

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

Институт природных ресурсов
 Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»
 профиль «Надежность и долговечность газонефтепроводов и хранилищ»
 Кафедра Транспорта и хранения нефти и газа

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы	
«Исследование механических свойств и микроструктуры сварных швов резервуаров, выполненных механизированными способами сварки»	

УДК 693.814.16

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ4А	Чередник К.В.		19.05.2016

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Веревкин А.В.	к.т.н, доцент		19.05.2016

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Романюк В. Б.	к.э.н, доцент		19.05.2016

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Крепша Н.В.	к.г.-м. н., доцент		19.05.2016

Консультант-лингвист

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Швагрукова Е.В.	к.ф.н, доцент		19.05.2016

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТХНГ	Рудаченко А.В.	к.т.н, доцент		19.05.2016

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

Институт природных ресурсов
 Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»
 профиль «Надежность газонефтепроводов и хранилищ»
 Кафедра Транспорта и хранения нефти и газа

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой

 (Подпись) (Дата) Рудаченко А.В.
 (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ4А	Череднику Кириллу Владимировичу

Тема работы:

«Исследование механических свойств и микроструктуры сварных швов резервуаров, выполненных механизированными способами сварки»

Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 01.03.2016 г. №1697/с
---	--------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:

19.05.2016 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

Резервуар вертикальный стальной объемом 5000 м³
 для хранения нефти и нефтепродуктов;
 Режим работы: циклический;
 Диаметр резервуара: 22,8 м;
 Высота стенки резервуара: 11,94 м;
 Плотность продукта: 900 кг/м³;
 Внутреннее избыточное давление: 2 кПа;
 Вес снегового покрова: 2 кПа;
 Температура наружного воздуха: -40 °С и выше;
 Максимальная температура продукта: плюс 90 °С.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	Исследование влияния скорости сварки на получаемую при этом микроструктуру сварных соединений резервуаров; проведение анализа изменения их механических свойств с целью уменьшения вероятности возникновения аварийных ситуаций при проектировании и эксплуатации резервуара.
--	--

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	
--	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>

Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Романюк Вера Борисовна
«Социальная ответственность при сооружении резервуара»	Крепша Нина Владимировна
«Tank welding and welding types»	Швагрукова Екатерина Васильевна

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:
--

1. Организационные, вспомогательные и основные мероприятия по сооружению резервуара вертикального стального объемом 5000 м ³ ;
2. Материал и оценка свариваемости;
3. Механизированная сварка;
4. Расчет режима сварки;
5. Выбор оборудования для производства процесса сварки;
6. Технология сварки резервуара;
7. Исследование механических свойств и микроструктуры сварных швов;
8. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение;
9. Социальная ответственность при сооружении резервуара;
Tank welding and welding types.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	16.03.2016г
--	-------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Веревкин Алексей Валерьевич	к.т.н, доцент		16.03.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ4А	Чередник Кирилл Владимирович		16.03.2016

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

Институт природных ресурсов

Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»

профиль «Надежность газонефтепроводов и хранилищ»

Уровень образования: магистратура

Кафедра Транспорта и хранения нефти и газа

Период выполнения _____ осенний / весенний семестр 2015/2016 учебного года

Форма представления работы:

магистерская диссертация

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	19.05.2016 г.
--	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.02.2016	<i>Организационные, вспомогательные и основные мероприятия по сооружению резервуара</i>	...
10.02.2016	<i>Выбор материала и оценка его свариваемости</i>	...
24.02.2016	<i>Механизированная сварка</i>	
05.03.2016	<i>Расчет режима сварки</i>	
16.03.2016	<i>Сварочное оборудование</i>	
28.03.2016	<i>Технология сварки резервуара</i>	
05.04.2016	<i>Исследование механических свойств и микроструктуры сварных швов</i>	
26.04.2016	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	
07.05.2016	<i>Социальная ответственность при сооружении резервуара</i>	
14.05.2016	<i>Заключение</i>	
19.05.2016	<i>Презентация</i>	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Веровкин А.В.	к.т.н, доцент		21.02.2016

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТХНГ	Рудаченко А.В.	к.т.н, доцент		01.03.2016

Реферат

Выпускная квалификационная работа: 111 с., 38 рис., 26 табл., 64 источника, 1 прил.

Ключевые слова: сооружение, резервуар, свариваемость, оборудование, сварка, разделка кромок, расчет режима сварки, стенка, пояс, днище, исследование, механические свойства, микроструктура, охрана труда.

Объектом исследования является резервуар вертикальный стальной объемом 5000 м³.

Цель работы – исследование влияния скорости сварки на получаемую при этом микроструктуру сварных соединений резервуаров и проведение анализа изменения их механических свойств.

В процессе исследования проводились: расчет свариваемости выбранной марки стали, расчет температуры предварительного подогрева, расчет режима сварки; был проведен анализ изменения микроструктуры и механических свойств сварных соединений при различных скоростях сварки. Приведены мероприятия по охране труда и безопасности строительства, охране окружающей среды, приведен технико-экономический расчет.

В результате исследования был выбран наиболее эффективный способ сварки резервуара вертикального стального с применением современного сварочного оборудования. В ходе выполнения работы было выявлено, что применение выбранной технологии сварки имеет ряд преимуществ, главным из которых является увеличение срока эксплуатации резервуара.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: технология и организация выполнения работ, подготовительные работы, монтаж листов днища и стенки резервуара, сварка днища и стенки резервуара, исследование механических свойств сварных швов, анализ микроструктуры сварных соединений, контроль качества сварных швов.

Степень внедрения: резервуары используются практически повсеместно на нефтеперекачивающих станциях, нефтеперерабатывающих заводах, на дожимных насосных станциях и других объектах нефтяной промышленности.

Область применения: резервуары служат для приемки, хранения, отпуска, учета нефти.

Экономическая эффективность работы: затраты на сварку резервуара механизированным способом меньше на 339108 руб., чем при ручной дуговой сварке.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 Организационные, вспомогательные и основные мероприятия по сооружению резервуара вертикального стального объемом 5000 м ³	9
1.1. Организация строительной площадки.....	10
1.2. Технологическая последовательность проведения работ.....	11
2 Материал. Оценка свариваемости.....	12
2.1. Понятие свариваемости.....	12
2.2. Характеристика материала. Сталь 17ГС.....	14
2.3. Расчет свариваемости стали 17ГС.....	15
3 Механизированная сварка.....	17
3.1. Дополнительное оборудование для производства процесса сварки.....	25
3.1.1. Баллоны с защитным газом.....	26
3.1.2. Подогреватель газа.....	27
3.1.3. Газовый редуктор.....	28
3.1.4. Расходомер.....	29
4 Расчет режима сварки.....	31
4.1. Выбор сварочной проволоки.....	31
4.2. Выбор типа разделки кромок сварных соединений.....	32
4.3. Расчет режима сварки для I пояса резервуара.....	35
4.4. Расчет режима сварки для II пояса резервуара.....	39
4.5. Расчет режима сварки для III пояса резервуара.....	41
4.6. Расчет режима сварки для поясов резервуара с IV по VI	43
4.7. Расчет режима сварки для днища резервуара.....	45
5 Выбор оборудования для производства процесса сварки.....	48
5.1. Выбор сварочного полуавтомата.....	48
5.2. Дополнительное оборудование для подготовки листов к сварке и сборки стыка	52
6 Технология сварки резервуара.....	55
6.1. Технология сварки стенки резервуара.....	55

6.2. Технология сварки днища резервуара.....	57
6.3. Контроль качества сварных соединений.....	58
7 Исследование механических свойств и микроструктуры сварных швов.....	64
7.1. Металлографические исследования сварных соединений стали 17ГС, полученных с помощью полуавтоматической сварки.....	64
7.2. Исследование механических свойств сварных соединений стали 17ГС, полученных с помощью полуавтоматической сварки.....	68
8 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение....	74
8.1. Расчет расхода сварочных материалов и времени сварки.....	75
8.2. Расчет времени на проведение мероприятия.....	81
8.3. Расчет количества необходимой техники и оборудования.....	82
8.4. Затраты на амортизационные отчисления.....	83
8.5. Затраты на материалы.....	84
8.6. Расчет затрат на оплату труда.....	85
8.7. Затраты на страховые взносы.....	86
8.8. Затраты на проведение мероприятия.....	88
9 Социальная ответственность при сооружении резервуара механизированными способами сварки.....	90
9.1. Профессиональная социальная безопасность.....	90
9.1.1. Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению.....	91
9.1.2. Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению.....	94
9.2. Экологическая безопасность.....	100
9.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	102
9.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	105
Заключение	106
Список использованных источников.....	107
Список публикаций.....	112
Приложение А.....	113

ВВЕДЕНИЕ

Резервуары предназначены для приемки, хранения, отпуска, учета нефти и нефтепродуктов и являются ответственными инженерными конструкциями.

В данной работе рассматривается исследование механических свойств и микроструктуры сварных швов, а также технология сооружения резервуара вертикального стального объемом 5000 м³.

В настоящее время наиболее широко распространенным способом сварки при сооружении резервуаров является полуавтоматическая сварка в среде защитных газов. Преимуществами этого способа сварки являются:

- высокая производительность;
- относительно низкая стоимость затрат на проведение мероприятия;
- уменьшение зоны термического влияния;

При этом имеются следующие недостатки:

- сильное разбрызгивание металла на токах 200 – 400 А;
- большое выделение газа на месте проведения сварочных работ;
- при сильном ветре поток защитного газа может сдуваться, из-за чего ухудшается качество защиты.

Элементы резервуаров в эксплуатационных условиях испытывают значительные изменяющиеся температурные режимы, повышенное давление, вибрацию, неравномерные осадки, коррозию.

Поэтому сооружаемый резервуар должен обладать высокими показателями качества и надежности. В связи с чем, сформулирована цель работы и ее задачи.

Целью данной работы является исследование влияния скорости сварки на получаемую при этом микроструктуру сварных соединений резервуаров, а также проведение анализа изменения их механических свойств.

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.	Чередник К.В.				Введение	Лит.	Лист	Листов
Руковод.	Веревкин А.В.						7	2
Консульт.						НИ ТПУ гр. 2БМ4А		
Зав. Каф.	Рудаченко А.В.							

Для решения поставленных целей необходимо решить следующие задачи:

- провести исследование механических свойств сварных швов и выявить факторы, влияющие на их изменение;
- исследовать микроструктуру свариваемого металла и проанализировать полученные результаты;
- провести оценку свариваемости конструкции.

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ	Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1 Организационные, вспомогательные и основные мероприятия по сооружению резервуара вертикального стального объемом 5000 м³

Технология производства работ по сооружению резервуара определяется проектом производства работ, который разрабатывает специализированная организация по заказу монтажной организации или сама монтажная организация.

В процессе подготовки к производству работ по сооружению резервуара выполняются следующие мероприятия:

- организация надежной связи между подрядчиком;
- комплектация оборудованием и материалами согласно проекту на сооружение резервуара;
- организация устройства временных бытовых и производственных помещений;
- перебазировка машин и механизмов;
- обеспечение персонала необходимым инструментом и вспомогательными материалами;
- организация обеспечения объекта электроэнергией, водой;
- обеспечение зоны производства работ первичными средствами пожаротушения;
- поставка инвентарных металлических лесов и подмостей;
- устройство освещения зоны производства работ и внутренней полости резервуара;
- оформление и выдача подрядчику наряд допуска на производство огневых работ.

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Чередник К.В.				Организационные, вспомогательные и основные мероприятия по сооружению резервуара вертикального стального объемом 5000 м ³	Лит.	Лист
Руковод.		Веревкин А.В.					9	3
Консульт.					НИ ТПУ гр. 2БМ4А			
Зав. Каф.		Рудаченко А.В.						

1.1 Организация строительной площадки

Для подъезда к резервуару предусматривается устройство одного въезда. Ширина въезда – 6,0 м [1].

Для возможности транспортировки материалов и оборудования к резервуару, подъезда техники и монтажа необходимо организовывать строительную площадку в следующем порядке:

- выполнить временные подъезды для транспортировки металлоконструкций и проезда механизмов;
- спланировать и уплотнить площадку возле основания для работы подъемных и других механизмов;
- устроить площадку для установки распределительных щитов подвода электроэнергии для обеспечения работы грузоподъемных механизмов, сварочного оборудования, механизированного инструмента и освещения;
- установить предупредительный знак «Опасно», «Огневые работы»;
- доставить и разместить на подготовленной площадке необходимые материалы, механизмы, приспособления, конструкции.

Перед началом работ по сооружению резервуара, эксплуатирующая организация, обозначает все коммуникации, расположенные в зоне производства работ и сдает их по акту производителю работ. Установку монтажных автомобильных кранов вблизи технологического оборудования производить с учетом конструктивных размеров крана, обеспечивающих безопасность технологического процесса монтажа.

Места пожарных постов, оборудованных пожарным инвентарем для тушения пожара, на рабочем месте оборудуются совместно с эксплуатирующей организацией при проведении подготовительных работ.

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ	Лист
						10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1.2 Технологическая последовательность проведения работ

Технологическая последовательность проведения работ имеет следующий вид:

- устройство проезда для строительно-монтажной техники к резервуару;
- устройство площадки для резки монтируемых листов;
- подготовка площадок складирования;
- устройство распределительных щитов и временной электропроводки для обеспечения работы сварочных агрегатов и другого электрооборудования;
- устройство площадки для загибания листов и их предварительного подогрева;
- подготовка площадки для днища резервуара;
- монтаж днища резервуара;
- монтаж стенки резервуара;
- гидроиспытание;
- наружное и внутреннее антикоррозионное покрытие поверхностей РВС;
- выполнение наружной и внутренней покраски.

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ	Лист
						11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2 Материал. Оценка свариваемости

2.1 Понятие свариваемости

Свариваемость – это способность стали определенного химического состава давать при сварке тем или иным способом высококачественное сварное соединение без трещин, пор и прочих дефектов.

Существуют понятия физической и технологической свариваемости.

Физическая свариваемость характеризует способность материалов образовывать монолитное неразъемное соединение с установлением в нем химических связей. Способность металлов свариваться является важной характеристикой, которая определяет принципиальную возможность образования сварного соединения.

Физической свариваемостью практически обладают все однородные металлы и большинство их сочетаний. Однако данная характеристика не в полной мере определяет возможность получения качественного и экономичного соединения, обладающего необходимыми свойствами, определяющими работоспособность изделия в определенных условиях эксплуатации. Достижение этих свойств во многом зависит от выбора способа сварки. Поэтому вводится понятие технологической свариваемости металлов, определяющей их реакцию на воздействие конкретных условий сварки и способность при этом образовывать соединение с требуемыми свойствами.

Технологическая свариваемость – это характеристика металла, определяющая его реакцию на воздействие сварки и способность образовывать сварное соединение с заданными эксплуатационными свойствами.

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ						
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							
Разраб.	Чередник К.В.				Материал. Оценка свариваемости			Лит.	Лист	Листов	
Руковод.	Веревкин А.В.								12	5	
Консульт.								НИ ТПУ гр. 2БМ4А			
Зав. Каф.	Рудаченко А.В.										

Технологическая свариваемость металлов и их сплавов зависит от следующих свойств металла:

- химическая активность металлов;
- степень легирования;
- структура и содержание примесей.

Чем металл химически активнее, тем выше его вероятность взаимодействия с окружающей средой (окисление). Следовательно, должно быть обеспечено высокое качество защиты и возможность металлургической обработки при сварке.

От химического состава стали зависит ее структура и физические свойства, которые могут изменяться под влиянием нагрева и охлаждения металла при сварке [2].

При оценке свариваемости роль химического состава стали является превалирующей. По этому показателю проводят оценку свариваемости.

По признаку свариваемости все стали условно делятся на 4 группы:

1. Хорошо сваривающиеся, у которых эквивалентное содержание углерода ($C_{\text{ЭКВ}}$) не превышает 0,25. Эти стали не дают трещин при сварке обычным способом, т. е. без предварительного и сопутствующего подогрева и последующей термообработки;

2. Удовлетворительно сваривающиеся, у которых $C_{\text{ЭКВ}}$ находится в пределах 0,25—0,35; они допускают сварку без появления трещин, только в нормальных производственных условиях, т. е. при окружающей температуре выше 0°C, отсутствии ветра и пр. К этой же группе относят стали, нуждающиеся в предварительном подогреве или последующей термообработке для предупреждения образования трещин при сварке в условиях, отличающихся от нормальных (температура ниже 0° С, ветер и др);

3. Ограниченно сваривающиеся, у которых $C_{\text{ЭКВ}}$ находится в пределах 0,35—0,45; они склонны к образованию трещин при сварке в обычных условиях. При сварке таких сталей необходима предварительная

термообработка и подогрев. Большинство сталей этой группы подвергают термообработке и после сварки;

4. Плохо сваривающиеся, у которых $C_{э\text{кв}}$ выше 0,45; такие стали склонны к образованию трещин при сварке [3].

2.2 Характеристика материала. Сталь 17ГС

Для сварки резервуара вертикального стального объемом 5000 м³ применяются листы, изготовленные из материала: сталь 17ГС, поставляемая по ГОСТ 19282 – 73 [4].

Сталь 17ГС применяется: для изготовления корпусов аппаратов, днищ, емкостного оборудования, фланцев и других сварных деталей, работающих под давлением при температурах от минус 40 °С до плюс 475 °С; деталей и элементов с расчетной температурой среды не выше плюс 350 °С при рабочем давлении менее 2,2 МПа (22 кгс/см²); электросварных прямошовных труб группы прочности К52 для строительства газопроводов, нефтепроводов и нефтепродуктопроводов.

Таблица 1 – Характеристика стали 17ГС

Марка:	Сталь 17ГС. Сталь кремнемарганцовистая
Заменитель:	Сталь 16ГС
Классификация:	Сталь конструкционная низколегированная для сварных конструкций

Таблица 2 – Химический состав стали 17ГС (в процентах)

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu	As
0,14–0,2	0,4–0,6	1–1,4	до 0,3	до 0,04	до 0,035	до 0,3	до 0,008	до 0,3	до 0,08

Таблица 3 – Температура критических точек стали 17ГС

Ac₁	Ac₃	Ar₁	Ar₃	Mn
745	870	680	790	380

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ	Лист
						14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 4 – Механические свойства стали 17ГС [5]

НД	Состояние поставки, режим термообработки	Сечение, мм	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_b , МПа	δ , %	КСУ, кДж/м ²	КСУ, после механического старения, кДж/м ²	Изгиб
ГОСТ 19281 - 89	Листовой и широкополосный прокат в горячекатаном или термически обработанном состоянии	До 5	345	490	23	64 39 ¹ 29 ²	29	d=2a
		От 5 до 10	345	490	23	64 39 ¹ 29 ²	29	d=2a
		От 10 до 20	325	450	23	29 ¹ 29 ² 40 ³ 40 ⁴	29	d=2a

¹ КСУ при минус 40 °С;
² КСУ при минус 70 °С;
³ КСV при 0 °С;
⁴ КСV при минус 20 °С.

2.3 Расчет свариваемости стали 17ГС

Для предварительного суждения о свариваемости стали известного химического состава можно подсчитывать эквивалентное содержание углерода, пользуясь формулой [6]:

$$C_{\text{ЭКВ}} = C_x + C_p, \quad (1)$$

где C_x - химический эквивалент углерода;

C_p - размерный эквивалент углерода.

$$C_x = C + \frac{Mn}{20} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cr + Mo + V}{10}, \quad (2)$$

где C , Mn , Ni , Cr , Mo , V - содержание компонентов в стали, %.

$$C_p = 0,005 \cdot S \cdot C_x, \quad (3)$$

где S – толщина свариваемой детали, мм.

$$C_x = 0,2 + \frac{1,4}{20} + \frac{0,3}{15} + \frac{0,3 + 0 + 0}{10} = 0,32,$$

$$C_p = 0,005 \cdot 12 \cdot 0,32 = 0,02,$$

$$C_{\text{ЭКВ}} = 0,32 + 0,02 = 0,34.$$

Из этого следует, что данный материал относится к классу удовлетворительно сваривающихся ($0,25 > 0,34 > 0,35$). Следовательно, данный вид стали нуждается в предварительной термообработке для предупреждения образования трещин при сварке.

Температура предварительного подогрева рассчитывается по формуле:

$$T = 350 \cdot \sqrt{C_{\text{экв}} - 0,25}, \quad (4)$$

$$T = 350 \cdot \sqrt{0,34 - 0,25} = 105 \text{ (}^{\circ}\text{C)}.$$

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

3 Механизированная сварка

Сварка – это процесс получения неразъемных соединений посредством установления межатомных связей между соединяемыми частями при их нагревании и (или) пластическом деформировании [7].

Образование неразъемного соединения происходит вследствие действия внутренних сил системы. При этом происходит образование связей между атомами металла соединяемых деталей. Для сварных соединений характерно возникновение металлической связи, обусловленной взаимодействием ионов и обобществленных электронов.

Для получения сварного соединения недостаточно простого соприкосновения поверхностей соединяемых деталей. Межатомные связи устанавливаются, когда соединяемые атомы получают дополнительную энергию, которая необходима для преодоления ими энергетического барьера. Эта энергия получила название энергии активации. При сварке ее вводят извне путем нагрева (термическая активация) или пластического деформирования (механическая активация).

Сближение свариваемых частей и приложение энергии активации являются необходимыми условиями для образования неразъемных соединений.

В зависимости от вида активации при выполнении соединений различают два вида сварки:

- сварка плавлением;
- сварка давлением.

При сварке плавлением детали по соединяемым кромкам оплавливают под действием источника нагрева. Оплавленные поверхности кромок образуют жидкую сварочную ванну. При охлаждении сварочной ванны жидкий металл затвердевает и образует сварной шов.

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Чередник К.В.			Механизированная сварка	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Веревкин А.В.					17	14
Консульт.						НИ ТПУ гр. 2БМ4А		
Зав. Каф.		Рудаченко А.В.						

