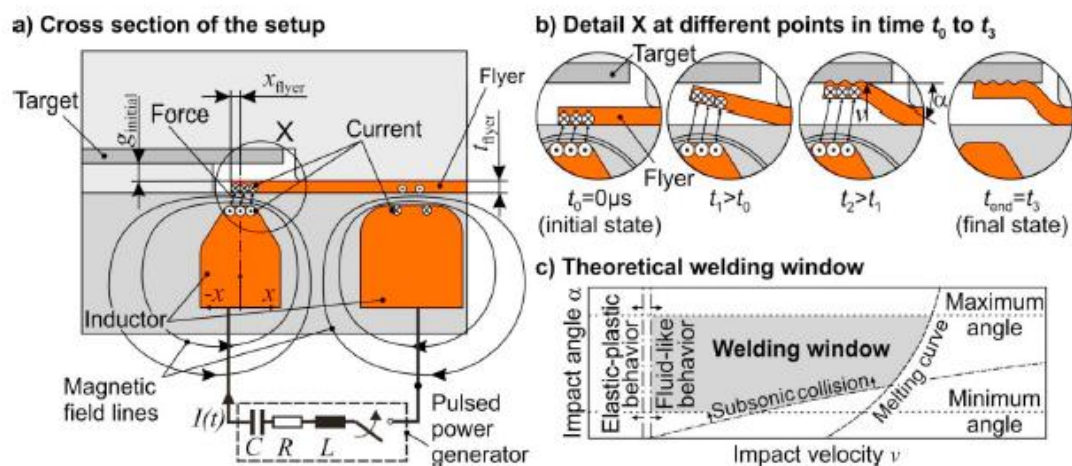


Figure 1. (a) Cross section of the setup; (b) Forming states; (c) Theoretical welding window according to [33]

In literature, collision parameter based welding windows are suggested as a process design tool for MPW. They indicate if welding results for a specific constellation of impact angle and impact velocity (see Figure 1c). Such welding windows are well-known from explosive cladding, another but with regard to safety issues much more critical impact welding technology, but direct transfer of the process windows quantified for explosive cladding to

MPW is not possible [34]. Nevertheless, collision parameter based welding windows can be a powerful tool in the design of MPW processes, too, because they are independent from the individual equipment or setup. Thus, efforts have been made to

quantify welding windows for MPW [35], [36]. However, their use in practice is complicated, because collision parameters cannot be directly adjusted and moreover welding windows only differentiate between collision parameters that are not expected to lead to welding and those that are expected to lead to welding without giving detailed information about the resulting weld quality.

3. Procedure of the joining process analysis

Therefore, a process analysis of MPW of sheet metal lap joints was performed studying the correlations between the most important adjustable process parameters, the collision parameters and important weld quality characterizing parameters for different material combinations and flyer thicknesses t_{flyer} . Precisely MPW of aluminum (EN AW- 1050) flyers to copper (Cu-DHP) targets and stainless steel (1.4307) targets as well as MPW of copper (Cu-DHP) flyers to aluminum (EN AW- 1050) targets and copper (Cu-DHP) targets was considered. Regarding the adjustable process parameters the capacitor charging energy of the pulsed power generator E , the initial gap width between flyer and target g_{initial} and the overlap of flyer and inductor quantified via the position of the flyer edge in relation to the center of the coil x_{flyer} (see Figure 1) were considered. Collision parameters were quantified as impact velocity v and impact angle α . Weld quality was evaluated via the transferable force under lap shear loading, the width of the weld seam and, as the regarded material combinations are of special interest for applications related to current or heat conduction, the electrical resistance of the weld. The latter one is related to the thermal conductivity via the Wiedemann-Franz law, so that measuring heat conductivity is not necessary.

The analysis was performed as a combined numerical and experimental approach. Based on a design of experiments 83 different parameter sets were selected. For all parameter sets three MPW experiments and a three-dimensional coupled electromagnetic and structural mechanical simulations were performed. The model was set up in LS-DYNA due to the sophisticated FEM-BEM electromagnetic solver which is well suited for problems featuring large deformations of parts from the EM domain and for the coupling to the mechanical domain. More detailed information

about the modelling especially considering e.g. discretization or choice of the timestep is given in [37]. Current courses, measured during MPW tests served as input data for defining the acting loads in the simulation. Material modelling was based on material characterization via quasistatic and high-speed tensile tests and electrical conductivity measurement. Important results of this characterization are summarized in Table 1. An exemplary comparison of the cross section geometry in the welding zone determined via numerical simulation and resulting from the experiment is illustrated in Figure 2 together with the measured course of the inductor current. The good agreement of the shapes serves as verification of the simulation.