Сварка резервуара объемом 5000 м³ будет производиться механизированным способом сварки в среде защитных газов, так как данный вид сварки для заданного процесса является наиболее качественным и надежным. Кроме того, механизированная сварка в углекислом газе имеет высокую продуктивность, низкую стоимость, высокое качество защиты. При использовании данного вида сварки существенно уменьшается зона термического влияния. Механизированная сварка в углекислом газе позволяет осуществлять сварочные работы под любым углом в пространстве и на весу, эффективнее ручной сварки в 2-3 раза. Механическая сварка, в отличие от автоматической, намного маневреннее и легче, что дает сварщику свободу при перемещении между узлами конструкций. Так же стоит отметить, что у рабочего есть возможность визуально контролировать направление дуги по сварочному шву.

При механизированной сварке используют специальные сварочные аппараты, обеспечивающие подачу сварочной проволоки, перемещение дуги вдоль оси шва при этом выполняется вручную. Такие аппараты получили название полуавтоматов для дуговой сварки.

Общая схема полуавтоматической сварки в среде защитных газов приведена на рисунке 1 [8].

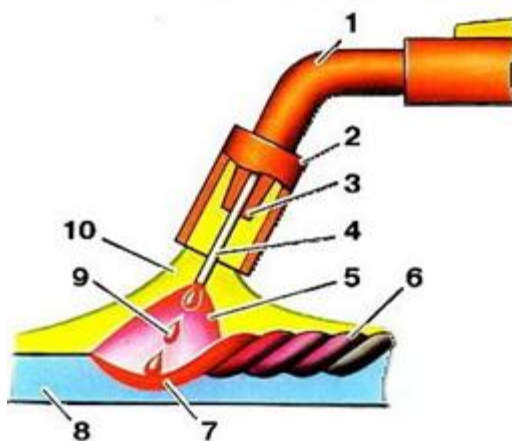


Рисунок 1 – Схема полуавтоматической сварки в среде защитных газов:
1 – горелка, 2 – сопло, 3 – токоподводящий наконечник, 4 – электродная проволока, 5 – сварочная дуга, 6 – сварной шов, 7 – сварочная ванна, 8 – основной металл, 9 – капли электродного металла, 10 – газовая защита

Сварочные полуавтоматы рассчитаны на токи 150 – 600 А; диаметр проволоки составляет от 0,8 до 2,6 мм; скорость подачи: от 1 до 17 м/мин. В состав полуавтоматов обычно включены: подающее устройство для сварочной проволоки, шкаф управления, сварочные горелки, провода, газовая аппаратура.

При механизированной сварке сварочная головка состоит из двух частей: подающего механизма и держателя (при сварке в защитных газах – сварочная горелка), которые соединены гибким шлангом. Поэтому такие аппараты называют шланговыми.

Полуавтоматы сочетают в себе преимущества автоматической сварки и маневренность ручной. Типовая схема полуавтомата приведена на рисунке 2 [9].

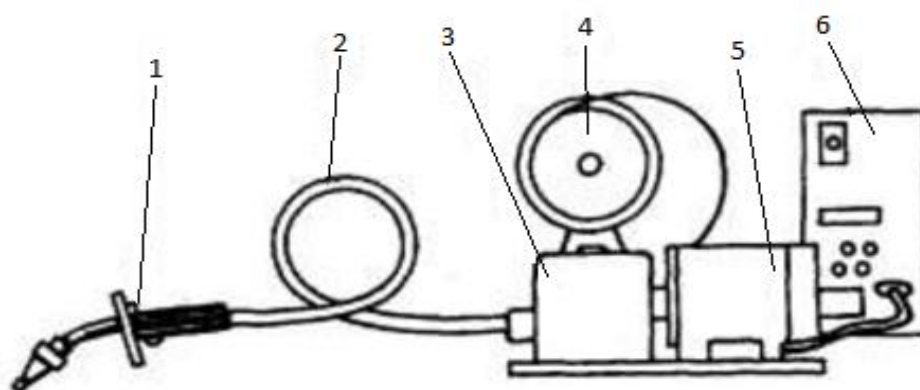


Рисунок 2 – Схема полуавтомата для дуговой сварки:

1 – держатель, 2 - гибкий шланг, 3 – механизм подачи сварочной проволоки, 4 – кассета со сварочной проволокой, 5 – источник питания, 6 – аппаратный шкаф управления

Одним из наиболее ответственных элементов полуавтоматов является механизм подачи проволоки. Он имеет электродвигатель, редуктор и системы подающих и прижимных роликов. Благодаря этому обеспечивается подача сварочной проволоки по гибкому шлангу в зону сварки. В качестве привода могут быть использованы двигатели постоянного или переменного тока. В двигателе постоянного тока скорость подачи изменяется плавным регулированием за счет изменения частоты вращения двигателя. В двигателе переменного тока скорость подачи изменяют ступенчато-сменными шестернями.

Выбор типа подающего механизма во многом зависит от назначения полуавтомата. Если сварка производится проволокой большого диаметра, то механизм подачи располагается на передвижной тележке в отдельном корпусе. Если сварка производится проволокой малого диаметра, то механизм подачи может быть установлен в переносном футляре и расположен непосредственно на корпусе держателя.

Наиболее распространенными являются полуавтоматы толкающего типа. Подача проволоки производится за счет проталкивания ее через гибкий шланг к горелке. Для обеспечения устойчивой подачи необходимо, чтобы сварочная проволока обладала достаточной жесткостью.

В полуавтоматах тянущего типа механизм подачи или его подающие ролики размещены в горелке. В таких полуавтоматах протягивание проволоки происходит через шланг. Благодаря этому обеспечивается устойчивая подача мягкой и тонкой проволоки. Также существуют полуавтоматы, которые работают с двумя синхронно работающими механизмами подачи, которые осуществляют одновременно как проталкивание, так и протягивание проволоки через шланг (тянуще – толкающий тип).

Гибкий шланг служит для подачи сварочной проволоки, сварочного тока, защитного газа, а иногда и охлаждающей воды к горелке. Для этого применяют шланговый провод специальной конструкции (рисунок 3).

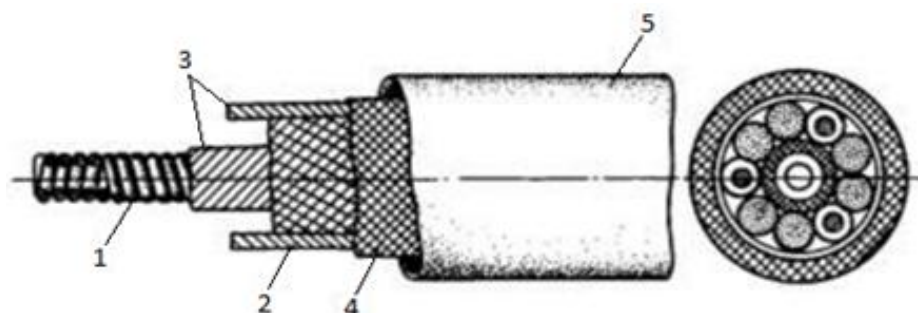


Рисунок 3 – Схема специального шлангового провода:

1 – спираль, 2 – токоведущая часть, 3 – изолированные проводники цепей управления, 4 – хлопчатобумажная оплетка, 5 – резиновая изоляция

Внутри провода располагается спираль, служащая для направления проволоки. Она изолирована от токоведущей части бензостойкой изоляцией.

Вместе с токоподводящей частью помещены изолированные проводники цепей управления. Провод находится в хлопчатобумажной оплетке и покрыт резиновой изоляцией. Существуют и составные шланги, имеющие несколько трубок (для подачи тока, газа и воды).

При сварке плавлением в результате нагрева в околошовной зоне протекают следующие процессы: фазовая перекристаллизация; рост зерна; гомогенизация высокотемпературной фазы и ее превращение при охлаждении.

Фазовая перекристаллизация – это переход перлита и феррита в аустенит. Например, чем выше температура конца превращения перлита и феррита в аустенит, тем мельче начальное зерно аустенита. Если сталь легирована карбидообразующими элементами, то рост зерна аустенита начинается при более высоких температурах. При этом следует сказать, что рост зерна не заканчивается при нагреве, а продолжает расти и при охлаждении, но уже менее интенсивно.

Гомогенизацией называется процесс создания однородной структуры в сплавах в результате ликвидации концентрационных микронеоднородностей, образующихся в сплавах при кристаллизации. Степень гомогенизации аустенита зависит от параметров термического цикла сварки. При ручной дуговой сварке стали небольшой толщины (до 10 мм), несмотря на высокие скорости нагрева, происходит заметный рост зерна аустенита, но степень его гомогенизации мала. При сварке углеродистых и низколегированных сталей, не имеющих в своем составе сильных карбидо-образующих элементов, по причине сильного роста зерна устойчивость аустенита увеличивается.

Таким образом, можно сделать вывод, что при сварке наблюдаются две противоположные тенденции:

- высокая температура околошовной зоны способствует росту зерна и увеличивает устойчивость аустенита;
- быстрый нагрев металла и малое пребывание его при высокой температуре понижают гомогенизацию и уменьшают устойчивость аустенита.

При изучении металла сварного шва различают макро- и микроструктуру. Макро- и микроструктура бывает первичной и вторичной.

Первичная структура образуется непосредственно в процессе затвердевания расплава, вторичная - в результате фазовых (термических) превращений. Сварные швы имеют целый комплекс структур наплавленного металла и металла, который в процессе сварки подвергался нагреву. Рассмотрим различные участки структуры сварного шва (рисунок 4) [10].

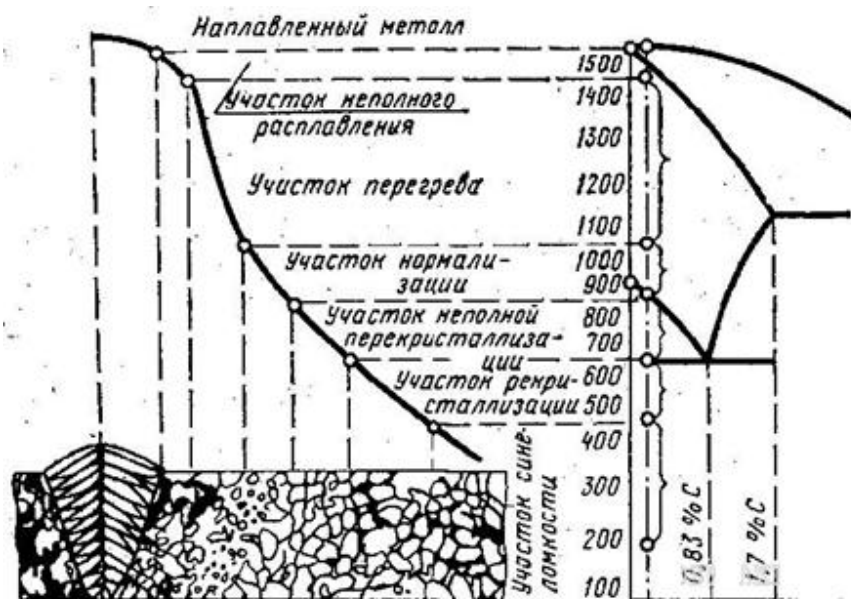


Рисунок 4 – Схема изменения структуры по участкам в однопроходном сварном шве

Участок наплавленного металла (шва) имеет столбчатое строение. Столбчатые кристаллиты от переходной зоны между участком неполного расплавления и наплавленным металлом направлены в глубь шва. Кристаллит состоит из отдельных дендритов, имеющих общую направленность, которые иногда могут иметь и различную разветвленность. В корне шва, ближе к переходной зоне, составляющие столбчатый кристаллит дендриты разветвлены минимально.

На участке неполного расплавления первичная структура характеризуется химической неоднородностью. Вторичная структура этого участка напоминает видманштеттову структуру. Эта зона невелика и для дуговой сварки составляет от 0,1 до 0,5 мм.

Видманштеттова структура - это структура стали с прямолинейным расположением волокон.

На участке перегрева может образоваться крупнозернистая структура, которая придает металлу наименьшую пластичность и ударную вязкость. Чтобы уменьшить протяженность участка перегрева, следует увеличить скорость сварки или выполнить сварку за несколько проходов. Ширина зоны участка перегрева иногда достигает 3-4 мм.

Участок нормализации характеризуется мелкозернистым строением металла. В зависимости от размеров швов ширина участка нормализации колеблется от 0,2 до 4-5 мм.

На участке неполной перекристаллизации не все зерна основного металла подвергаются перекристаллизации. Ширина этой зоны от 0,1 до 5 мм.

Рекристаллизационный участок появляется при сварке пластических деформированных сталей, ширина этого участка составляет 0,1 - 1,5 мм.

Участок синеломкости расположен за участком рекристаллизации. Структура металла здесь не отличается от исходной структуры. На этом участке температура нагрева достигает 200-400°C.

Для оценки качества сварного соединения исследуют его макро- и микроструктуру. Для определения микроструктуры сварного соединения по его поперечному сечению вырезается образец, поверхность которого проходит травление. После травления на поверхности шва выступают его слои. Дефекты в шве (поры, трещины, неметаллические включения) видны, как правило, без лупы. На этом же образце под микроскопом рассматривают его микроструктуру при 100-кратном и более увеличениях. Чем меньше микроструктура, тем лучше качество сварного шва.

Макро- и микроструктуры сварных швов исследуют в том случае, если оно оговорено в технических условиях на сборку и сварку того или иного изделия.

Сварочные горелки служат для подвода к месту сварки сварочной проволоки, сварочного тока и защитного газа или флюса, а также для ручного

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ	Лист
						23
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

перемещения и манипулирования им в процессе сварки. При этом сварщик удерживает держатель в руке и перемещает его вдоль шва. К быстро изнашивающимся частям держателя относятся токоподводящий наконечник и газовое сопло, изготавливаемые из меди.

Сварочной дугой называют мощный, длительно существующий электрический разряд между находящимися под напряжением электродами в смеси газов и паров. Дуга характеризуется высокой температурой и большой плотностью тока. Сварочная дуга как потребитель энергии и источник питания дуги (сварочный трансформатор, генератор или выпрямитель) образует взаимно связанную энергетическую систему. Различают два режима работы этой системы:

1) статический, при котором величины напряжения и тока остаются постоянными достаточно длительный промежуток времени;

2) переходной (динамический), когда величины напряжения и тока в системе непрерывно изменяются. Однако во всех случаях режим горения сварочной дуги определяется током, напряжением, величиной промежутка между электродами (так называемым дуговым промежутком) и связью между ними.

В дуговом промежутке (l) (рисунок 5, а) различают три области: анодную, катодную и столб дуги. Падение напряжения в анодной и катодной областях постоянно для данных условий сварки. Падение напряжения в единице длины столба дуги — также величина постоянная. Поэтому зависимость напряжения дуги от ее длины имеет линейный характер (рисунок 5, б) [11].

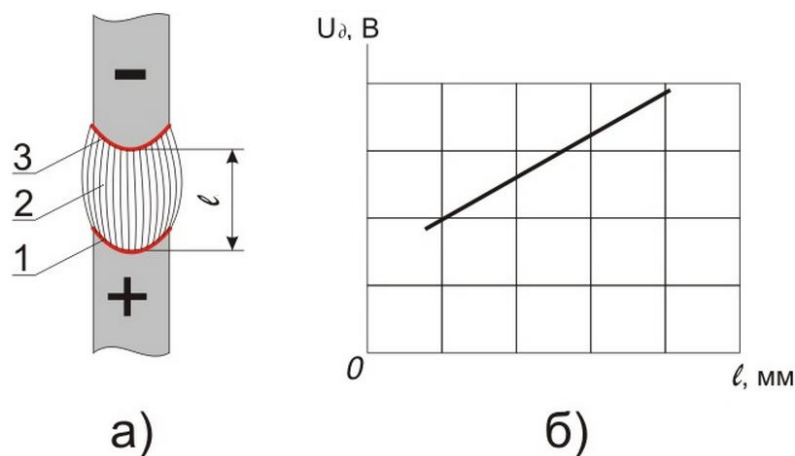


Рисунок 5 – Сварочная дуга между двумя электродами:

а) схема дуги, б) зависимость напряжения дуги (U_d) от дугового промежутка (l),
1 – анодная область, 2 – катодная область, 3 – столб дуги

В качестве защитного газа был выбран углекислый газ, так как качество сварного соединения при сварке в углекислом газе очень высоко. Также, углекислый газ выгодно использовать с экономической точки зрения, так как его цена на порядок ниже цены других защитных газов.

3.1 Дополнительное оборудование для производства процесса сварки

Так как процесс сварки будет происходить в среде защитных газов, то сварочный пост необходимо обеспечить комплектом соответствующей аппаратуры, в который входят:

- баллон с защитным газом (CO_2);
- подогреватель газа;
- редукторы с манометрами или расходомерами для точной дозировки газа;
- расходомер.

3.1.1 Баллоны с защитным газом

Все газы находятся в баллонах в сжатом состоянии, под высоким давлением. Исключением является углекислый газ, который находится в жидком состоянии в виде углекислоты.

Баллоны представляют собой стальные цилиндрические сосуды, в горловине которых имеется конусное отверстие с резьбой, куда ввертывается запорный вентиль. На горловину насаживается кольцо, имеющее наружную резьбу для наворачивания предохранительного колпака. Предохранительный колпак служит для предохранения вентиля баллонов от ударов при их транспортировке.

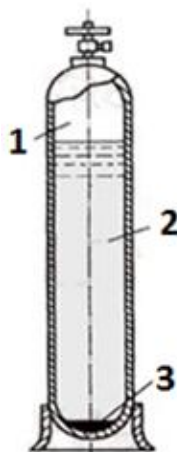


Рисунок 6 – Схема баллона с углекислым газом:

1 – углекислый газ + газ, 2 – углекислота ($\geq 98,8\%$), 3 – вода (до $0,1\%$)

Баллоны окрашивают в условные цвета в зависимости от рода газа. Также наносят название газа соответствующей его цвету краской. На верхней части баллона выбивают паспортные данные: тип баллона и его заводской номер, товарный знак завода-изготовителя, масса порожнего баллона, вместимость, рабочее и испытательное давление, дата изготовления, клеймо ОТК и клеймо инспекции Госгортехнадзора, дата следующего испытания.

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ	Лист
						26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



Рисунок 7 – Верхняя часть газового баллона:

1 – вентиль, 2 – уплотнитель, 3 – резьба, 4 – товарный знак завода-изготовителя, 5 – дата изготовления и год следующего освидетельствования, 6 – рабочее давление (МПа), пробное гидравлическое давление (МПа), 7 – вместимость баллона, масса баллона, клеймо завода-изготовителя

3.1.2 Подогреватель газа

Подогреватель газа применяется только при сварке в углекислом газе. Выходя из баллона, углекислота испаряется, при этом поглощает тепло, вследствие чего температура газа значительно понижается. При сравнительно большом расходе CO_2 возможно замерзание содержащейся в нем влаги и закупорка редуктора. Поэтому углекислый газ, выходящий из баллона, рекомендуется подогревать. Схема подогревателя углекислого газа представлена на рисунке 8 [12].

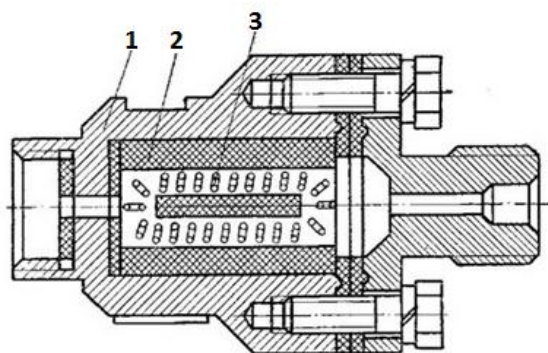


Рисунок 8 – Схема подогревателя углекислого газа:

1 – корпус, 2 – изолятор, 3 – нагреватель

Для подогревания углекислого газа служит герметичный сосуд 1, внутри которого расположен керамический изолятор 2 и электрический нагреватель 3, питаемый обычно от электрической схемы сварочного аппарата.

Иногда подогреватели снабжают терморегулятором, поддерживающим постоянную температуру газа. Для этого последовательно с нагревателем включен размыкатель, содержащий биметаллическую пластину. При нагреве выше заданной температуры, вследствие неодинакового линейного расширения слоев биметаллической пластины, она изгибается, выключая контакты подогревателя.

3.1.3 Газовый редуктор

Газовые редукторы предназначены для снижения давления газа в баллоне с 50-150 атм до рабочего давления, которое принято для аргона равным примерно 0,5 атм, а для CO_2 - 0,5...2,5 атм. Редукторы обеспечивают постоянное заданное рабочее давление газа.

Для сварки в среде углекислого газа, как правило, применяют редуктор У-30, схема которого представлена на рисунке 9.

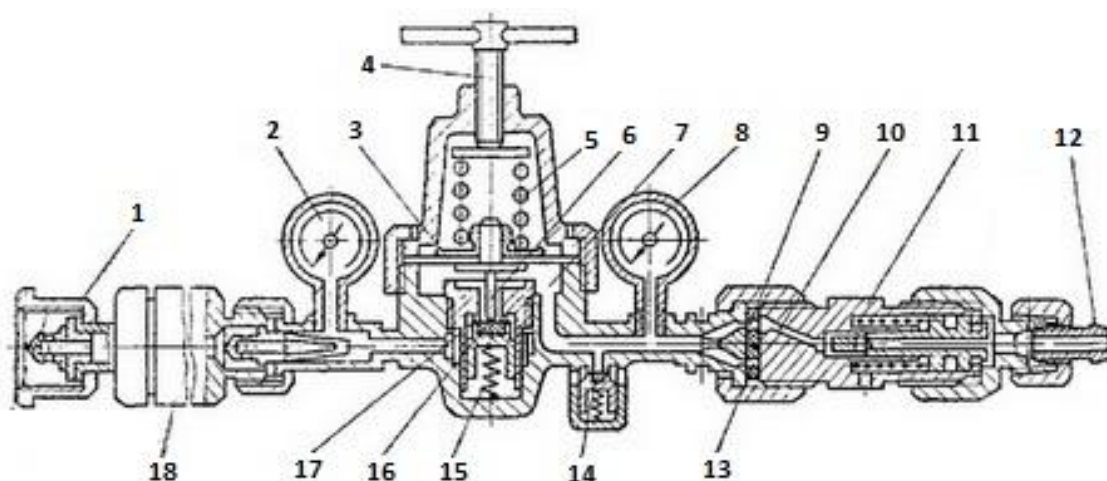


Рисунок 9 – Схема газового редуктора У-30 для углекислого газа:

- 1 - накидная гайка, 2, 8 – манометры, 3 – мембрана, 4 - винт регулировочный, 5 – пружина, 6 – игла, 7 - камера низкого давления, 9, 13 - калиброванные отверстия, 10 – канал, 11 – клапан, 12 – штуцер, 14 - предохранительный клапан, 15 – пружина, 16 – клапан, 17 – седло, 18 - подогреватель

При сварке расход газа сравнительно невелик. Поэтому применяют редукторы обратного действия, с малой пропускной способностью (до 4-5 м³/ч), с минимальной ценой деления шкалы манометра низкого давления и с наиболее чувствительным регулированием.

Редуктор присоединяется к баллону накидной гайкой 1. Давление газа в баллоне измеряется манометром 2. В исходном положении выход газа из камеры закрыт клапаном 16, прижатым к седлу 17 запорной пружиной 15. Усилие прижатия клапана регулируется степенью натяжения противодействующей пружины 5, связанной с клапаном 16 через мембрану 3 и иглу 6. При отсутствии сжатого газа в камере 7 игла создает дополнительное давление на клапан 16 и открывает его. Газ через камеру 7 поступает в газовый канал и горелку. При повышении давления в камере 7 сверх заданного мембрана 3 сожмет пружину 5, вследствие чего клапан 16 закроется. При отборе газа давление в камере 7 понизится и клапан откроется опять. Таким образом, величина рабочего давления зависит от степени сжатия пружины 5, которая может регулироваться винтом 4. Для предотвращения подачи потребителю газа давлением выше 3 атм на редукторе установлен клапан предельного давления. Кроме того, на корпусе редуктора установлен предохранительный клапан 14, препятствующий повышению давления в рабочей камере более 18 атм.

Редуктор У-30 снабжен подогревателем газа 18, состоящим из нагревательного элемента и терморегулятора, периодически отключающего нагревательный элемент при перегреве [13].

3.1.4. Расходомер

Расходомеры служат для измерения расхода газа. При сварке в защитных газах применяют расходомеры поплавкового и дроссельного типа. Схема расходомера представлена на рисунке 10.

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ	Лист
						29
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

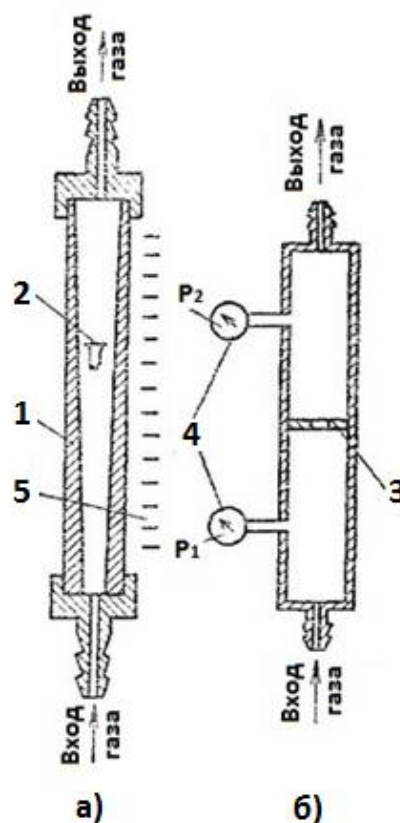


Рисунок 10 – Схемы расходомеров газа:

а) – поплавковый, б) – дроссельный,

1 – трубка, 2 – поплавок, 3 – диафрагма, 4 – манометр, 5 – шкала

Расходомер поплавкового типа - ротаметр (рис. 10, а) состоит из стеклянной трубки 1 с коническим отверстием. Трубка располагается вертикально, широким концом отверстия вверх. Внутри трубки располагается легкий поплавок 2, который может свободно в ней перемещаться. При прохождении газа снизу вверх он поднимает поплавок до тех пор, пока зазор между ним и стенкой трубки не достигнет величины, при которой напор струи газа уравнивает вес поплавка. Чем больше расход газа и чем больше его плотность, тем выше поднимается поплавок. Ротаметр снабжен шкалой 5.

Расходомер дроссельного типа (рис. 10, б) построен на принципе измерения перепада давлений до и после дросселирующей диафрагмы 3. Перепад давлений на участках до и после диафрагмы зависит от расхода газа и замеряется манометрами 4.

4 Расчет режима сварки

4.1 Выбор сварочной проволоки

Перед проведением расчета режима сварки необходимо выбрать сварочную проволоку. В качестве сварочной проволоки была выбрана омедненная сварочная проволока СВ08Г2С диаметром 1,2 мм, так как данная проволока обеспечивает:

- устойчивое горение дуги в широком диапазоне режимов сварки при использовании сварочного оборудования любого класса сложности;
- минимальное разбрызгивание электродного металла при сварке в защитных газах;
- низкий расход медных наконечников;
- повышение уровня механизации сварочных работ;
- хорошее повторное зажигание дуги.

Химический состав сварочной проволоки приведен в таблице 5.

Таблица 5 – Химический состав сварочной проволоки СВ08Г2С (в процентах) [14]

С	Si	Mn	Cr, не более	Ni, не более	S, не более	P, не более
0,05-0,11	0,7-0,95	1,8-2,1	0,2	0,25	0,025	0,03

Режим сварки является основным элементом технологического процесса сварки той или иной конструкции либо изделия. От его правильного выбора в значительной мере зависит качество сварного соединения, производительность и экономическая эффективность технологического процесса сварки в целом.

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.	Чередник К.В.				Расчет режима сварки	Лит.	Лист
Руковод.	Веревкин А.В.						Листов
Консульт.							31
Зав. Каф.	Рудаченко А.В.						17
						НИ ТПУ гр. 2БМ4А	

Расчет режима сварки производится всегда для конкретных случаев, когда известен тип соединения, марка стали, защитная среда и другие данные по шву или технологическому процессу.

4.2 Выбор типа разделки кромок сварных соединений

В соответствии с ГОСТ 14771-76 [15] была выбрана разделка кромок с двумя симметричными криволинейными скосами одной кромки с условным обозначением С15. Внешний вид кромок показан на рисунке 11.

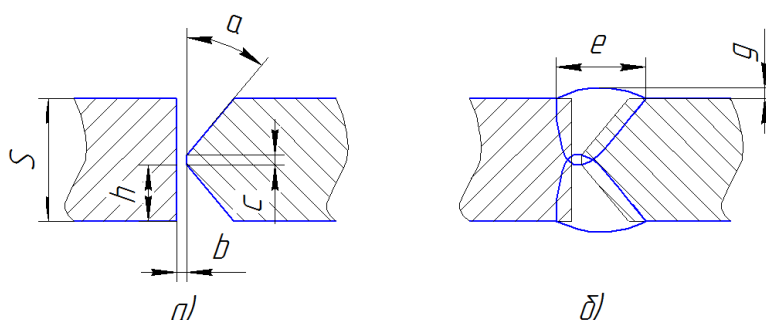


Рисунок 11 – Внешний вид и конструктивные элементы:
а) подготовленных кромок свариваемых деталей, б) сварного шва

Конструктивные размеры сварного соединения приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Конструктивные размеры сварного соединения, мм

Обозначение соединения	S	b		c		e		g		α , град $\pm 2^\circ$
		Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.	
С15	5-7	1	± 1	1	± 1	6	± 2	1	± 1	40
	8-11					8				

Для соединения стенки резервуара с днищем, в соответствии с ГОСТ 14771-76, была выбрана разделка без скоса кромок с условным обозначением ТЗ. Внешний вид сварного соединения представлен на рисунке 12.

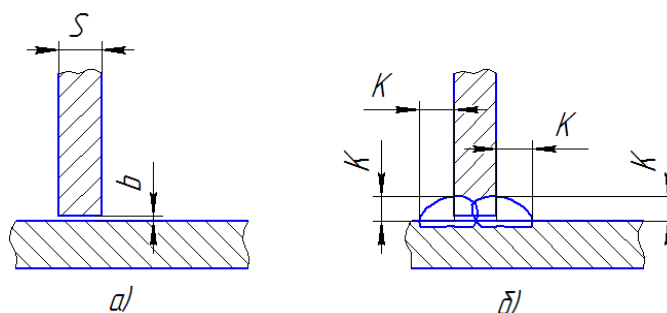


Рисунок 12 – Внешний вид и конструктивные элементы:
а) подготовленных кромок свариваемых деталей, б) сварного шва
Конструктивные размеры сварного соединения приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Конструктивные размеры сварного соединения, мм

Обозначение соединения	S	b		K	
		Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.
T3	6-14	0	+1,5	5	±1

В соответствии с ГОСТ 14771 – 76 для сварки листов днища резервуара применяется разделка кромок с условным обозначением С19. Внешний вид сварного соединения представлен на рисунке 13.

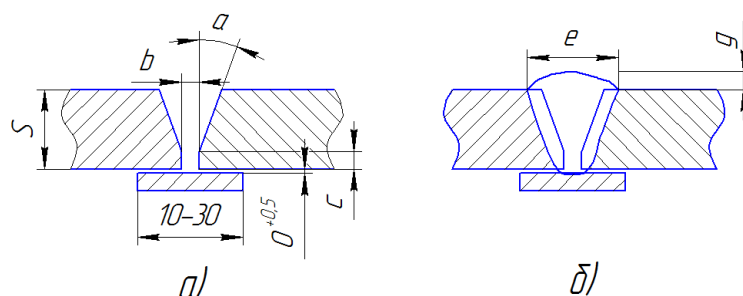


Рисунок 13 – Внешний вид и конструктивные элементы:
а) подготовленных кромок свариваемых деталей, б) сварного шва

Конструктивные размеры сварного соединения приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Конструктивные размеры сварного шва, мм

Обозначение соединения	S	b		c		e		g		α, град ± 2°
		Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.	
C17	8-11	1	±1	1	±1	12	±2	1	+1	20

Сегодня в технологии подготовки скоса кромок под сварку применяются как термические, так и механические методы резки.

Для разделки кромок под сварку был выбран станок-плазморез, который относится к типу термических методов разделки кромок. Он способен производить разделку кромок одновременно с двух сторон, из-за чего этот процесс занимает гораздо меньше времени.

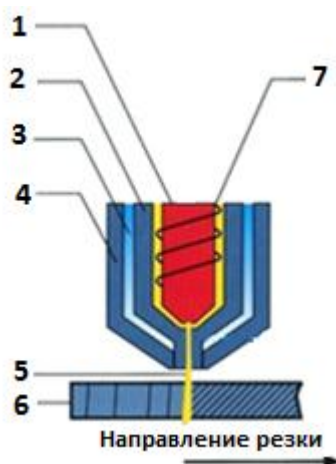


Рисунок 14 – Плазморез:

1 – электрод (катод), 2 – сопло, 3 – охладитель, 4 – колпачок сопла,
5 – плазменная дуга, 6 – изделие (анод), 7 – плазменный газ

Работа плазмореза основана на высокотемпературном нагреве обрабатываемого материала до температуры 6-8 тыс. градусов струей плазмы и плазменной дугой, при этом соседние участки нагреваются не так сильно, как при кислородной резке, и, соответственно, быстрее охлаждаются. Расплавленный металл удаляется потоком раскаленной плазмы.

Для работы плазмореза нужно электричество и воздух, к нему не предъявляется особенных требований по пожарной безопасности.

Кромки металла после газовой резки должны быть зачищены от заусениц, грата, окалины, наплывов до металлического блеска и не должны иметь неровностей, вырывов и шероховатостей, превышающих 1 мм.

4.3 Расчет режима сварки для I пояса резервуара

В соответствии с рекомендациями [16] резервуар вертикальный стальной объемом 5000 м³ имеет диаметр 22,8 м; высота стенки составляет 11,94 м; свариваемые листы имеют размерность 2х8 м. Из этого следует, что стенка резервуара будет состоять из 6 поясов.

В соответствии с рекомендациями [17], толщина листов днища резервуара составляет 9 мм; толщины всех поясов стенки резервуара приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Толщины листов различных поясов резервуара

Номер пояса резервуара	Толщина пояса, мм
I	9
II	8
III	7
IV	6
V	6
VI	6

Так как I пояса резервуара имеет толщину 9 мм, расчет режима сварки будет иметь следующий вид:

1) Устанавливают требуемую глубину провара при сварке с одной стороны, которая назначается, исходя из технологической возможности выбранного механизированного способа сварки:

$$H = \frac{S}{2}, \quad (5)$$

где S - толщина свариваемого изделия, мм.

$$H = \frac{9}{2} = 4,5 \text{ (мм)}.$$

2) Определяют площадь наплавки:

$$F_B = b \cdot S + 2 \cdot (h^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha + 0,75 \cdot g \cdot e). \quad (6)$$

В соответствии с таблицей 6, получаем:

$$F_B = 1 \cdot 9 + 2 \cdot (4,5^2 \cdot \operatorname{tg} 40^\circ + 0,75 \cdot 1 \cdot 8) = 54,98 \approx 55 (\text{мм}^2).$$

Так как при сварке в среде защитных газов сварочной проволокой диаметром 1,2...1,4 мм площадь поперечного сечения первого прохода должна быть 10...30 мм², а второго 20...60 мм² [18], то устанавливаем, что сварка будет производиться за 2 прохода и площадь наплавки для каждого прохода составит 25 мм² и 30 мм² соответственно.

3) Выбирают силу сварочного тока:

$$I_{св} = \frac{d_э^2 \cdot \pi \cdot j}{4}, \quad (7)$$

где j - допустимая плотность тока, А/мм²;

$d_э$ - диаметр электрода, мм.

Допустимая плотность тока при механизированной сварке стыковых швов зависит от диаметра сварочной проволоки (Таблица 10).

Таблица 10 – Значения плотности тока в зависимости от диаметра электрода

$d_э$, мм	1	2	3	4	5	6
j , А/мм ²	90...400	65...200	45...90	35...60	30...50	25...45

Так как сварка производится сварочной проволокой диаметром 1,2 мм, то принимаем значение плотности тока j равным 160 А/мм²;

Так как сварка производится в среде углекислого газа сварочной проволокой диаметром 1,2 мм, то его величина:

$$I_{св} = \frac{1,2^2 \cdot 3,14 \cdot 160}{4} = 180,9 (\text{А}).$$

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ	Лист
						36
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Принимаем силу сварочного тока:

$$I_{\text{св}} = 185 \text{ А.}$$

4) Для принятой силы сварочного тока определяют оптимальное напряжение дуги:

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{d_3}} \cdot I_{\text{св}} \pm 1, \quad (8)$$

$$U_{\text{д}} = \left(20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{1,2}} \cdot 185 \right) = 28,4 \pm 1 \text{ (В).}$$

5) Зная сварочный ток, диаметр электрода и напряжение дуги, определяют коэффициент формы провара:

$$\psi_{\text{пр}} = K' \cdot (19 - 0,01 \cdot I_{\text{св}}) \cdot \frac{d_3 \cdot U_{\text{д}}}{I_{\text{св}}}, \quad (9)$$

где K' - коэффициент, величина которого зависит от рода тока и полярности.

Величина K' при плотности тока $j \geq 120 \text{ А/мм}^2$ составляет 0,92 [19].

При механизированной сварке значения $\psi_{\text{пр}}$ должны составлять 0,8...4, так как при малых значениях коэффициента провара обычно формируются швы, склонные к образованию горячих трещин, при больших – слишком широкие швы с малой глубиной провара, что приводит к увеличению сварочных деформаций.

Коэффициент формы провара будет равен:

$$\psi_{\text{пр}} = 0,92 \cdot (19 - 0,01 \cdot 185) \cdot \frac{1,2 \cdot 28,4}{185} = 2,907.$$

6) Для определения скорости перемещения сварочной дуги используется методика расчета по требуемой площади сечения наплавленного металла:

$$V_{\text{св}} = \frac{\alpha_{\text{н}} \cdot I_{\text{св}}}{3600 \cdot \gamma \cdot F_{\text{в}}}, \quad (10)$$

где $\alpha_{\text{н}}$ - коэффициент наплавки, г/А·ч;

γ - плотность наплавленного металла, г/см³.

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ	Лист
						37
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Так как металл сварочной проволоки – сталь, его плотность $\gamma = 7,8 \text{ г/см}^3$.

При сварке в среде углекислого газа величина коэффициента наплавки определяется по формуле:

$$\alpha_n = \alpha_p \cdot (1 - \psi_n), \quad (11)$$

где ψ_n - коэффициент потерь, в относительных единицах.

Величину коэффициента расплавления можно рассчитать по формуле:

$$\alpha_p = 16,32 + 3,1 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{I_{\text{св}}} \cdot \frac{l}{d_3^2}, \quad (12)$$

где l - величина вылета электрода, выбирается в пределах 10...20 мм [20].

Принимаем величину вылета электрода равной 14 мм.

Коэффициент расплавления будет равен:

$$\alpha_p = 16,32 + 3,1 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{185} \cdot \frac{16}{1,22^2} = 16,79.$$

Величина коэффициента потерь ψ_n для сварки при оптимальных значениях напряжения дуги зависит от плотности тока в сварочной проволоке и определяется по формуле:

$$\psi_n = -4,72 + 17,6 \cdot 10^{-2} \cdot j - 4,48 \cdot 10^{-4} \cdot j^2, \quad (13)$$

$$\psi_n = -4,72 + 17,6 \cdot 10^{-2} \cdot 160 - 4,48 \cdot 10^{-4} \cdot 160^2 = 11,97 \% = 0,12.$$

Величина коэффициента наплавки составит:

$$\alpha_n = 16,79 \cdot (1 - 0,12) = 14,78 \left(\frac{\text{г}}{\text{А} \cdot \text{ч}} \right).$$

Скорость перемещения сварочной дуги составит:

$$V_{\text{св}} = \frac{14,78 \cdot 185}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,30} = 0,325 \left(\frac{\text{см}}{\text{с}} \right) = 11,69 \left(\frac{\text{м}}{\text{ч}} \right).$$

7) Определяют скорость подачи сварочной проволоки по формуле:

$$V_{\text{пэл}} = \frac{\alpha_p \cdot I_{\text{св}}}{3600 \cdot F_{\text{эл}} \cdot \gamma}, \quad (14)$$

где $F_{\text{эл}}$ - площадь поперечного сечений электрода, см^2 .

$$F_{\text{эл}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \quad (15)$$

$$F_{\text{эл}} = \frac{3,14 \cdot 1,2^2}{4} = 1,13 \text{ (мм}^2\text{)} = 0,0113 \text{ (см}^2\text{)},$$

$$V_{\text{пэл}} = \frac{16,79 \cdot 185}{3600 \cdot 0,0113 \cdot 7,8} = 9,79 \left(\frac{\text{см}}{\text{с}} \right) = 352,4 \left(\frac{\text{м}}{\text{ч}} \right).$$

8) Определяют значение погонной энергии по формуле:

$$q_n = \frac{\eta_{\text{э}} \cdot I_{\text{св}} \cdot U_{\text{д}}}{V_{\text{св}}}, \quad (16)$$

где $\eta_{\text{э}}$ - эффективный КПД нагрева изделия дугой, который при сварке в защитном газе имеет значения: 0,80...0,84 [21].

Принимаем $\eta_{\text{э}} = 0,8$, тогда:

$$q_n = \frac{0,8 \cdot 185 \cdot 28,4}{0,325} = 12933 \left(\frac{\text{Дж}}{\text{см}} \right).$$

4.4 Расчет режима сварки для II пояса резервуара

Так как II пояс резервуара имеет толщину 8 мм, то расчет режима сварки будет иметь следующий вид:

1) Устанавливают требуемую глубину провара по формуле (5):

$$H = \frac{8}{2} = 4 \text{ (мм)}.$$

2) Определяют площадь наплавки по формуле (6).

В соответствии с таблицей 6, получаем:

$$F_{\text{в}} = 1 \cdot 8 + 2 \cdot (4^2 \cdot \text{tg} 40^\circ + 0,75 \cdot 1 \cdot 8) = 46,85 \approx 47 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

Так как при сварке в среде защитных газов сварочной проволокой диаметром 1,2...1,4 мм площадь поперечного сечения первого прохода должна быть 10...30 мм², а второго 20...60 мм², то устанавливаем, что сварка будет производиться за 2 прохода и площадь наплавки для каждого прохода составит 25 мм² и 22 мм² соответственно.

3) Выбирают силу сварочного тока по формуле (7). Так как на всем протяжении сварки используется сварочная проволока постоянного диаметра, то значения плотности тока j будут одинаковы для сварки всех поясов резервуара, соответственно, на всем протяжении сварки значения силы тока первого и второго прохода будут одинаковы, следовательно:

$$I_{св} = 180,9(A).$$

Принимаем силу сварочного тока:

$$I_{св} = 185 A.$$

4) Для принятой силы сварочного тока определяют оптимальное напряжение дуги, которое также будет неизменно на всем протяжении сварки и будет равно:

$$U_d = 28,4 \pm 1 (В).$$

5) Зная сварочный ток, диаметр сварочной проволоки и напряжение дуги, определяют коэффициент формы провара, который также будет постоянен на всем протяжении сварки:

$$\psi_{пр} = 2,907.$$

6) Скорость перемещения сварочной дуги определяется по формуле (10). Величина коэффициента наплавки будет одинакова на всем процессе сварки и равна:

$$\alpha_n = 14,78.$$

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

Скорость перемещения сварочной дуги составит:

$$V_{св} = \frac{14,78 \cdot 185}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,25} = 0,39 \left(\frac{см}{с} \right) = 14,02 \left(\frac{м}{ч} \right).$$

7) Определяют скорость подачи сварочной проволоки. Данный параметр остается постоянным на всем протяжении процесса сварки и равен:

$$V_{пэл} = 9,79 \left(\frac{см}{с} \right) = 352,4 \left(\frac{м}{ч} \right).$$

8) Определяют значение погонной энергии по формуле (16):

$$q_n = \frac{0,8 \cdot 185 \cdot 28,4}{0,39} = 10777 \left(\frac{Дж}{см} \right).$$

4.5 Расчет режима сварки для III пояса резервуара

Так как III пояс резервуара имеет толщину 7 мм, то расчет режима сварки будет иметь следующий вид:

1) Устанавливают требуемую глубину провара по формуле (5):

$$H = \frac{7}{2} = 3,5 \text{ (мм)}.$$

2) Определяют площадь наплавки по формуле (6).