Table 1: Average characteristics measured for the different materials considered in the study

Material	Quasistatic tensile tests (strain rate 0.0003/s)		High-speed tensile tests (strain rate 250/s)		Electrical conductivity
	Yield stress	Tensile strength	Yield stress	Tensile strength	
EN AW-1050	120 MPa	125 MPa	140 MPa	160 MPa	36.5 MS/m
Cu-DHP	218 MPa	300 MPa	246 MPa	377 MPa	52.6 MS/m
1.4307	275 MPa	700 MPa	450 MPa	730 MPa	1.4 MS/m

As a result of the numerical simulation the collision parameters impact angle and impact velocity are determined, because these parameters are difficult to be measured during MPW tests. Unlike in case of explosive cladding, these values vary along the impacting position in case of MPW [38], [39]. However, to allow a statistical analysis of the influences, one characteristic value for the impact velocity and angle is required. In this study the focus was put on collision parameters at a distance of 2 mm from the flyer edge, because in nearly all cases for which welding was achieved, this position was in the welded area.

The weld characterizing parameters were quantified experimentally. For this purpose three specimens were prepared from a hybrid sheet, which were used for electrical resistance measurement and for lap shear tests.

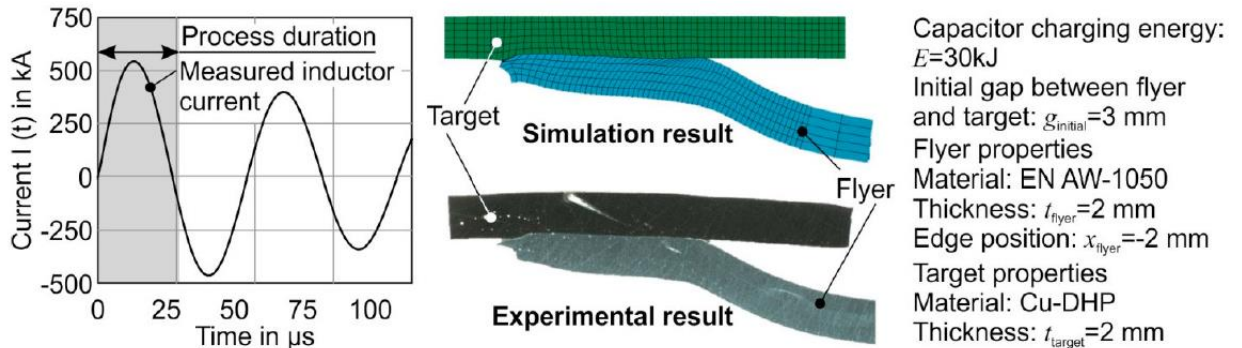


Figure 2. Exemplary measured inductor current and numerically and experimentally determined welded cross section geometries

The specimen geometry was based on the shape of the tensile specimens used for material characterization. Remaining material between the individual specimens was used to prepare micrographs for quantifying the welded areas. Resistance measurement was done perpendicular to the joining zone by imposing a defined current I , measuring the corresponding voltage drop U and calculating the resistance R based on Ohm's law. Reference measurements performed on clamped connections with an overlap of 4 mm and a surface pressure of 75 MPa led to the following values $\xi_{cI_{\text{amped}}}$: 1.5 p Q for Cu-DHP combined with EN AW-1050, 0.5 p Q for Cu-DHP combined with Cu-DHP and 3.3 p Q for EN AW-1050 combined with 1.4307. These resistances were assumed for non-welded specimens, so that also parameter sets not leading to welding can be considered in the statistical analysis of the influences. Evaluating the ratio of the resistances of magnetic pulse welded sheets and the reference values R/R_{clamped} allows a reasonable comparison of all specimens despite of the different conductivities of the base materials.

For lap shear tests the specimens were loaded with a quasistatic tensile force in a conventional testing machine. Force-displacement-curves were measured and the maximum transferable force F was quantified. In case of non-welded specimens a transferable force of 0 N was used for the statistical analysis. In case of high weld

quality, failure of the specimen occurs in the base material. In these cases the maximum transferable force depends on the strength and thickness of the base materials. To allow reasonable comparison of MPW tests with different materials and flyer thicknesses, the maximum transferable force of the hybrid sheet was related to the maximum transferable force of the weaker base material F_{base} , which was determined via conventional tensile tests.