В соответствии с таблицей 6, получаем:

$$F_B = 1 \cdot 7 + 2 \cdot (3,5^2 \cdot \operatorname{tg} 40^\circ + 0,75 \cdot 1 \cdot 7) = 38,06 \approx 39 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

Так как при сварке в среде защитных газов сварочной проволокой диаметром 1,2...1,4 мм площадь поперечного сечения первого прохода должна быть 10...30 мм², а второго 20...60 мм², то устанавливаем, что сварка будет производиться за 2 прохода и площадь наплавки для каждого прохода составит 22 мм² и 17 мм² соответственно.

3) Выбирают силу сварочного тока по формуле (7). Так как на всем протяжении сварки используется сварочная проволока постоянного диаметра, то значения плотности тока j будут одинаковы для сварки всех поясов резервуара. Соответственно, на всем протяжении сварки значения силы тока первого и второго прохода будут одинаковы, следовательно:

$$I_{\text{св}} = 180,9(\text{A}).$$

Принимаем силу сварочного тока:

$$I_{\text{св}} = 185 \text{ A}.$$

4) Для принятой силы сварочного тока определяют оптимальное напряжение дуги, которое также будет неизменно на всем протяжении сварки и будет равно:

$$U_{\text{д}} = 28,4 \pm 1 (\text{В}).$$

5) Зная сварочный ток, диаметр сварочной проволоки и напряжение дуги, определяют коэффициент формы провара, который также будет постоянен на всем протяжении сварки:

$$\psi_{\text{пр}} = 2,907.$$

6) Скорость перемещения сварочной дуги определяется по формуле (10). Величина коэффициента наплавки будет одинакова на всем процессе сварки и равна:

$$\alpha_{\text{н}} = 14,78.$$

Скорость перемещения сварочной дуги составит:

$$V_{\text{св}} = \frac{14,78 \cdot 185}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,22} = 0,443 \left(\frac{\text{см}}{\text{с}} \right) = 15,93 \left(\frac{\text{м}}{\text{ч}} \right).$$

7) Определяют скорость подачи сварочной проволоки. Данный параметр остается постоянным на всем протяжении процесса сварки и равен:

$$V_{\text{пэл}} = 9,79 \left(\frac{\text{см}}{\text{с}} \right) = 352,4 \left(\frac{\text{м}}{\text{ч}} \right).$$

8) Определяют значение погонной энергии по формуле (16):

$$q_n = \frac{0,8 \cdot 185 \cdot 28,4}{0,443} = 9488 \left(\frac{\text{Дж}}{\text{см}} \right).$$

4.6 Расчет режима сварки для поясов резервуара с IV по VI

Так как пояса резервуара с IV по VI имеют толщину 6 мм, значения всех параметров сварки для них будут одинаковы и имеют следующий вид:

1) Устанавливают требуемую глубину провара по формуле (5):

$$H = \frac{6}{2} = 3 \text{ (мм)}.$$

2) Определяют площадь наплавки по формуле (6).

В соответствии с таблицей 6, получаем:

$$F_{\text{в}} = 1 \cdot 6 + 2 \cdot (3^2 \cdot \text{tg}40^\circ + 0,75 \cdot 1 \cdot 6) = 30,1 \approx 31 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

Так как при сварке в среде защитных газов сварочной проволокой диаметром 1,2...1,4 мм площадь поперечного сечения первого прохода должна быть 10...30 мм², а второго 20...60 мм², то устанавливаем, что сварка будет производиться за 2 прохода и площадь наплавки для каждого прохода составит 18 мм² и 13 мм² соответственно.

3) Выбирают силу сварочного тока по формуле (7). Так как на всем протяжении сварки используется сварочная проволока постоянного диаметра, то значения плотности тока j будут одинаковы для сварки всех поясов

резервуара. Соответственно, на всем протяжении сварочного процесса значения силы тока первого и второго прохода будут одинаковы, следовательно:

$$I_{\text{св}} = 180,9(\text{А}).$$

Принимаем силу сварочного тока:

$$I_{\text{св}} = 185 \text{ А}.$$

4) Для принятой силы сварочного тока определяют оптимальное напряжение дуги, которое также будет неизменно на всем протяжении сварки и будет равно:

$$U_{\text{д}} = 28,4 \pm 1 (\text{В}).$$

5) Зная сварочный ток, диаметр сварочной проволоки и напряжение дуги, определяют коэффициент формы провара, который также будет постоянен на всем протяжении сварки:

$$\psi_{\text{пр}} = 2,907$$

6) Скорость перемещения сварочной дуги определяется по формуле (10).

Величина коэффициента наплавки будет одинакова на всем процессе сварки и равна:

$$\alpha_{\text{н}} = 14,78.$$

Скорость перемещения сварочной дуги составит:

$$V_{\text{св}} = \frac{14,78 \cdot 185}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,18} = 0,541 \left(\frac{\text{см}}{\text{с}} \right) = 19,48 \left(\frac{\text{м}}{\text{ч}} \right).$$

7) Определяют скорость подачи сварочной проволоки. Данный параметр остается постоянным на всем протяжении процесса сварки и равен:

$$V_{\text{пэл}} = 9,79 \left(\frac{\text{см}}{\text{с}} \right) = 352,4 \left(\frac{\text{м}}{\text{ч}} \right).$$

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

8) Определяют значение погонной энергии по формуле (16):

$$q_n = \frac{0,8 \cdot 185 \cdot 28,4}{0,541} = 7769 \left(\frac{\text{Дж}}{\text{см}} \right).$$

4.7 Расчет режима сварки для днища резервуара

1) Устанавливают требуемую глубину провара по формуле (5):

$$H = \frac{9}{2} = 4,5 \text{ (мм)}.$$

2) Определяют площадь наплавки по формуле (6).

$$F_B = b \cdot S + 2 \cdot (S - c)^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha + 0,75 \cdot g \cdot e.$$

В соответствии с таблицей 8, получаем:

$$F_B = 1 \cdot 9 + 2 \cdot (9 - 1)^2 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ + 0,75 \cdot 1 \cdot 12 = 59,59 \approx 60 (\text{мм}^2).$$

Так как при сварке в среде защитных газов сварочной проволокой диаметром 1,2...1,4 мм площадь поперечного сечения первого прохода должна быть 10...30 мм², а второго 20...60 мм², то устанавливаем, что сварка будет производиться за 2 прохода и площадь наплавки для каждого прохода составит 30 мм².

3) Выбирают силу сварочного тока по формуле (7). Так как на всем протяжении сварки используется сварочная проволока постоянного диаметра, то значения плотности тока j будут одинаковы для сварки всех поясов резервуара. Соответственно, на всем протяжении сварочного процесса значения силы тока первого и второго прохода будут одинаковы, следовательно:

$$I_{\text{св}} = 180,9 (\text{А}).$$

Принимаем силу сварочного тока:

$$I_{\text{св}} = 185 \text{ А}.$$

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

4) Для принятой силы сварочного тока определяют оптимальное напряжение дуги, которое также будет неизменно на всем протяжении сварки и будет равно:

$$U_d = 28,4 \pm 1 \text{ (В)}.$$

5) Зная сварочный ток, диаметр сварочной проволоки и напряжение дуги, определяют коэффициент формы провара, который также будет постоянен на всем протяжении сварки:

$$\psi_{\text{пр}} = 2,907$$

6) Скорость перемещения сварочной дуги определяется по формуле (10). Величина коэффициента наплавки будет одинакова на всем процессе сварки и равна:

$$\alpha_n = 14,78.$$

Скорость перемещения сварочной дуги составит:

$$V_{\text{св}} = \frac{14,78 \cdot 185}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,3} = 0,325 \left(\frac{\text{см}}{\text{с}} \right) = 11,69 \left(\frac{\text{м}}{\text{ч}} \right).$$

7) Определяют скорость подачи сварочной проволоки. Данный параметр остается постоянным на всем протяжении процесса сварки и равен:

$$V_{\text{пэл}} = 9,79 \left(\frac{\text{см}}{\text{с}} \right) = 352,4 \left(\frac{\text{м}}{\text{ч}} \right).$$

8) Определяют значение погонной энергии по формуле (16):

$$q_n = \frac{0,8 \cdot 185 \cdot 28,4}{0,325} = 12933 \left(\frac{\text{Дж}}{\text{см}} \right).$$

Основные параметры сварки для всех поясов и днища резервуара представлены в сводной таблице 11.

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ	Лист
						46
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 11 – Сводная таблица основных параметров сварки

№ пояса	№ прохода	$I_{\text{св}}$	$U_{\text{д}}$	$V_{\text{св}}$	$V_{\text{пэл}}$	q_n
		А	В	м/ч	м/ч	Дж/см
Стенка						
I	первый	185	28,4 ± 1	11,69	352,4	12933
II	первый			14,02		10777
III	первый			15,93		9488
IV	первый			19,49		7769
V						
VI						
Днище						
-	первый	185	28,4 ± 1	11,69	352,4	12933
	второй					

5 Выбор оборудования для производства процесса сварки

5.1 Выбор сварочного полуавтомата

После проведения расчета режима сварки необходимо выбрать сварочный аппарат. Выбор необходимо производить на основе рассчитанной силы тока, диаметра используемого электрода, применяемого защитного газа, а также в зависимости от условий сварки и объема сварочных работ. В качестве сварочного аппарата выбран сварочный полуавтомат Lorch P – 3500.

Таблица 12 – Основные характеристики сварочного аппарата

Диапазон сварки	
Сварка MIG/MAG, А	25 – 350
Регулировка напряжения	плавная
Сварочный газ	Смешанный газ + CO ₂ или CO ₂
Сварочная проволока	
Сталь диаметром, мм	0,6 – 1,2
Алюминий диаметром, мм	1 – 1,2
Медь + кремний диаметром, мм	0,8 – 1,2
Продолжительность включения (ПВ)	
Ток при 100 % ПВ (25 °С), А	285
Ток при 60 % ПВ (25 °С), А	325
ПВ при максимальном токе (25 °С), А	50
Аппарат	
Сетевое напряжение, В	3 ~ 400
Допустимый перепад в сети, %	+/- 15
Размер источника (длина/ширина/ высота), мм	1116/463/812
Масса источника, кг	92,8
Масса подающего механизма, кг	20,2

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ						
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							
Разраб.	Чередник К.В.				Выбор оборудования для производства процесса сварки			Лит.	Лист	Листов	
Руковод.	Веревкин А.В.									48	7
Консульт.								НИ ТПУ гр. 2БМ4А			
Зав. Каф.	Рудаченко А.В.										

Он имеет следующие преимущества:

- превосходные сварочные свойства сварки MIG/MAG при использовании смешанного газа CO₂;
- сварка SpeedArc;
- прочный промышленный корпус;
- промышленный 4 – роликовый механизм подачи проволоки;
- концепция управления «3 шага до начала сварки»;
- цифровая индикация сварочного тока и напряжения;
- применение специальной сварочной горелки Push-Pull;
- автоматическая регулировка длины сварочной дуги для компенсации неровностей;
- чистый край шва благодаря заполнению первичного кратера.

Внешний вид аппарата представлен на рисунке 15.



Рисунок 15 – Внешний вид сварочного аппарата

В состав аппарата входит специальная горелка Push-Pull. Благодаря специальной, предельно компактной системе приводов сварочная горелка планетарно типа по весу и размеру практически не отличается от стандартной горелки, т. е. оптимально подходит для длительного применения.

Также, данная горелка имеет следующие преимущества, по сравнению со стандартной горелкой:

- значительно снижается истирание в шланговом пакете;
- истирание до 10 раз меньше;
- повреждение проволоки значительно меньше при непрерывной сварке.



Рисунок 16 – Внешний вид горелки Push-Pull

Помимо прочего, в данном сварочном аппарате используется технология сварки SpeedArc.

SpeedArc – высокопроизводительный процесс сварки со струйным переносом металла короткой дугой с высокой плотностью энергии, в котором энергия дуги используется более эффективно по сравнению со стандартной сварочной горелкой.

Эта технология направлена на повышение качества сварных соединений из металла, связанного с обеспечением гарантированного проплавления в корне шва, а также сварки в узкую разделку.

Технология SpeedArc, в отличие от стандартной струйной дуги, поддерживает уверенный струйный процесс переноса металла более короткой дугой (рисунок 17) [22].

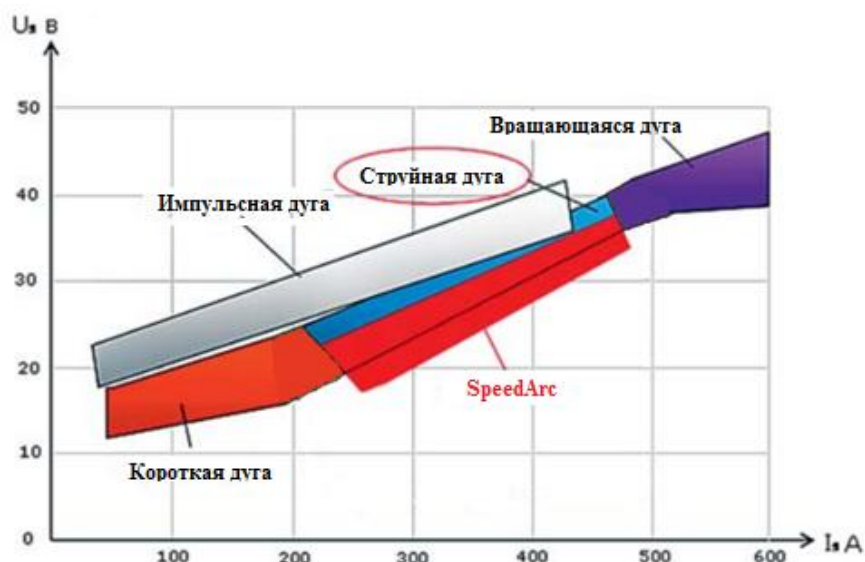


Рисунок 17 – Особенности различных сварочных дуг при MIG/MAG сварке

Дуга становится более сфокусированной, очень устойчивой (рис. 18).

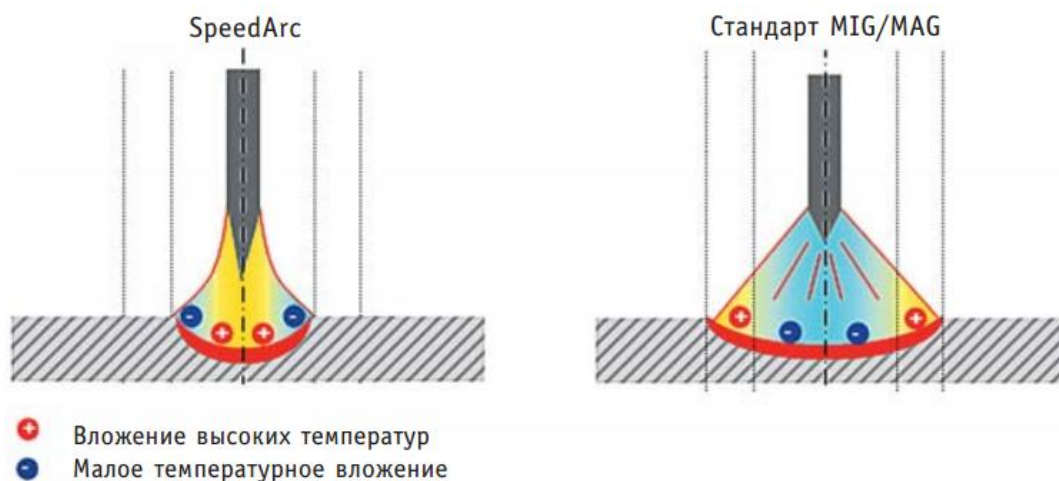


Рисунок 18 – Сравнение дуги SpeedArc и стандартной дуги

Также, с целью облегчения работы в аппарате применяется промежуточный механизм подачи проволоки. Он очень компактен и прочен (его диаметр составляет всего 92 мм). При использовании данной технологии нет необходимости в переносе громоздкого механизма подачи проволоки. Регулировка используемых систем подачи проволоки происходит полностью автоматически с помощью опционного цифрового управления в источнике питания. Внешний вид промежуточного механизма подачи проволоки представлен на рисунке 19.



Рисунок 19 – Промежуточный механизм подачи проволоки

5.2 Дополнительное оборудование для подготовки листов к сварке и сборки стыка

Помимо основного оборудования для сварки, для получения качественного изделия необходимо использование дополнительного оборудования. К нему относится:

- оборудование для загибания листов;
- оборудование для предварительного подогрева листов;
- прижимы.

Перед сваркой листов необходимо произвести их загибание. Для этого применяются листогибочные вальцы.

Листогибочные вальцы - это техническое промышленное устройство, производящее изгибание металлических листов и формирующее получение изделий цилиндрической формы.

Прежде чем изогнуть лист, совершается его прокатка. С помощью привода, установленного на боковой части корпуса, делается подгонка положения вспомогательных валков. Верхний и нижний валки получают вращение от электромеханического привода. Обработываемый лист прижимается давлением нижнего вала, его пресс-движение вверх и вниз регулируется специальной рукояткой в союзе с тарельчатыми пружинами или

гидравликой. Подобными вальцами совершают предварительный и конический изгибы, а также изгиб на концах листа за один проход.

Весь процесс формируется на основе работы и движений валков в вальцах: прямое и обратное вращение, подъем и боковые перемещения.

Так как расчет свариваемости показал, что при сварке выбранная сталь нуждается в предварительном подогреве, то для производства этой операции необходимо оборудование для предварительного подогрева.

На практике широко применяют подогрев газовыми горелками и горячим воздухом, но оба эти способа имеют существенные недостатки: использование газовых горелок может привести к перегреву некоторых зон металла, и, как следствие, к деформации изделия.

При использовании горячего воздуха для подогрева требуется специальное оборудование и экраны для защиты сварочной дуги и сварщика от горячих масс воздуха.

Поэтому, для подогрева кромок свариваемых соединений применяется нагрев с использованием электронагревателей сопротивления.

Также необходимо установить на листы прижимы для их подгона друг к другу на заданное расстояние, а также для их фиксации. С этой целью используются клиновые прижимы, показанные на рисунке 20.

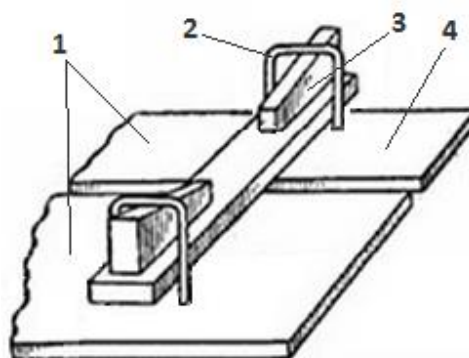


Рисунок 20 – Клиновой прижим:

1 – стягиваемые листы, 2 – зажимная скоба, 3 – клин, 4 – брусок

В клиновых прижимах зажим деталей осуществляется с помощью клиньев, проушин, подкладок и молотка.

Также для фиксации листов применяют расчалки.

Расчалки являются простейшим универсальным средством для закрепления листов. Одним концом они крепятся к листу, другим — к днищу. Для обеспечения пространственной устойчивости элемент нужно закреплять не менее чем тремя расчалками, а для исключения потери устойчивости конструкций в плоскости — двумя расчалками (рисунок 21).

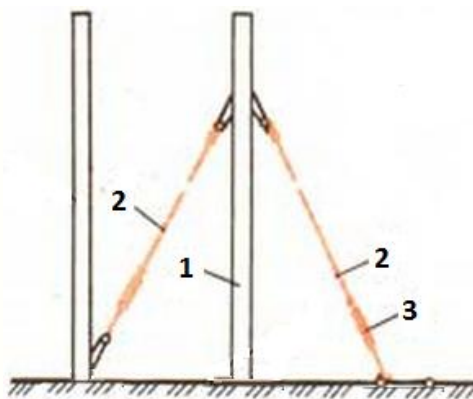


Рисунок 21 – Конструкция, закрепленная при помощи расчалок:
1 – лист, 2 – расчалка, 3 – винтовая стяжка

Чтобы уменьшить величину перемещения листов, возникающего вследствие прогиба расчалок от собственного веса, расчалки после установки подвергаются предварительному натяжению при помощи винтовой стяжки. Винтовая стяжка, устанавливаемая в конце расчалки около ее опоры, имеет два винта, один из которых с правой, а другой с левой резьбой; посредством этих винтов можно изменять длину стяжки и, следовательно, расчалки на необходимую величину (около 0,5 м).

Помимо вышеуказанных крепежных приспособлений, для фиксации листов необходимо производить прихваты листов для их лучшей фиксации.

6 Технология сварки резервуара

6.1 Технология сварки стенки резервуара

После того, как листы поставлены на место проведения работ, необходимо произвести их внешний осмотр и, убедившись в их товарных качествах, произвести разделку кромок сварных соединений в соответствии с проектом проведения работ.

После проведения процесса разделки кромок необходимо зачистить кромки сварных соединений при помощи шлифовальной машинки.

После проведения этих процессов необходимо произвести визуальный осмотр листов на наличие заусениц и других шероховатостей и, убедившись в их соответствии требованиям, переходить к следующему этапу.

Следующим этапом является загибание листов на специальных листогибочных вальцах.

После гнутья листов необходимо произвести приварку «ушей», которые необходимы для поднятия листов на требуемую высоту.

Следующим этапом является предварительный подогрев листов. Предварительный нагрев не является необходимым процессом. Его необходимость определяется, исходя из расчета свариваемости для конкретного типа стали. Для сварки листов из стали 17ГС, исходя из расчета свариваемости, был сделан вывод, что предварительный нагрев необходим.

После проведения предварительного нагрева листов производится их монтаж и фиксация в заданном положении. Прихватки, накладываемые для соединения собираемых деталей, размещают в местах расположения сварных швов. Размеры прихваток должны быть минимальными и легко расплавляться при наложении постоянных швов.

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ							
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата								
Разраб.		Чередник К.В.			Технология сварки резервуара			Лит.	Лист	Листов		
Руковод.		Веревкин А.В.								55	9	
Консульт.								НИ ТПУ гр. 2Б02				
Зав. Каф.		Рудаченко А.В.										

Согласно рекомендациям [23] длину прихваток принимаем равной 30...40 мм. При этом расстояние между прихватками –250...300 мм. Прихватки выполняют сварочными материалами, применяемыми для сварки проектных швов. Требования к качеству прихваток такие же, как и к сварочным швам.

Следующим этапом является непосредственно сварка. Она производится двумя сварщиками одновременно по обе стороны резервуара. Сварка листов производится обратноступенчатым способом согласно схеме (рисунок 22).

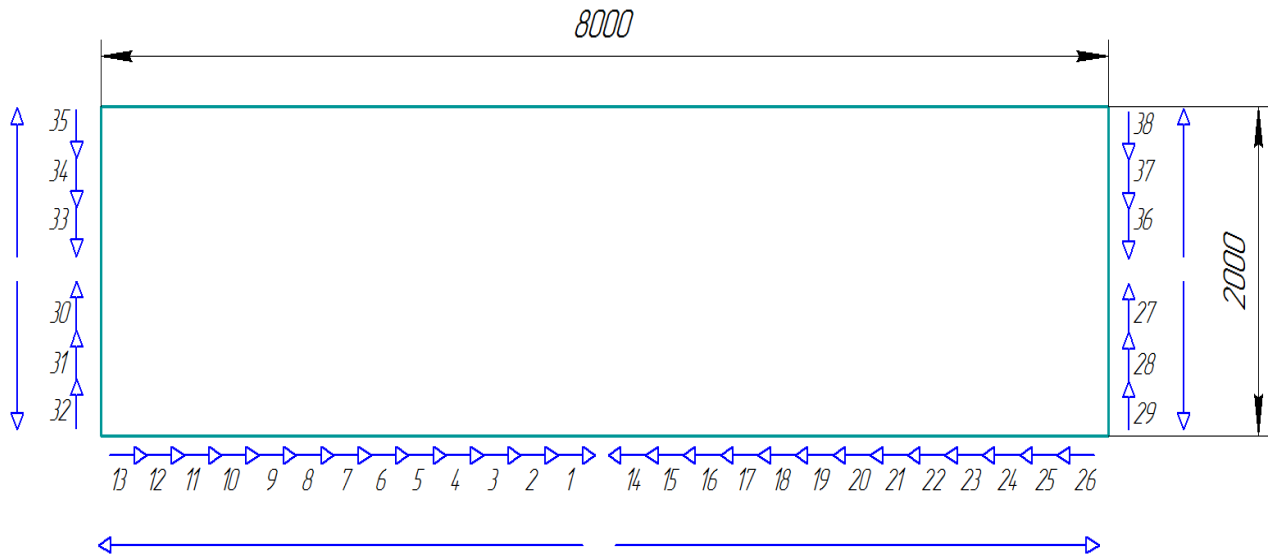


Рисунок 22 – Последовательность наложения сварных швов

Схема стенки резервуара представлена на рисунке 23.

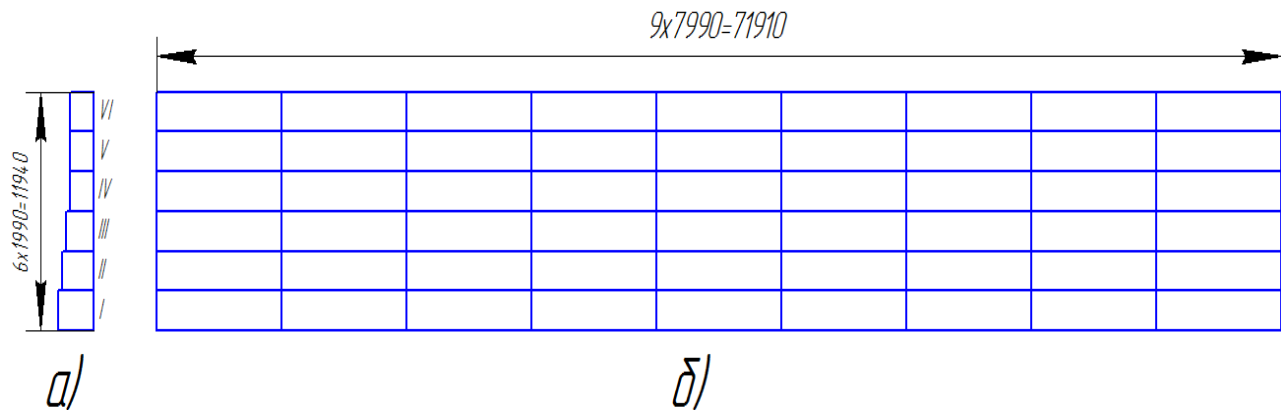


Рисунок 23 – Схема стенки резервуара:

а) пояса стенки резервуара, б) развертка листов стенки резервуара

6.2 Технология сварки днища резервуара

Фундамент резервуара представляет собой уплотненную подушку из среднезернистого песка с кольцевым железобетонным фундаментом под стенку.

Минимальный диаметр песчаной подушки должен превышать диаметр стенки резервуара не менее чем на 3 м, а величина откоса песчаной подушки должна быть не менее 1:1,5.

Поверх подушки и фундамента устраивается гидрофобный слой для защиты днища резервуара от коррозии. Толщина гидрофобного слоя на поверхности подушки не менее 50 мм, на поверхности кольцевого фундамента - не более 20 мм.

Перед сваркой листов необходимо произвести разметку и раскрой листов. После этого произвести обработку кромок под сварку.

Сварка листов производится от центральной оси резервуара к периферии. На рисунке 24 представлена схема сварки листов днища резервуара.

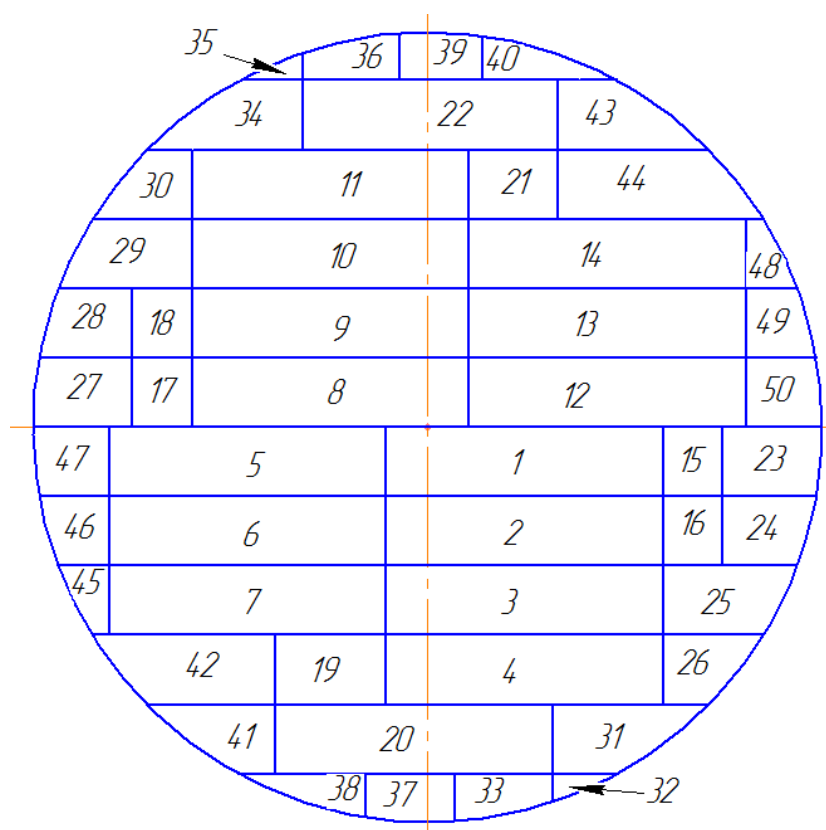


Рисунок 24 – Последовательность сварки листов днища резервуара

На всем протяжении сварки необходимо производить съемку и, при необходимости, производить подбивку грунта. Сварку листов производить встык на подкладной пластине.

По окончании работ по сооружению резервуара, все вспомогательные сборочные приспособления и остатки крепивших их швов должны быть удалены, сварные соединения и места сварки очищены от шлака, брызг, натеков металла и окрашены.

К общим требованиям производства сварочных работ относятся:

- при атмосферных осадках или ветре свыше 10 м/с сварочные работы выполнять при наличии инвентарных укрытий;
- при температуре наружного воздуха ниже минус 20 °С сварочные работы не производить.

Таблица 13 - Предельные отклонения конструкций резервуаров, монтируемых методом листовой сборки

№	Наименование детали	Наименование параметра	Предельное отклонение, мм
1	Элемент стенки	Ширина	±0,5
		Длина	±1,0
2	Элемент центральной части днища	Ширина	±0,5
		Длина	±1,0

6.3 Контроль качества сварных соединений

Свариваемые конструкции подвергают контролю на всех этапах их изготовления. Совместно с этим производят контроль приспособлений и оборудования, задействованного в процессе.

Целью контроля подготовки и сборки под сварку является предупреждение возможности появления брака.

Сварное соединение контролируют визуальным осмотром, замером сварного шва, испытанием на плотность (для сосудов, работающих под давлением), металлографическим, физическим и химическим исследованиями, механическими испытаниями.

Визуальным осмотром определяют внешние дефекты сварного шва: неравномерность швов по высоте и ширине, подрезы, трещины, внешние поры и т. д [24].

Для определения механических свойств сварного соединения сварщик заваривает образцы в тех же условиях и из того же металла, что и металлоконструкция. Из сварных пластин изготавливают стандартные образцы, которые подвергают механическим испытаниям для определения предела прочности, относительного удлинения, ударной вязкости, угла загиба и твердости.

При химическом методе испытания в сосуд со сжатым воздухом подают аммиак в количестве 1% объема изделия. Предварительно на сварные швы накладывают бумажные ленты, пропитанные 5%-ным раствором азотной кислоты. Проникая через поры и трещины шва, аммиак вызовет почернение бумаги в том месте, где имеется дефект.

Металлографический метод контроля сварных соединений состоит в исследовании макро- и микроструктуры сварного шва и околошовной зоны (зоны термического влияния).

Макроструктурой называется структура металла, видимая невооруженным глазом на отшлифованной поверхности образца, протравленной 10%-ным водным раствором азотной кислоты. Этим методом выявляют трещины, несплавления, непровары, шлаковые включения, раковины, поры и др.

Микроструктурой называется строение протравленного металла, видимое под микроскопом при увеличении в 100—2000 раз.

Поверхность вырезанного образца должна быть отшлифована, отполирована и протравлена специальным реактивом (в зависимости от марки материала).

При данном методе исследования выявляется наличие окислов по границам зерен, изменение структуры металла вследствие выгорания отдельных его элементов при сварке, перегрев и пережог металла, микротрещины и другие дефекты.

По результатам макро- и микроисследований сварного соединения можно судить о правильности подбора режима сварки и о ведении процесса сварки.

Способ засверливания шва применяют для определения непровара корня или кромки в отдельных сомнительных местах. Отмеченное место шва засверливают сверлом или конической фрезой, диаметр которых на 3 мм больше ширины сварного шва. Засверленную поверхность протравливают 10—12%-ным двойным раствором хлористой соли и аммония.

Если в месте засверловки будет непровар, то после травления его легко обнаружить. Место засверловки после испытания заваривают.

Плотность сварного шва можно проверить керосином на различных резервуарах или сосудах, не работающих под давлением. Для этого сварной шов покрывают водным раствором мела со стороны, наиболее доступной для устранения выявленного дефекта. После высыхания мелового раствора шов с обратной стороны промазывается керосином. При наличии дефектов в сварном шве в виде сквозных пор, неплотностей и трещин керосин, просачиваясь через них, даст на меловой поверхности хорошо заметные темные пятна [25].

Просвечивание сварных швов рентгеновскими лучами и гамма-лучами позволяет обнаружить внутренние дефекты в сварных швах: поры, непровары, трещины, шлаковые включения.

Для просвечивания пучок рентгеновских лучей или гамма-лучей направляют на сварной шов. Эти лучи проникают через толщу металла и действуют на фотопленку, расположенную с обратной стороны шва.

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ	Лист
						60
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

В местах нахождения дефекта (непровар, трещина и др.) поглощение лучей металлом будет меньше, и они окажут более сильное воздействие на пленку. При проявлении фотопленки на месте дефекта будет более темное пятно, по своей форме соответствующее данному дефекту. Снимок сварного шва, сделанный на пленку рентгеновскими лучами, называется рентгенограммой, а гамма-лучами — гаммограммой [26].

Нормы на просвечивание сварных швов устанавливает Госгортехнадзор, а также специальные ведомственные инструкции или нормативные документы.

Сварные швы просвечивают рентгеновскими аппаратами, состоящими из трансформатора с выпрямителем и лампы (рентгеновской трубки).

Гамма-лучи — лучи, излучаемые радиоактивными источниками. Источники гамма-лучей используют в тех случаях, когда рентгеновские лучи не применимы из-за конфигурации изделия, в труднодоступных местах и при большой толщине металла.

Ультразвуковой метод основан на упругих высокочастотных колебаниях (20000 Гц), способных проникать в металл шва и отражаться от поверхности дефекта. Ультразвуковые колебания получают с помощью пьезодатчика, в который вмонтирована пластинка из кварца или титаната бария и подведен переменный ток частотой 0,8 – 2,5 МГц [27].

Отраженные ультразвуковые колебания улавливают щупом с последующим преобразованием их в электрические импульсы, сигнал которых показывает на экране прибора наличие дефекта на данном месте шва. Ультразвуковым методом можно контролировать металлоконструкции с толщиной стенки не менее 4 мм.

Магнитный метод контроля заключается в покрытии сварного шва смесью масла с железным порошком с размером частиц 5 – 10 мкм. После покрытия шва деталь или узел намагничивается постоянным или переменным током до 200 А от сварочного преобразователя или трансформатора. Частицы железного порошка под действием магнитного поля располагаются густым налетом около дефектных мест. Подобное явление объясняется образованием

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ	Лист
						61
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

местных магнитных полюсов, притягивающих частицы порошка. Данным методом контроля можно обнаружить в стальных конструкциях мелкие внутренние трещины и непровары на глубине 5—6 мм [28].

Магнитографический метод контроля заключается в фиксировании дефекта сварного шва резервуара на ферромагнитную пленку. В месте дефекта металл шва неоднороден, следовательно, неоднородна и его магнитная проницаемость, поэтому меняется и степень намагничивания пленки в этом месте [29].

На рисунке 25 приведена схема записи контролируемого стыка резервуара.

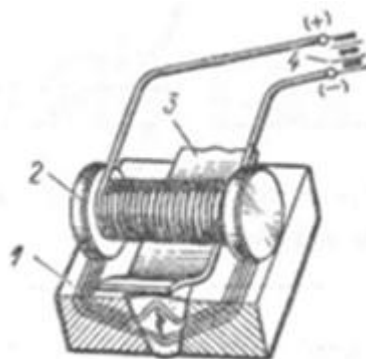


Рисунок 25 – Схема записи контроля при магнитографическом методе:
1 – сварной образец; 2 – электромагнит; 3 – ферромагнитная лента; 4 – источник постоянного тока

На рисунке 26 показан характер кривых на экране осциллографа в зависимости от характера дефекта.



Рисунок 26 – Виды кривых на экране осциллографа при воспроизведении записи

При пропускании такой пленки через соответствующую аппаратуру, с которой импульсы поступают на экран осциллографа, по величине и форме кривой на экране можно судить о величине и характере дефекта сварного шва. Подобный метод контроля точен и прост, поэтому проверять сварные швы можно в различных пространственных положениях.

Основные методы контроля сварных соединений резервуара приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Методы контроля сварных соединений резервуара

Зона контроля	Метод контроля				
	ВИК	КК	РК	УЗК	МПК
Вертикальные швы I и II поясов	+	-	+	+	-
Вертикальные швы III, IV, V, VI поясов	+	-	+	+	-
Горизонтальные швы поясов	+	-	+	+	-
Швы перекрестий вертикального и горизонтального шва	+	-	+	-	-
Места удаления сборочных приспособлений	+	-	-	-	+
Шов стенки с днищем	+	+	-	-	+
Швы днища, накладок и пластин с днищем	+	-	-	-	-
Швы днища на расстоянии 250 мм от наружной кромки	+	-	+	-	-

7 Исследование механических свойств и микроструктуры сварных швов

7.1 Металлографические исследования сварных соединений стали 17ГС, полученных с помощью полуавтоматической сварки

Для подготовки микрошлифов использовали оборудование для механической подготовки образцов фирмы Buehler.

Методика подготовки общепринятая: пошаговое шлифование на абразивной карбидокремниевой бумаге зернистостью от P180 до P1000, затем полирование на различных тканях с использованием алмазной суспензии с размерами частиц 9 и 3 мкм и финальное полирование с помощью коллоидной суспензии с размером оксидов кремния 0,06 мкм на синтетическом бархате до получения зеркальной поверхности без рисков [30].

Для выявления микроструктуры травление микрошлифа производилось в течении 5-10 с в реактиве следующего состава: плавиковая кислота – 5 мл, азотная кислота – 5 мл, вода – 90 мл.

Исследование микроструктуры проводили на оптическом микроскопе Observer Z1m фирмы Carl Zeiss. Внешний вид микроскопа представлен на рисунке 27.



Рисунок 27 – Микроскоп Observer Z1m

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Чередник К.В.			Исследование механических свойств и микроструктуры сварных швов		Лит.	Лист
Руковод.		Веревкин А.В.						Листов
Консульт.								64
Зав. Каф.		Рудаченко А.В.						10
					НИ ТПУ гр. 2БМ4А			

Исследования проводили на образцах сварных соединений. Для выявления микроструктуры производили электролитическое травление микрошлифов в течение 5-10 с в 10% растворе азотной кислоты при пропускании тока плотностью $2 \cdot 10^3 \text{ А/м}^2$. На рисунке 28 показаны панорамные снимки центральной части поперечных шлифов (вертикальная линия обозначает ось шва).

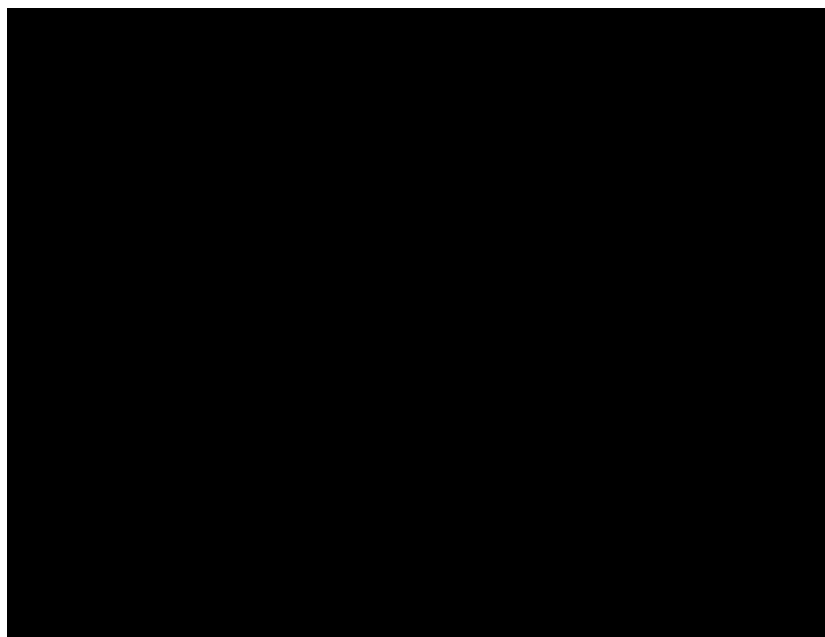


Рисунок 28 – Панорамные снимки центральной части, полученных на скорости сварки: а) 10 м/ч, б) 15 м/ч, в) 20 м/ч, увеличение 200-кратное

Структура основного металла свариваемых пластин стали 17ГС формируется в процессе термообработки, которая заключается либо в отжиге, либо в закалке с последующим отпуском. В результате микроструктура представлена зернами феррита и перлита с многочисленными включениями карбидов (рисунок 29). Такая структура позволяет повысить пластичность и снизить твердость металла, что благоприятно сказывается на технологичности.

Микроструктура зоны термического влияния определяется сварочным термическим циклом, а именно температурой нагрева и временем пребывания металла в аустенитном состоянии. Металл в зоне термического влияния, нагретый выше A_{c1} , претерпевает мартенситное превращение из-за высоких скоростей охлаждения.

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ	Лист
						65
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

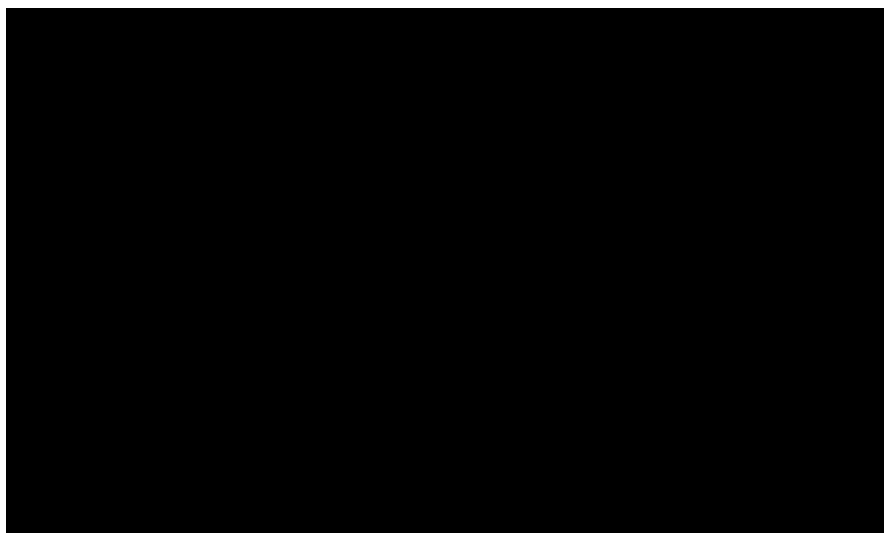


Рисунок 29 – Микроструктура основного металла: увеличение 200-кратное (а) и 1000-кратное (б)

Также следует отметить, что структура зоны термического влияния на сварных соединениях, полученных при разных скоростях идентична (рисунок 30), и отличается только протяженностью.