The resulting weld width was measured from the prepared micrographs. Typically the welded area starts at a short distance from the flyer edge and is characterized by a more or less distinctive wavy shape. In case of non-welded specimens a weld width of 0 mm was used for the statistical analysis.

4. Correlations between adjustable process parameters, collision parameters and weld quality

Figure 3 summarizes the correlations between the considered adjustable process parameters and the resulting collision parameters as predicted response graphs determined using the Cornerstone software. These graphs show the effects of each of the influencing parameters on the impacting conditions assuming that all other primary parameters are fixed to the pre-selected values. For other combinations of pre-selected values the height and the slope of the curves can vary, but general trends and influences are similar. Similarly, the influences of the adjustable process parameters on the weld quality characterizing parameters are shown in Figure 4.

Figure 3 clearly shows that the forming velocity tends to be higher for aluminum flyers than for copper flyers. This effect can be attributed to the lower mass of the aluminum flyers, which facilitates acceleration. This is also the reason, why the velocity decreases with increasing flyer thickness. These trends can be compensated by adjusting the other process parameters. Increasing the capacitor charging energy directly increases the currents and the magnetic fields leading to higher forces and velocity. Regarding the initial gap and the x-position of the flyer edge there is an optimum value in the range of 2.5 mm for the initial gap and in the range of -1 mm to -2 mm for the x-position for which highest velocity can be achieved. Target materials seem to have no significant influence on the impact velocity.

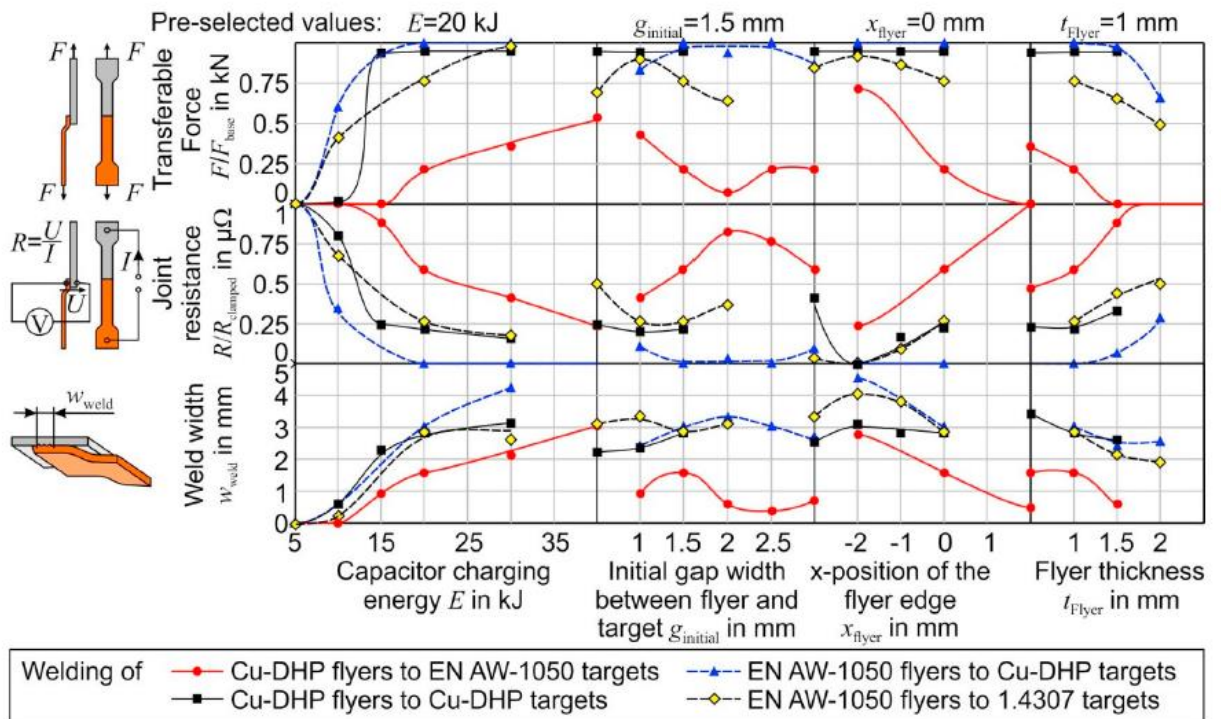


Figure 3. Influence of the adjustable process parameters on the collision parameters