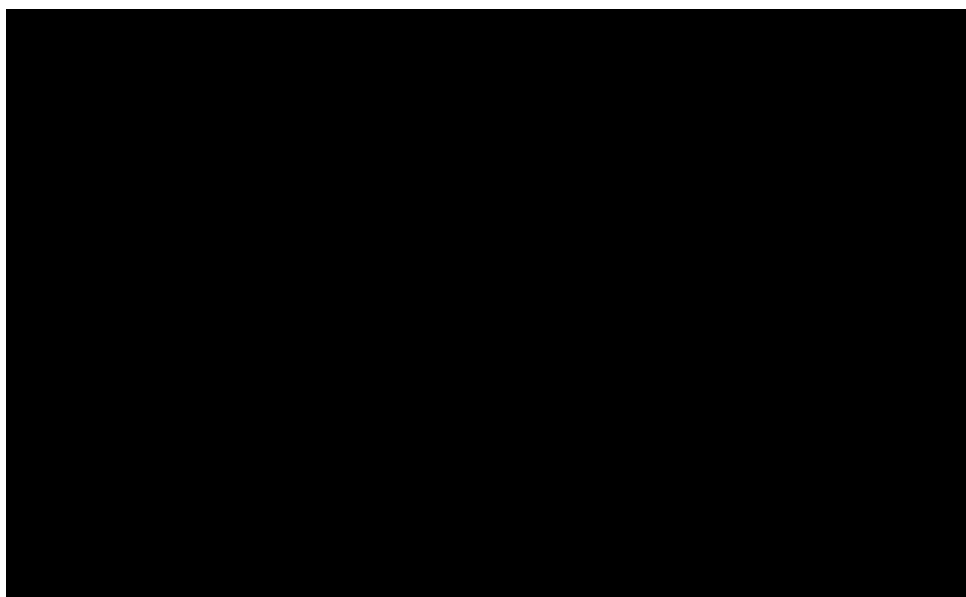


Рисунок 30 – Микроструктура зоны термического влияния сварных соединений на увеличении в 1000 раз, полученных на скорости сварки: а) 10 м/ч, б) 15 м/ч, в) 20 м/ч



					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66

[Redacted text block]

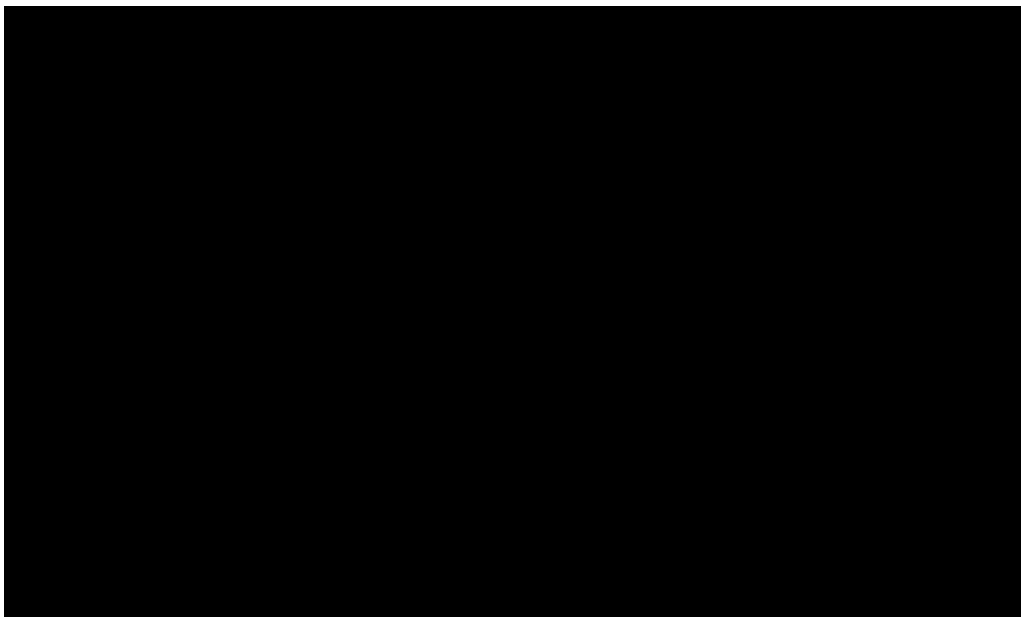


Рисунок 31 – Линия сплавления сварных соединений на увеличении в 1000 раз, полученных на скорости сварки: а) 10 м/ч, б) 15 м/ч, в) 20 м/ч

Микроструктура центральной части сварных швов, полученных на различных скоростях (рисунок 32), состоит из мартенсита и включений первичного феррита, [Redacted text]

[Redacted text block]

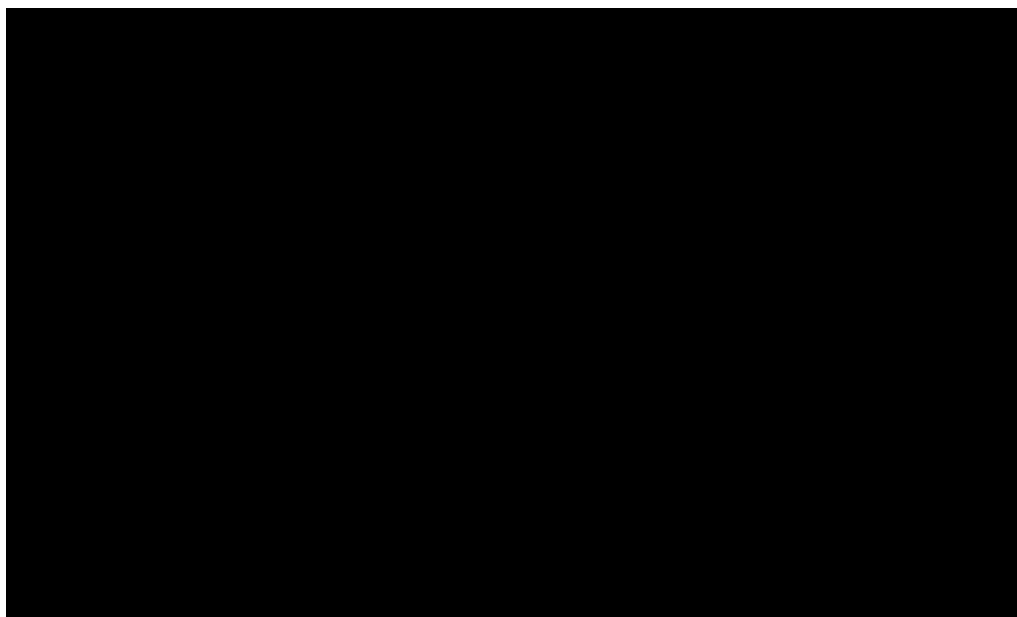


Рисунок 32 – Микроструктура металла шва на увеличении в 1000 раз, полученных на скорости сварки: а) 10 м/ч, б) 15 м/ч, в) 20 м/ч

В целом, сварные соединения стали 17ГС, полученные на разных скоростях, имеют сходную структуру, однако растущие к центру дендриты и малое количество первичного феррита в металле швов, полученных на высоких скоростях, приводят повышению вероятности образования ликваций в центре шва и появлению трещин в результате снижения пластичности.

7.2 Исследование механических свойств сварных соединений стали 17ГС, полученных с помощью полуавтоматической сварки

Измерение твердости в различных зонах сварных соединений проводили с использованием твердомера Tukon 2500 (рисунок 33).



Рисунок 33 – Внешний вид твердомера Tukon 2500

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ	Лист 68
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Твердомер может быть использован для оценки микроструктуры материалов, позволяет проводить испытания по определению твёрдости по Виккерсу. Также твердомер позволяет проводить серийные замеры твёрдости по заданным оператором точкам или кривым с заданным шагом непосредственно на живом изображении в транслирующем мониторе.

Твердомер имеет высокую точность позиционирования и способен давать увеличение поверхности исследуемого образца до 1000 раз. При выявлении распределения твёрдости по сечению сварного соединения исходными данными для проведения испытания являются нагрузка вдавливания и расстояние между отпечатками. Испытания проводятся в 91 автоматизированном режиме, после чего производится контроль результатов и, в случае необходимости, повторные измерения.

Для измерения твердости использовали микрошлифы, изготовленные для металлографических исследований. Нагрузка вдавливания составляла 5 кГ. Расстояние между центрами отпечатков – 500 мкм. На каждом шлифе выбирались 3 контрольных сечения, в каждом из которых производилось около 30 вдавливаний. На рисунке 34 представлена схема шлифа с указанием сечений, в которых проводили испытания.

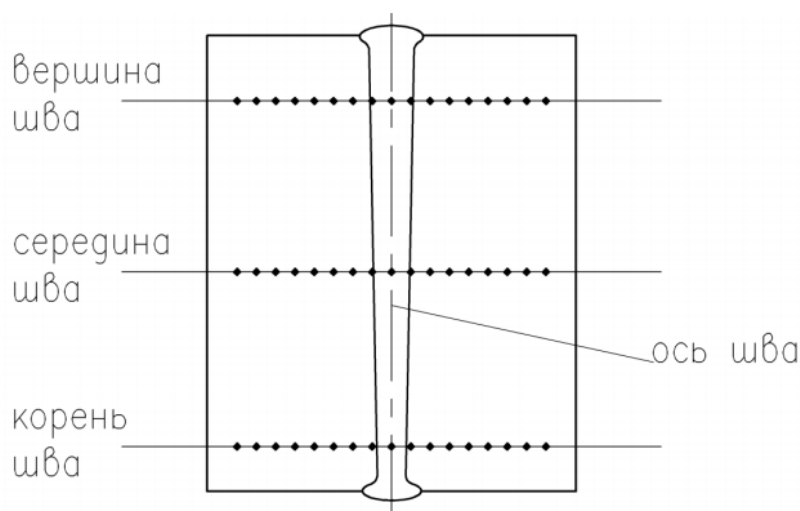
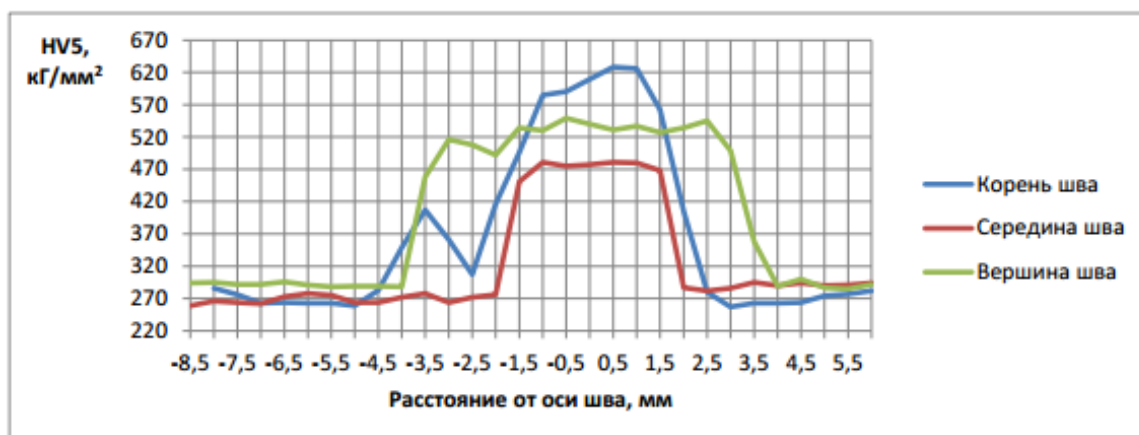
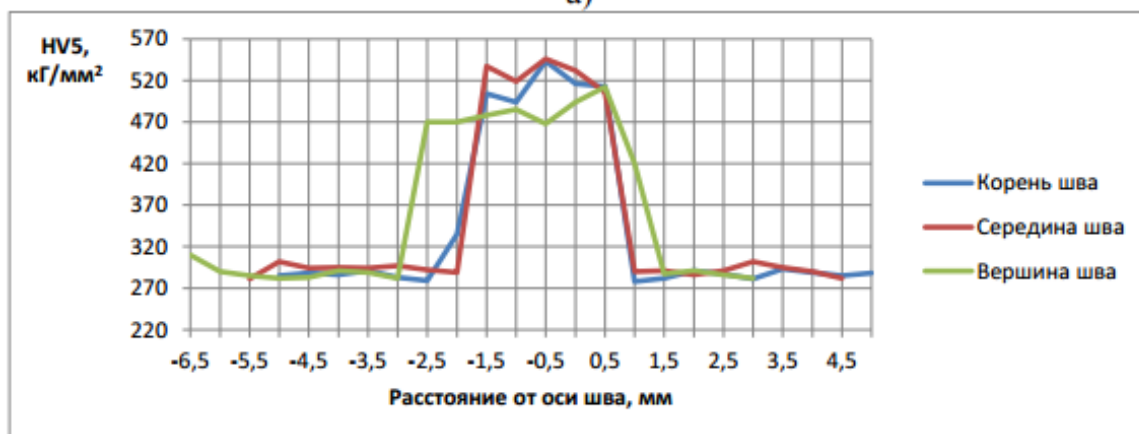


Рисунок 34 – Схема расположения контрольных сечений и точек на шлифах сварных соединений

Результаты измерения твердости сварных соединений стали 17ГС представлены в виде графиков на рисунке 35.



а)



б)



в)

Рисунок 35 – Распределение твердости на поперечных шлифах сварных соединений стали 17ГС, полученных на скорости сварки: а) 10 м/ч, б) 15 м/ч, в) 20 м/ч

Твёрдость металла шва во всех случаях максимальна и на 70-130% превышает твёрдость основного металла. Локальных провалов твёрдости не

выявлено, твердость в основном металле распределена равномерно. Наблюдается различие свойств в различных сечениях в пределах одного шлифа, особенно в сварном соединении, полученном на скорости 10 м/ч (рисунок 35 а), что объяснимо повышением поперечных напряжений в сечениях с большой шириной шва. В зоне термического влияния, где температура превышала A_{c3} в процессе сварки, твердость практически равна твердости металла шва, затем, по мере уменьшения температуры нагрева до A_{c1} , твердость снижается до уровня основного металла.

На рисунке 36 показано сравнительное распределение твердости в середине швов, полученных на различных скоростях сварки. Как видно из графика скорость сварки влияет на твердость металла шва незначительно, но при этом наблюдается некоторое увеличение твердости с увеличением скорости сварки.

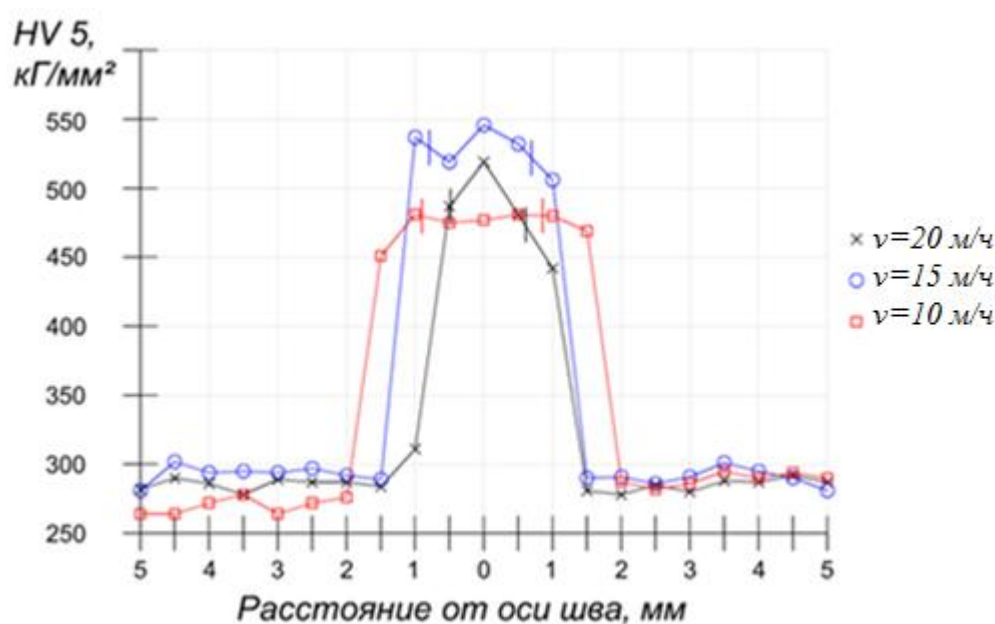


Рисунок 36 – Распределение твердости в средней части сварных соединений стали 17ГС, полученных на различных скоростях сварки

Для снижения трудоемкости использовали безобразцовые методы определения предела текучести $\sigma_{0.2}$ и временного сопротивления σ_B . Условный предел текучести $\sigma_{0.2}$ стали 17ГС определяли согласно ГОСТ 22762-77 [31] на аттестованном приборе МЭИ-Т7, оснащённом встроенным микроскопом МПВ-

1 (рисунок 37) для измерения диаметров отпечатков, с использованием индентора диаметром $D = 10$ мм.



Рисунок 37 – Внешний вид прибора МЭИ-Т7

В основу безобразцового метода определения временного сопротивления заложена аналогия между диаграммой растяжения и вдавливания. Для определения твёрдости на уровне временного сопротивления использовали сферический индентор диаметром $D = 1$ мм, поскольку узкие швы не позволяют использовать инденторы большего диаметра.

Распределение предела текучести $\sigma_{0.2}$ и временного сопротивления σ_B посередине швов, полученных на разных скоростях, представлено на рисунке 38.

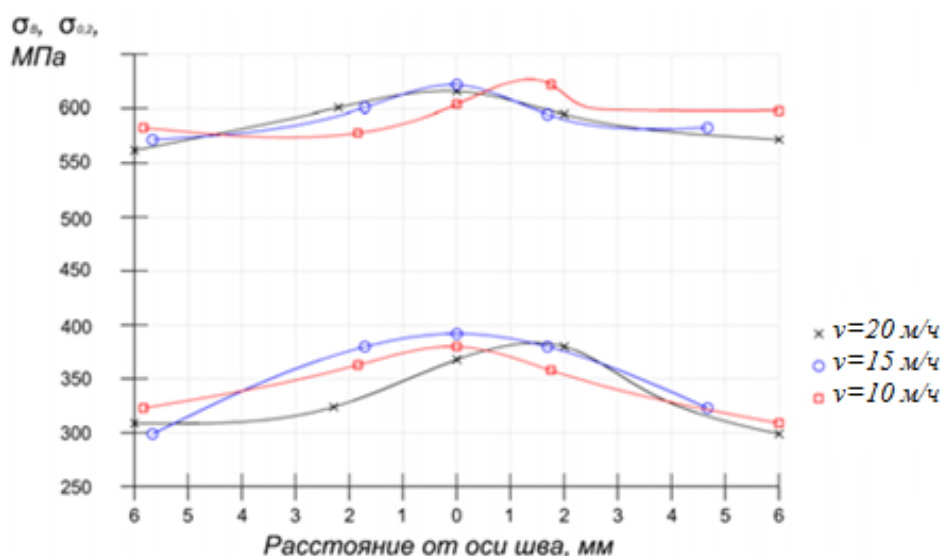


Рисунок 38 – Распределение предела текучести $\sigma_{0.2}$ и временного сопротивления σ_B посередине швов, полученных на разных скоростях сварки

Таким образом, низколегированные стали, к которым относится сталь 17ГС, не испытывают фазовых превращений в твердом состоянии и имеют высокий запас пластичности, повышение скорости сварки не влияет на качество сварных соединений, поэтому для них можно рекомендовать использование высоких скоростей сварки для улучшения формирования корня при полуавтоматической сварке.

С увеличением скорости сварки уменьшается содержание остаточного феррита в стали 17ГС, что в свою очередь приводит к снижению пластичности в результате образования ликваций и зарождению трещин по оси шва. Поэтому при сварке сталей данного класса рекомендуется использование более низких скоростей сварки или (и) проведение предварительного подогрева свариваемых деталей и последующей термообработки.

Важно отметить, что с понижением скорости сварки снижается концентрация летучих элементов, таких как марганец, поэтому это нужно учитывать при полуавтоматической сварке сталей, содержащих большое количество летучих компонентов.

8 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью экономического расчета является сравнение двух способов сварки, применяющихся при сооружении резервуара вертикального стального объемом 5000 м³ и выявление наиболее выгодного способа сварки.

Несмотря на определенный прогресс, достигнутый в последние годы в резервуаростроении, резервуары для нефти и нефтепродуктов остаются одними из наиболее опасных объектов.

Опасность возникновения аварийных ситуаций оценивается тяжестью причиняемого ущерба, который зависит от того, как проявляется авария: в виде взрывов и пожаров от разлившегося нефтепродукта, в виде хрупких разрушений или локальных отказов резервуаров. Как показывает практика, аварии РВС в большинстве случаев сопровождаются значительными потерями нефтепродуктов, отравлением местности и гибелью людей. В экстремальных случаях по статистическим данным общий материальный ущерб превышает в 500 и более раз первичные затраты на сооружение резервуаров.

Поэтому, во избежание возникновения аварийных ситуаций необходимо качественно производить сооружение резервуара.

Расчет эксплуатационных затрат на сооружение резервуара:

- 1) с применением механизированной сварки;
- 2) с применением ручной дуговой сварки - (РДС).

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ							
Изм.		№ докум.	Подпись	Дата								
Разраб.		Чередник К.В.			Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение				Лит.	Лист	Листов	
Руковод.		Веревкин А.В.									74	16
Консульт.												
Зав. Каф.		Рудаченко А.В.										
					НИ ТПУ гр. 2БМ4А							

8.1 Расчет расхода сварочных материалов и времени сварки

Расчет времени сварки можно произвести по формуле:

$$t = \frac{S}{V_{\text{св}}}, \quad (17)$$

где S – общая протяженность сварных швов, м;

$V_{\text{св}}$ – скорость сварки, м/ч.

Протяженность сварных швов определяется по следующей формуле:

$$S = S_{\text{гориз}} + S_{\text{верт}}, \quad (18)$$

где $S_{\text{гориз}}$ – общая протяженность горизонтальных сварных швов, м;

$S_{\text{верт}}$ – общая протяженность вертикальных швов, м.

Общая протяженность горизонтальных и вертикальных сварных швов определяется из условия того, что для сварки каждого пояса резервуара необходимо 9 листов размером 2х8 м. Следовательно, протяженность горизонтальных и вертикальных сварных швов для I пояса составляет:

$$S_{\text{гориз1}} = 9 \cdot 8 = 72 \text{ (м)},$$

$$S_{\text{верт1}} = 9 \cdot 2 = 18 \text{ (м)}.$$

Общая протяженность сварных швов составит:

$$S_1 = 72 + 18 = 90 \text{ (м)}.$$

Скорость сварки для каждого пояса резервуара определяется, исходя из таблицы 11. Для I пояса резервуара значение скорости сварки равно 11,69 м/ч. Следовательно, время сварки I пояса резервуара составит:

$$t_1 = \frac{90}{11,69} = 7,7 \text{ (ч)}.$$

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ	Лист
						75
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Расход сварочной проволоки определяется по формуле:

$$C = V_{\text{пэл}} \cdot t \cdot K_p, \quad (19)$$

где $V_{\text{пэл}}$ – скорость подачи электродной проволоки, м/ч.

K_p – коэффициент расхода сварочной проволоки; $K_p=1,15$;

t – время сварки, ч.

Скорость подачи электродной проволоки определяется, исходя из таблицы 11. Данный параметр остается на всем протяжении сварочного процесса и равен 352,4 м/ч. Следовательно, расход сварочной проволоки для I пояса резервуара будет равен:

$$C_1 = 352,4 \cdot 7,7 \cdot 1,15 = 3121 \text{ (м)}.$$

Необходимо произвести пересчет расхода сварочной проволоки из метров в килограммы по формуле:

$$m = V \cdot \rho = \frac{\pi \cdot d_э^2}{4} \cdot C \cdot \rho, \quad (20)$$

где $d_э$ – диаметр электрода ($d_э=0,0012$ м);

ρ – плотность материала электрода ($\rho=7790$ кг/м³);

C – расход сварочной проволоки, м.

$$m_1 = \frac{3,14 \cdot 0,0012^2}{4} \cdot 3121 \cdot 7790 = 27,48 \text{ (кг)}.$$

Расход углекислого газа определяется из условия того, что для производства сварки сварочной проволокой диаметром 1,2 мм расход углекислого газа составляет 12 л/мин или 720 л/ч [32]. Расход углекислоты определяется по формуле:

$$D = 720 \cdot t, \quad (21)$$

где t - время сварки, ч.

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ	Лист
						76
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Для I пояса резервуара расход углекислого газа будет равен:

$$D_1 = 720 \cdot 7,7 = 5544 \text{ (л)}.$$

Расчет времени сварки II пояса будет аналогичен расчету для I пояса резервуара. В расчете изменится только скорость сварки, которая берется из таблицы 11. По формуле (17) рассчитываем время сварки:

$$t_2 = \frac{90}{14,02} = 6,42 \text{ (ч)}.$$

Расход сварочной проволоки определяется по формуле (19):

$$C_2 = 352,4 \cdot 6,42 \cdot 1,15 = 2602 \text{ (м)}.$$

Необходимо произвести пересчет расхода сварочной проволоки из метров в килограммы по формуле (20):

$$m_2 = \frac{3,14 \cdot 0,0012^2}{4} \cdot 2602 \cdot 7790 = 22,91 \text{ (кг)}.$$

Для II пояса резервуара расход углекислого газа определяется из формулы (21):

$$D_2 = 720 \cdot 6,42 = 4622 \text{ (л)}.$$

Расчет времени сварки III пояса будет аналогичен расчету для I пояса резервуара. В расчете изменится только скорость сварки, которая берется из таблицы 11. По формуле (17) рассчитываем время сварки:

$$t_3 = \frac{90}{15,93} = 5,65 \text{ (ч)}.$$

Расход сварочной проволоки определяется по формуле (19):

$$C_3 = 352,4 \cdot 5,65 \cdot 1,15 = 2290 \text{ (м)}.$$

Необходимо произвести пересчет расхода сварочной проволоки из метров в килограммы по формуле (20):

$$m_3 = \frac{3,14 \cdot 0,0012^2}{4} \cdot 2290 \cdot 7790 = 20,17 \text{ (кг)}.$$

Для III пояса резервуара расход углекислого газа определяется из формулы (21):

$$D_3 = 720 \cdot 5,65 = 4068 \text{ (л)}.$$

Расчет времени сварки IV, V и VI поясов резервуара будет аналогичен расчету для I пояса резервуара. В расчете изменится только скорость сварки, которая берется из таблицы 11. По формуле (17) рассчитываем время сварки:

$$t_4 = t_5 = t_6 = \frac{90}{19,49} = 4,62 \text{ (ч)}.$$

Расход сварочной проволоки определяется по формуле (19):

$$C_4 = C_5 = C_6 = 352,4 \cdot 4,62 \cdot 1,15 = 1872 \text{ (м)}.$$

Необходимо произвести пересчет расхода сварочной проволоки из метров в килограммы по формуле (20):

$$m_4 = m_5 = m_6 = \frac{3,14 \cdot 0,0012^2}{4} \cdot 1872 \cdot 7790 = 16,48 \text{ (кг)}.$$

Для IV, V и VI поясов резервуара расход углекислого газа определяется из формулы (21):

$$D_4 = D_5 = D_6 = 720 \cdot 4,62 = 3326 \text{ (л)}.$$

Общее время сварки стенки будет равно сумме времени сварки каждого пояса резервуара и определяется по формуле:

$$t = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6, \quad (22)$$

$$t = 7,7 + 6,42 + 5,65 + 4,62 + 4,62 + 4,62 = 33,63 \text{ (ч)}.$$

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		78

Общий расход сварочной проволоки определяется по формуле:

$$m = m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5 + m_6, \quad (23)$$

$$m = 27,48 + 22,91 + 20,17 + 16,48 + 16,48 + 16,48 = 120 \text{ (кг)}.$$

Общий расход углекислого газа определяется по формуле:

$$D = D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5 + D_6, \quad (24)$$

$$D = 5544 + 4622 + 4068 + 3326 + 3326 + 3326 = 24212 \text{ (л)}.$$

Так как в баллонах находится углекислота, то необходимо пересчитать расход газа. Из 1 л углекислоты получается 315 л углекислого газа. Соответственно, количество углекислоты, необходимой для сварки, составит:

$$g = \frac{24212}{315} = 76,86 \text{ (л)}.$$

Все расчеты проведены для сварки с одной стороны, а так как сварка двусторонняя, то необходимо в 2 раза больше сварочной проволоки и углекислого газа:

$$M = 2 \cdot 120 = 240 \text{ (кг)};$$

$$G = 2 \cdot 76,86 = 153,7 \text{ (л)}.$$

Расчет времени сварки днища резервуара определяется из расчета протяженности сварных швов и скорости сварки, которая принимается в соответствии с таблицей 11. Протяженность сварных швов составляет 291 м. По формуле (17) рассчитываем время сварки:

$$t_{\text{дн}} = \frac{291}{11,69} = 24,9 \text{ (ч)}.$$

Расход сварочной проволоки определяется по формуле (19):

$$C_{\text{дн}} = 352,4 \cdot 24,9 \cdot 1,15 = 10091 \text{ (м)}.$$

Необходимо произвести пересчет расхода сварочной проволоки из метров в килограммы по формуле (20):

$$m_{\text{дн}} = \frac{3,14 \cdot 0,0012^2}{4} \cdot 10091 \cdot 7790 = 88,86 \text{ (кг)}.$$

Расход углекислого газа определяется по формуле (21):

$$D_{\text{дн}} = 720 \cdot 24,9 = 17928 \text{ (л)}.$$

Из 1 л углекислоты получается 315 л углекислого газа. Соответственно, количество углекислоты, необходимой для сварки, составит:

$$g = \frac{17928}{315} = 56,9 \text{ (л)}.$$

Так как сварка производится двумя сварочными аппаратами, то время сварки будет в 2 раза меньше и равно:

$$t_{\text{дн}} = \frac{24,9}{2} = 12,51 \text{ (ч)}.$$

Таким образом, общее время сварки складывается из суммы времени на сварку стенки резервуара и времени на сварку его днища и равно:

$$T_{\text{общ}} = 33,63 + 12,51 = 46,14 \text{ (ч)}.$$

Общее количество сварочной проволоки также определяется из суммы расходов проволоки на сварку стенки и днища резервуара:

$$M_{\text{общ}} = 240 + 88,86 = 328,86 \text{ (кг)}.$$

Общее количество углекислого газа, необходимого для производства процесса сварки равно:

$$G_{\text{общ}} = 153,7 + 56,9 = 210,6 \text{ (л)}.$$

При использовании ручной дуговой сварки расход электродов определяется по формуле:

$$L_{\text{э}} = K_p \cdot G_{\text{н}}, \quad (25)$$

где K_p – коэффициент расхода электродов на один килограмм наплавленного металла. Для электродов LB – 52U он равен: $K_p = 1,6$.

$G_{\text{н}}$ – масса наплавленного металла, которую определим по формуле:

$$G_{\text{н}} = V \cdot \gamma, \quad (26)$$

где V – объем наплавленного металла, см^3 ;

γ – плотность металла; $\gamma = 7,8 \text{ г/см}^3$.

Объем наплавленного металла определяется по формуле:

$$V = (F_{\text{н1}} \cdot S_1) + (F_{\text{н2}} \cdot S_2) + (F_{\text{н3}} \cdot S_3) + (F_{\text{н4}} \cdot S_4) + (F_{\text{н5}} \cdot S_5) + (F_{\text{н6}} \cdot S_6) + (F_{\text{дн}} \cdot S_{\text{дн}}), \quad (27)$$

где $F_{\text{н}}$ – площадь наплавленного металла пояса, см^2 ;

S – длина сварных швов пояса, см.

Следовательно:

$$\begin{aligned} V &= (0,3 \cdot 10800) + (0,274 \cdot 18000) + (0,225 \cdot 18000) + (0,188 \cdot 18000) \\ &\quad + (0,188 \cdot 18000) + (0,188 \cdot 18000) + (0,254 \cdot 29100) \\ &= 29765 (\text{см}^3). \end{aligned}$$

Таким образом:

$$L_{\text{э}} = 1,6 \cdot 29765 \cdot 7,8 = 371467 (\text{г}) = 371,5 (\text{кг}).$$

8.2 Расчет времени на проведение мероприятия

Определим нормы времени для механизированной сварки в среде углекислого газа. Время на проведение мероприятия включает в себя основное

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		81

время выполнения проходов, а также вспомогательное время, необходимое для подготовки кромок сварного соединения и их последующую обработку.

Основное время, рассчитанное в п. 7.1 равно 46,14 ч.

Согласно справочнику «Единые нормы и расценки на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы. Сборник Е22» [33] время на выполнение мероприятия представлено в таблице 15.

Таблица 15 – Вспомогательное время на выполнение мероприятия

Операция	Время, мин	Общее время, ч
Разделка кромок плазморезами	15	20
Последующая обработка кромок шлифовальными машинами	30	40
Предварительный подогрев	20	26,7
Приварка «ушей», монтаж листов, фиксация	40	53,3
Смена кассеты со сварочной проволокой	3	1,2
Шлифовка облицовочного шва	40	53,3
Другие операции	10	13,3
Итого:	158	208

Так как основные и вспомогательные операции могут выполняться одновременно, то общее время на мероприятие будет равно наибольшему значению из этих двух времен. Следовательно, общее время на выполнение мероприятия будет равно:

$$T = 208 \text{ (ч)}.$$

8.3 Расчет количества необходимой техники и оборудования

В процессе сооружения потребуются следующая техника: автомобильный кран. Он необходим для захвата листов резервуара и поднятия их на необходимую высоту. В качестве такого крана был выбран автомобильный кран КС-35719-3-02, являющийся высокопроходимым, что является одним из важнейших условий при выборе техники для сооружения резервуаров.

Непосредственно для производства процесса сварки потребуется 2 сварочных аппарата. В качестве таких аппаратов были выбраны сварочные полуавтоматы компании Lorch серии P-3500 при полуавтоматической сварке и аппараты Lorch X 350 BasicPlus при ручной дуговой сварке.

Вся техника и оборудование необходимы на протяжении всего времени сооружения резервуара (при механизированных способах сварки – 208 ч., при ручной дуговой сварке – 290 ч.).

8.4 Затраты на амортизационные отчисления

Затраты определяются, исходя из балансовой стоимости основных производственных фондов и нематериальных активов и утвержденных в установленном порядке норм амортизации, учитывая ускоренную амортизацию их активной части. Нормы амортизации для автомобильного крана выбираем согласно единым нормам амортизационных отчислений на полное восстановление основных фондов народного хозяйства СССР (утв. постановлением СМ СССР от 22 октября 1990 г. N 1072) [34].

Расчет амортизационных отчислений при сооружении резервуара с применением механизированных способов сварки представлен в таблице 16.

Таблица 16 – Расчет амортизационных отчислений при сооружении резервуара с применением механизированных способов сварки

Объект	Стоимость руб.	Норма амортизации %	Норма амортизации в год, руб.	Норма амортизации в час, руб.	Кол-во	Время работы, час.	Сумма амортизации, руб.
Автомобильный кран КС-35719- 3-02	5450000	10	545000	62,21	1	208	12939,7
Сварочный аппарат Lorch P-3500	365425	8,33	30440	3,48	2	208	1447,8
Итого	14387,5						

Расчет амортизационных отчислений при сооружении резервуара с применением ручной дуговой сварки представлен в таблице 17.

Таблица 17 – Расчет амортизационных отчислений при сооружении резервуара с применением ручной дуговой сварки

Объект	Стоимость руб.	Норма амортизации %	Норма амортизации в год, руб.	Норма амортизации в час, руб.	Кол-во	Время работы, час.	Сумма амортизации, руб.
Автомобильный кран КС-35719-3-02	5450000	10	545000	62,21	1	290	18040,9
Сварочный аппарат Lorch X 350 BasicPlus	185750	8,33	15473	1,77	2	290	1026,6
Итого	19067,5						

Расчет амортизационных отчислений показывает, что при механизированных способах сварки резервуара амортизационные отчисления составят 14387,5 руб, тогда как при сооружении резервуара с применением ручной дуговой сварки этот же показатель составляет 19067,5 руб. Соответственно, экономия затрат на данном этапе составляет 4680 руб.

8.5 Затраты на материалы

Стоимость материалов на проведение мероприятия двумя способами сварки приведена в таблице 18.

Таблица 18 – Стоимость материалов на проведение мероприятия двумя способами сварки

Наименование материалов		Метод сварки: механизированная сварка			Метод сварки: ручная дуговая сварка		
		Кол-во, кг.	Цена, руб.	Сумма, руб.	Кол-во, кг.	Цена, руб.	Сумма, руб.
1	Лист горячекатаный 9.0, 17ГС	35	123550	4324250			
2	Лист горячекатаный 8.0, 17ГС	9	109800	988200			
3	Лист горячекатаный 7.0, 17ГС	9	96100	864900			
4	Лист горячекатаный 6.0, 17ГС	27	82400	2224800			
5	Электроды				371,5	170	63155
6	Кассета со сварочной проволокой (15 кг)	328,86	1320	29040			
7	Углекислота в баллоне (V=40 л)	210,6	1300	7800			
8	Топливо	6240	35,8	223392	8700	35,8	311460
	Итого:			8662382			8776765

Из таблицы следует, что использование механизированной сварки выгоднее с экономической точки зрения на 114383 руб.

8.6 Расчет затрат на оплату труда

К расходам на оплату труда относятся:

- суммы, начисленные по тарифным ставкам, должностным окладам, сдельным расценкам или в процентах от выручки от реализации продукции (работ, услуг) в соответствии с принятыми на предприятии (организации) формами и системами оплаты труда;
- надбавки по районным коэффициентам, за работу в районах крайнего Севера и др.

Таблица 19 – Расчет заработной платы

Профессия	Разряд	Количество		Тарифная ставка, руб./час	Время на проведение мероприятия, ч.		Тарифный фонд ЗП, руб.		Сев. и рай. коэф. 50%+60%		Заработная плата с учетом надбавок, руб.	
		Мех.	РДС		Мех.	РДС	Мех.	РДС	Мех.	РДС	Мех.	РДС
Мастер	8	1	1	165	208	290	34320	47850	37752	52635	72072	100485
Монтажник	6	2	2	102	208	290	42432	59160	46675	65076	89107	124236
Электросварщик	7	2	2	125	110	150	27500	37500	30250	41250	57750	78750
Электросварщик	3	1	1	54	54	75	2916	4050	3208	4455	6124	8505
Газорезчик	5	2	2	84	20	28	3360	4704	3696	5174	7056	9878
Слесарь	5	2	2	54	208	290	22464	31320	24710	34452	47174	65772
Крановщик	5	1	1	104	208	290	21632	30160	23795	33176	45427	63336
Итого		11	11				154624	214744	170086	236218	324710	450962

Исходя из полученных значений заработной платы с учетом надбавок, можно сделать вывод, что сооружение резервуара с применением механизированных способов сварки выгоднее с экономической точки зрения, чем сооружение резервуара с применением ручной дуговой сварки. Экономия составляет 126252 руб.

8.7 Затраты на страховые взносы

Затраты на страховые взносы в пенсионный фонд, фонд социального страхования, фонд обязательного медицинского страхования и обязательного социального страхования от несчастных случаев на производстве при сооружении резервуара с применением механизированных способов сварки представлены в таблице 20.

Рассчитывая затраты на страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, выбираем класс VIII с тарифом

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ	Лист
						86
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

0,9 для производства общестроительных работ по строительству прочих зданий и сооружений, не включенных в другие группировки (код по ОКВЭД – 45.21.6) [35].

Таблица 20 – Расчет страховых взносов при сооружении резервуара с применением механизированных способов сварки

Показатель	Мастер	Монтажник	Электросварщик 7 разряда	Электросварщик 3 разряда	Газорезчик	Слесарь	Крановщик
Количество работников	1	2	2	1	2	2	1
ЗП, руб.	72072	89107	57750	6124	7056	47174	45427
ФСС (2,9%)	2090,1	2584,1	1674,8	177,6	204,6	1368	1317,4
ФОМС (5,1%)	3675,7	4544,5	2945,3	312,3	359,9	2405,9	2316,8
ПФР (22%)	15855,8	19603,5	12705	1347,3	1552,3	10378,3	9993,9
Страхов-ие от несчаст. случаев (тариф 0,9%)	648,6	802	519,8	55,1	63,5	424,6	408,8
Всего, руб.	22270,3	27534,1	17844,8	1892,3	2180,3	14576,8	14036,9
Общая сумма, руб.	100335,3						

Затраты на страховые взносы в пенсионный фонд, фонд социального страхования, фонд обязательного медицинского страхования и обязательного социального страхования от несчастных случаев на производстве при сооружении резервуара с ручной дуговой сварки представлены в таблице 21.

Таблица 21 – Расчет страховых взносов при сооружении резервуара с применением ручной дуговой сварки

Показатель	Мастер	Монтажник	Электросварщик 7 разряда	Электросварщик 3 разряда	Газорезчик	Слесарь	Крановщик
Количество работников	1	2	2	1	2	2	1
ЗП, руб.	100485	124236	78750	8505	9878	65772	63336
ФСС (2,9%)	2914,1	3602,8	2283,8	246,6	286,5	1907,4	1836,7
ФОМС (5,1%)	5124,7	6336	4016,3	433,8	503,8	3354,4	3230,1
ПФР (22%)	22106,7	27331,9	17325	1871,1	2173,2	14469,8	13933,9
Страхов-ие от несчаст. случаев (тариф 0,9%)	904,4	1118,1	708,8	76,5	88,9	591,9	570
Всего, руб.	31049,9	38388,9	24333,8	2628	3052,3	20323,6	19570,8
Общая сумма, руб.	139347,3						

Исходя из полученных значений страховых взносов при двух способах сварки резервуара, можно сделать вывод, что экономия затрат на страховые взносы при сооружении резервуара с применением механизированных способов сварки составит 39012 руб. по сравнению с сооружением резервуара с применением ручной дуговой сварки.

8.8 Затраты на проведение мероприятия

На основании вышеперечисленных расчетов затрат определяется общая сумма затрат на проведение организационно-технического мероприятия (Таблица 22).

Таблица 22 – Затраты на проведение организационно – технического мероприятия

Состав затрат	Сумма затрат, руб.	
	Механ. св.	РДС
Амортизационные отчисления	14387	19067
Затраты на материалы	8662382	8776765
Оплата труда	324710	450962
Страховые взносы	100335	139347
Накладные расходы (20%)	1822447	1877228
Всего затрат:	10924261	11263369

Затраты на сварку резервуара объемом 5000 м³ механизированными способами составляют 10934681 руб., что на 339108 руб. меньше, чем при ручной дуговой сварке.

Экономический расчет показал что переход к новому методу сварки позволил снизить затраты и количество времени на проведение работ по сооружению резервуара.

9 Социальная ответственность при сооружении резервуара механизированными способами сварки

Социальная ответственность – ответственность перед людьми и данными им обещаниями (обязательствами), Это самое распространенное понимание ответственности, и при строгом рассмотрении любые другие виды ответственности являются формой социальной ответственности [36].

При проведении работ по сооружению резервуара присутствуют опасные и вредные производственные факторы, которые могут привести к ухудшению состояния здоровья или смерти рабочих, поэтому необходимо предусматривать мероприятия для защиты от них. Разработаны мероприятия, касающиеся техники безопасности при проведении работ и производственной санитарии, направленные на максимальное снижение или полное устранение опасных факторов; произведен расчет защитного заземления; разработаны мероприятия по охране окружающей среды и противопожарной профилактике.