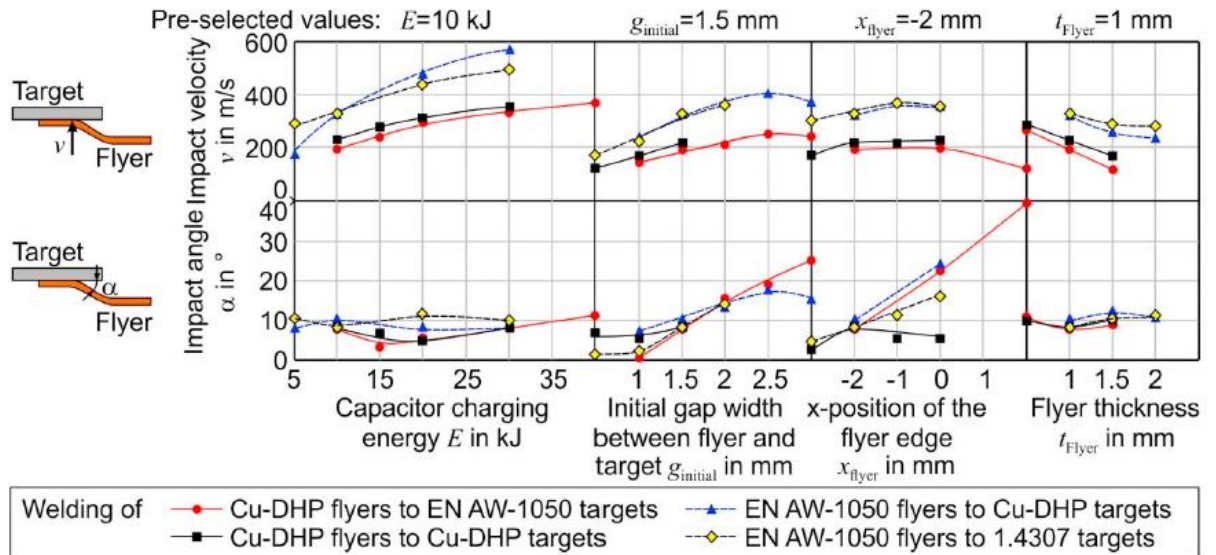


Figure 4. Influence of the adjustable process parameters on the weld quality characterizing parameters

The impact angle is mainly influenced by the geometrical parameters initial gap between flyer and target and x- position of the flyer edge, while the capacitor charging energy, the flyer thickness and the materials of flyer and target seem to be less important. Increasing the gap as well as the x-position of the target edge increases the impact angle, but the influence of the flyer edge position tends to be smaller especially if small gap widths are considered as in the analysis of welding aluminum flyers to stainless steel targets and copper flyers to copper targets.

Figure 4 shows that general trends regarding high weld quality are the same for all considered quality criteria, i.e. high transferable force, low electrical resistance and high weld width, proving that there is no conflict of interest. They are also the same for all material combinations although they can be more or less distinctive.

Acceptable weld quality requires a material combination dependent minimum capacitor charging energy, but increasing this parameter beyond this threshold leads to minor and finally no further improvement. Weld quality can also benefit from optimum initial gap width and flyer edge position. The diagrams suggest that the optimum value of the gap depends on the specific material combination and there might even be two local optima instead of a single and very clear one. The reason is probably that the gap significantly influences both, the impact velocity and angle, which can influence the

weld quality in opposite directions. Contrary, the influence of the flyer edge position on the impact angle is dominant compared to its influence on the impact velocity, so that here a clear ideal value of -2 mm is identified. Finally, the curves clearly prove that achieving high weld quality is easier for small flyer thickness.

5. Summary and Conclusion

A detailed analysis of MPW of sheet metal lap joints was carried out. Specifically, the influences of important adjustable process parameters on the impacting velocity and impacting angle of the joining partners were studied in order to allow a target-oriented process and joint design based on welding windows, which refer to these collision parameters. Additionally, the influences of the adjustable process parameters on weld quality characterizing parameters were analyzed. It can be concluded that although welding windows are a valuable tool for selecting reasonable ranges for the process parameters, detailed knowledge about the specific parameters' influences is indispensable for designing an optimized process.

Acknowledgements

The presented results were achieved within the project JOINing of copper to aluminium by ElectroMagnetic fields - "JOIN'EM". This project is funded by the European Union within the frame of the Horizon 2020 research and innovation program under Grant Agreement No. 677660.