Резервуар вертикальный стальной, эксплуатируемый в районе Крайнего Севера, подвергается дополнительным нагрузкам вследствие особенностей климата данного района. В зимнее время температура окружающего воздуха может опускаться до -45°C , а летом до $+25^{\circ}\text{C}$, что приводит к повышению напряжений в металле сварного шва и, как следствие, к возрастанию вероятности возникновения аварийной ситуации. Работы по сооружению резервуара проводятся в летнее время.

9.1 Профессиональная социальная безопасность

Для анализа опасных и вредных факторов при сооружении и эксплуатации резервуара вертикального стального в районе Крайнего Севера,

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ						
Изм.		№ докум.	Подпись	Дата							
Разраб.		Чередник К.В.			Социальная ответственность при сооружении резервуара механизированными способами сварки	Лит.		Лист		Листов	
Руковод.		Веревкин А.В.						90		16	
Консульт.						НИ ТПУ гр. 2БМ4А					
Зав. Каф.		Рудаченко А.В.									

а также их систематизации в нормативной документации была составлена таблица 23.

Таблица 23 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы при выполнении работ по сооружению резервуара

Наименование видов работ	Факторы (ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ с измен. 1999 г.)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1	2	3	4
Земляные работы; Подъем и установка листов; Сварочно-монтажные работы; Испытание резервуара	1. Отклонение показателей климата на открытом воздухе; 2. Превышение уровня шумов; 3. Повышенное содержание вредных веществ в рабочей зоне.	1. Электрический ток; 2. Пожаро- и взрывоопасность; 3. Электрическая дуга и металлические искры при сварке; 4. Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования (в т.ч. грузоподъемные).	ГОСТ 12.1.003-83 [37] ГОСТ 12.1.004-91 [38] ГОСТ 12.3.003-86 [39] ГОСТ 12.3.004-75 [40] ГОСТ 12.3.032-84 [41] ГОСТ 12.0.003-74 [42] ГОСТ 12.1.005-88 [43] ГОСТ 12.1.010-76 [44]

9.1.1 Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению

Вредными производственными факторами называются факторы, отрицательно влияющие на работоспособность или вызывающие профессиональные заболевания и другие неблагоприятные последствия [42].

1. Отклонение показателей климата на открытом воздухе

Климат представляет комплекс физических параметров воздуха, влияющих на тепловое состояние организма. К ним относят температуру,

влажность, скорость движения воздуха, интенсивность радиационного излучения солнца, величину атмосферного давления.

При выполнении работ по сооружению резервуара обслуживающему персоналу приходится работать под воздействием солнечных лучей, сильном ветре, при атмосферных осадках, в условиях высоких температур (до плюс 40 °С).

Профилактика перегрева осуществляется организацией рационального режима труда и отдыха путем сокращения рабочего времени для введения перерывов для отдыха в зонах с нормальным микроклиматом. От перегрева головного мозга предусматривают головные уборы, средства индивидуальной защиты.

Так как работы по сооружению резервуара проводятся в летнее время, то для безопасного проведения работ рабочим необходимо обеспечить соответствующими средствами индивидуальной защиты, в которые входят: комплект огнеупорной одежды (комбинезон, куртка), кепка (для снижения вероятности солнечного удара), перчатки, обувь.

В летнее время года преобладает большое количество гнуса и клещей, для защиты от которых всем рабочим должны выдать специальный энцефалитный костюм. Также, для защиты от комаров и других мелких насекомых, рабочим во время производства работ необходимо обеспечить соответствующими распылительными репеллентами.

2. Превышение уровня шумов

Действие шума на человека определяется влиянием на слуховой аппарат и многие другие органы, в том числе и на нервную систему.

При сооружении резервуара с применением механизированных способов сварки используют следующие виды техники: автомобильный кран, аппарат для загибания листов, шлифовальная машинка и т.д. Их работа сопровождается большим количеством шума, который, при длительном воздействии, может принести работнику дискомфорт или вред слуху. В

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРА, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ	Лист
						92
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

некоторых случаях у работника могут развиваться такие болезни, как: шумовая болезнь, сердечно-сосудистая недостаточность.

Длительное действие шума > 85 дБ в соответствии с нормативными документами СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [45] и ГОСТ 12.1.003-83 [37], приводит к постоянному повышению порога слуха, к повышению кровяного давления.

К основным методам борьбы с шумом можно отнести:

- снижение шума в источнике (применение звукоизолирующих средств);
- средства индивидуальной защиты (СИЗ): наушники;
- соблюдение режима труда и отдыха;
- использование средств автоматики для управления технологическими процессами.

3. Повышенное содержание вредных веществ в рабочей зоне

Перед началом работ в месте нахождения резервуара переносным газоанализатором АНТ–2М проверяется уровень загазованности воздушной среды. При этом содержание паров нефти и газов не должно превышать предельно-допустимой концентрации по санитарным нормам согласно таблице 24. Работа разрешается только после устранения опасных условий. В процессе работы следует периодически контролировать загазованность, а в случае превышения ее предельных значений необходимо приостановить все работы до момента, когда уровень загазованности примет допустимое значение.

Защита органов зрения осуществляется с помощью различных предохранительных очков.

Защита органов дыхания обеспечивается применением различного рода респираторов и противогазов.

Респираторы служат для защиты легких человека от воздействия взвешенной в воздухе пыли, противогазы - для защиты от газов и вредных паров.

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРА, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ	Лист
						93
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

В зависимости от содержания кислорода в воздухе применяются следующие противогазы:

- фильтрующие - при содержании кислорода в воздухе свыше 19 %. Обслуживающий персонал установки обеспечивается противогазами с марками коробок БКФ, возможно применение коробок марки «А»;
- шланговые - применяются при содержании кислорода в воздухе менее 20 % при наличии в воздухе больших концентраций вредных газов (свыше 0,5 % об.). Применение шланговых противогазов обязательно при проведении работ внутри аппаратов, резервуаров и другой аналогичной закрытой аппаратуры [46].

Таблица 24 - Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны [47]

Вещества	Предельно допустимая концентрация, мг/м ³	Класс опасности
Углеводороды C ₁ – C ₁₀	300	4
Оксид углерода (CO)	20	4
Диоксид азота (NO ₂)	2	2
Диоксид серы (SO ₂)	10	3
Диоксид углерода (CO ₂)	9000	4
Сажа	4	3

9.1.2 Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению

Опасными производственными факторами называются факторы, способные при определенных условиях вызывать острое нарушение здоровья и гибели человека [42].

1. Электрический ток

Электрический ток оказывает следующие воздействия на человека:

- поражение электрическим током;
- пребывание в шоковом состоянии;
- ожоги;
- нервное и расстройство;
- смертельный исход.

Опасность поражения электрическим током существует при сварочных работах. Значение напряжения в электрической цепи должно удовлетворять ГОСТ 12.1.038-82 [48].

Таблица 25 - Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном режиме электроустановки

Род тока	U, В	I, мА
	не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Постоянный	8,0	1,0

Таблица 26 - Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов при аварийном режиме бытовых электроустановок напряжением до 1000 В и частотой 50 Гц [48]

Продолжительность воздействия t, с	Нормируемая величина		Продолжительность воздействия t, с	Нормируемая величина	
	U, В	I, мА		U, В	I, мА
От 0,01 до 0,08	220	220	0,6	40	40
0,1	200	200	0,7	35	35
0,2	100	100	0,8	30	30
0,3	70	70	0,9	27	27
0,4	55	55	1,0	25	25
0,5	50	50	Св. 1,0	12	2

Поражение человека электрическим током или электрической дугой может произойти в следующих случаях [49]:

- при прикосновении человеком, неизолированного от земли, к нетоковедущим металлическим частям электроустановок, оказавшимся под напряжением из-за замыкания на корпусе;
- при однофазном (однополюсном) прикосновении неизолированного от земли человека к неизолированным токоведущим частям электроустановок, находящихся под напряжением.

Все применяемое электрооборудование и электроинструменты должны иметь заземление и подлежат занулению отдельной жилой кабеля с сечением не менее сечения рабочих жил или заземляющий провод диаметром 16 см².

Корпуса, а также все открытые проводящие части применяемого передвижного электрооборудования должны быть защищены от косвенного прикосновения и т.д. в соответствии с требованиями ПУЭ (пункт 1.7.51) [50] путем заземления с помощью переносных заземлителей.

Сопротивление заземляющего устройства для электроустановок с глухозаземленной нейтралью для питания напряжением до 1 кВ не должно превышать 4 Ом, а для электроустановок с изолированной нейтралью – 10 Ом, при выполнении условия, указанного в ПУЭ (пункт 1.7.104) [51].

Для этого рассчитывается сопротивление одиночных заземлителей растеканию тока в однородном грунте по формуле [52]:

$$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \frac{4 \cdot l}{d}, \quad (28)$$

где ρ – приближенное значение удельного электрического сопротивления грунта: 10...30 Ом·м, принимаем: 20 Ом·м;

d – диаметр стержня: 4,5 см;

l – длина стержня согласно ПУЭ = 0,5...0,7 м, принимаем: 0,6 м.

$$R = \frac{20}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,6} \cdot \ln \frac{4 \cdot 0,6}{0,045} = 21,1 \text{ (Ом} \cdot \text{м)}.$$

Согласно ГОСТ 12.1.030 [53] сопротивление не должно превышать 25 Ом·м.

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРА, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ	Лист 96
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Полученное сопротивление не превышает нормативного.

Для защиты персонала от поражения электрическим током при косвенном прикосновении в соответствии с требованиями ПУЭ (пункт 1.7.59) [54] передвижное электрооборудование должно быть оборудовано устройством защитного отключения (УЗО).

Защита от электрического тока делится на два типа [55]:

1) коллективная (подразумевает оснащение всех опасных электроприборов специальными предупредительными табличками; оборудование электронными системами защиты; изоляция основных электроопасных узлов; контроль состояния электрических цепей, заземление и зануление приборов, работающих от электричества);

2) индивидуальная (подразумевает использование резиновых перчаток, диэлектрической обуви, изолированных подставок под оборудование и т.д.).

С целью предупреждения рабочих об опасности поражения электрическим током эмоциональное широко используются плакаты и знаки безопасности.

Мероприятия по созданию безопасных условий:

- инструктаж персонала;
- аттестация оборудования;
- соблюдение правил безопасности и требований при работе с электротехникой.

2. Пожаро- и взрывоопасность

Причиной пожара, как правило, становится несоблюдение мер пожарной безопасности на месте проведения работ (курение в зоне проведения работ, отсутствие устройств защитного отключения на переносных электроприборах, короткое замыкание и. т. д.). Помимо этого, причиной пожара может стать природный фактор, например, удар молнии.

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРА, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ	Лист 97
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

К профилактическим мероприятиям по предотвращению возникновения пожара могут быть [56]:

- вся передвижная техника в зоне проведения работ должна быть обеспечена искрогасителями заводского изготовления;
- приказом должен быть установлен соответствующий противопожарный режим;
- машины, сварочные аппараты, компрессоры, задействованные в производстве подготовительных и огневых работ, должны оснащаться не менее чем двумя огнетушителями ОУ-10, ОП-10;
- на рабочих местах должны быть вывешены предупредительные надписи: “Не курить”, “Огнеопасно”, “Взрывоопасно”;
- горючие отходы, мусор и т. д. следует собирать на специально выделенных площадках в контейнеры или ящики, а затем вывозить.

К первичным средствам пожаротушения, которые должны присутствовать на месте проведения работ, относятся:

- асбестовое полотно размеров 2×2 м – 2 шт.;
- огнетушители порошковые ОП-10 – 10 шт., или углекислотные;
- ОУ-10 – 10 штук или один огнетушитель ОП-100 (ОП-50 2 шт.);
- лопаты – 2 шт.;
- ведра – 2 шт.;
- топор, лом – по 1 шт.

3. Электрическая дуга и металлические искры при сварке

Для производства процесса сварки существует несколько опасных факторов воздействий на сварщика: поражение лучами электрической дуги глаз и открытой поверхности кожи; ожоги от капель брызг металла и шлака при сварке; взрыва в результате проведения сварки вблизи легковоспламеняющихся и взрывоопасных веществ; травмы различного рода механического характера при подготовке листов резервуара к сварке и в процессе сварки.

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРА, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ	Лист
						98
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Для предохранения от брызг расплавленного металла и излучения сварочной дуги, сварщик должен носить положенную спецодежду и спецобувь, а глаза и лицо закрывать специальной маской или щитком со светофильтром.

Электросварщику следует работать на резиновом коврике, пользоваться диэлектрическими перчатками.

Рабочие места должны быть снабжены индивидуальными аптечками и индивидуальными средствами пожаротушения.

Для тушения электрооборудования должны быть применены углекислотные огнетушители.

4. Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования (в т.ч. грузоподъемные)

При сооружении резервуара возможность получения механических травм очень высока. Повреждения могут быть разной тяжести вплоть до летального исхода, так как работа ведется с объектами большого веса. Для предотвращения повреждений необходимо соблюдать технику безопасности.

До начала работ необходимо [57]:

1) оформить наряд – допуск на проведение газоопасных, огневых работ и работ повышенной опасности.

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 взрыво- и пожароопасной обстановке и других опасных 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 оборудования.

На весь период работ необходимо:

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

9.2 Экологическая безопасность

При выполнении работ по сооружению резервуара необходимо соблюдать требования по защите окружающей среды, условия землепользования, установленные законодательством по охране природы, СНиП 12-01-2004 [58] и другими нормативными документами.

Перед началом производства работ следует выполнить следующие работы:

➤ оформить в природоохранных органах все разрешения, согласования и лицензии, необходимые для производства работ по данному объекту;

➤ заключить договора со специализированными организациями на сдачу отходов, сточных вод образующихся в процессе производства работ;

➤ оборудовать места временного размещения отходов в соответствии с нормативными требованиями.

При организации работ по сооружению резервуара необходимо осуществлять мероприятия и работы по охране окружающей среды, которые должны включать предотвращение потерь природных ресурсов,

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРА, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		100

предотвращение попадания загрязняющих веществ в почву, водоемы и атмосферу.

Виды воздействий на природную среду в период сооружения резервуара:

- загрязнение выбросами выхлопных газов от строительной техники при производстве работ;
- выбросы при производстве сварочных работ;
- образование и размещение отходов, образующихся при сооружении резервуара.

Перед началом работ необходимо обеспечить наличие отвода земельного участка. С целью уменьшения воздействия на окружающую среду все работы должны выполняться в пределах полосы отвода земли.

Для снижения воздействия на поверхность земель предусмотрены следующие мероприятия:

- своевременная уборка мусора и отходов для исключения загрязнения территории отходами производства;
- запрещение использования неисправных, пожароопасных транспортных и строительно-монтажных средств;
- применение строительных материалов, имеющих сертификат качества;
- выполнение работ, связанных с повышенной пожароопасностью, специалистами соответствующей квалификации.

Загрязнение атмосферы в период производства работ носит временный обратимый характер.

Производственные и бытовые стоки, образующиеся на строительной площадке, должны очищаться и обезвреживаться в порядке, предусмотренном проектом организации строительства и проектами производства работ.

С целью уменьшения воздействия на окружающую среду все работы должны выполняться в пределах полосы отвода земли, определенной проектом.

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРА, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ	Лист 101
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Проведение работ по сооружению резервуара, движение машин и механизмов, складирование и хранение материалов в местах, не предусмотренных проектом, запрещается.

Загрязнение атмосферного воздуха в период сооружения резервуара происходит за счет неорганизованных выбросов и является кратковременным. Неорганизованные выбросы являются неизбежными. Организованные выбросы в период проведения работ по сооружению резервуара отсутствуют.

К загрязняющим веществам относятся продукты неполного сгорания топлива в двигателях строительных машин и механизмов, вещества, выделяющиеся при сварке листов, выполнении земляных работ и при доставке строительных материалов.

Источниками неорганизованных выбросов являются:

- автотранспорт при перевозке строительных материалов;
- работающие строительные машины и механизмы;
- сварочные работы.

9.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

При обеспечении пожарной безопасности работ по сооружению резервуара следует руководствоваться ППБ 01-03 [59], РД-13.220.00-КТН-367-06 [60] и другими утвержденными нормативными документами, регламентирующими требования пожарной безопасности.

Места, где проводятся сварочные работы, должны быть укомплектованы первичными средствами пожаротушения [56]:

- асбестовое полотно размеров 2×2 м – 2 шт.;
- огнетушители порошковые ОП-10 – 10 шт., или углекислотные;
- ОУ-10 – 10 штук или один огнетушитель ОП-100 (ОП-50 2 шт.);
- лопаты – 2 шт.;
- ведра – 2 шт.;
- топор, лом – по 1 шт.

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРА, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		102

Допуск работников к проведению работ должен осуществляться после прохождения ими противопожарного инструктажа. Если происходит изменение специфики работ, то необходимо провести внеочередной инструктаж.

Вся передвижная техника в зоне проведения работ должна быть обеспечена искрогасителями заводского изготовления.

Машины, сварочные аппараты, компрессоры, задействованные в производстве подготовительных и огневых работ, должны оснащаться не менее чем двумя огнетушителями ОУ-10, ОП-10.

Приказом устанавливается соответствующий противопожарный режим, в котором должно быть установлены:

- порядок утилизации горючих отходов, места хранения промасленной спецодежды;
- порядок отключения от питания электрооборудования в случае пожара;
- последовательность проведения огневых и пожароопасных работ, действия и обязанности работников при возникновении пожара;
- порядок и сроки прохождения внеочередного противопожарного инструктажа, время проведения занятий по подготовке к борьбе с пожаром, а также назначены ответственные за их проведение.

Руководитель работ должен совместно с работниками пожарной охраны определить места установки противопожарного оборудования и обеспечить необходимым противопожарным инвентарем.

Горючие отходы, мусор и т. д. следует собирать на специально выделенных площадках в контейнеры или ящики, а затем вывозить.

Применение в процессах производства материалов и веществ с неустановленными показателями их пожаровзрывоопасности или не имеющих сертификатов, а также их хранение совместно с другими материалами и веществами не допускается.

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРА, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ	Лист
						103
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Спецодежда лиц, работающих с маслами, лаками, красками должна храниться в подвешенном виде в металлических шкафах, установленных в специально отведенных для этой цели местах.

При работе категорически запрещается курить на рабочем месте.

На рабочих местах должны быть вывешены предупредительные надписи: “Не курить”, “Огнеопасно”, “Взрывоопасно”.

В случае возникновения пожара использовать пенные, порошковые, углекислотные огнетушители или приспособления для распыления воды.

Переносной электроинструмент, светильники, ручные электрические машины должны быть подключены только через устройство защитного отключения (УЗО).

Запрещается проведение сварочных работ во время снега или дождя без применения навеса над местом производства работ и ветра со скоростью свыше 10 м/с.

Запрещается проведение сварочно-монтажных и погрузочно-разгрузочных работ в грозу.

При транспортировании газовых баллонов на них должны быть навернуты колпаки; кроме того, на баллонах с горючими газами на боковом штуцере должны быть установлены заглушки.

Совместная транспортировка кислородных баллонов и баллонов с горючими газами не допускается. В исключительных случаях допускается одновременная транспортировка не более 10 баллонов с кислородом и горючими газами (суммарно).

Запрещается нахождение людей в кузове автомашины при транспортировании баллонов.

Баллоны должны подвергаться техническому освидетельствованию. На горловине баллона должна быть выбита дата следующего освидетельствования. Использование баллонов с истекшим сроком освидетельствования не допускается. Также запрещается производить подогрев баллонов с целью повышения давления в них.

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРА, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ	Лист 104
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Расстояние от баллонов до источников открытого огня должно составлять не менее 5 м.

Баллоны должны быть защищены от воздействия прямых солнечных лучей.

Редукторы, используемые для снижения давления, должны быть окрашены в тот же цвет, что и баллон. Пользоваться редукторами, имеющими неисправные или с истекшим сроком поверки манометры – запрещается.

9.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Компании, связывающие свою деятельность с транспортом нефти и сооружением объектов для ее хранения, должны обеспечивать своих работников всеми необходимыми материальными и социальными благами в соответствии с трудовым кодексом РФ №197-ФЗ [61].

Так как работы по сооружению резервуара проводятся в районах, приравненных к районам Крайнего Севера, у рабочих есть дополнительные льготы, которые отражены в законе «О государственных гарантиях и компенсациях для лиц, работающих и проживающих в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностях» от 19.02.1993 N 4520-1 [62].

Районный коэффициент является одной из основных льгот, предоставляемых рабочим. Оплата труда в районах Крайнего Севера и местностям, приравненным к ним, осуществляется с использованием районных коэффициентов и процентных надбавок к заработной плате согласно ст. 315 Трудового Кодекса РФ [63].

Резервуары для хранения нефти являются опасными производственными объектами, поэтому при их сооружении и эксплуатации организации должны следовать Федеральному закону от 21 июля 1997 г. №116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [64].

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРА, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		105

Заключение

1. В ходе выполнения работы было проведено исследование влияния скорости сварки на структуру и механические свойства сварных соединений;
2. Было установлено, что повышение скорости сварки способствует уменьшению размера зерен в металле шва;
3. В ходе проведенных исследований было установлено, что с увеличением скорости сварки происходит снижение прочности сварных соединений, что является недопустимым фактором при сооружении резервуара;
4. Экономическая оценка затрат по двум способам сварки показала, что применение механизированного способа сварки в среде защитных газов является более выгодным вариантом с экономической точки зрения, по сравнению с ручной дуговой сваркой. Экономия затрат на сварку резервуара составляет 339108 руб.

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРА, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Чередник К.В.			Заключение	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Веревкин А.В.					106	1
Консульт.						НИ ТПУ гр. 2БМ4А		
Зав. Каф.		Рудаченко А.В.						

Список использованных источников

- 1 Регламент сооружения, вывода из эксплуатации, проведения диагностики, капитального ремонта (реконструкции) резервуаров и ввода в эксплуатацию, ОАО «АК Транснефть».
- 2 Сварка и свариваемые материалы: справочник: в 3 томах / под ред. В. Н. Волченко. — М.: Металлургия, 1991.
- 3 Введение в основы сварки: учебное пособие / В. И. Васильев, Д. П. Ильященко, Н. В. Павлов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) — Томск: Изд-во ТПУ, 2011.
- 4 ГОСТ 19282-73. Сталь низколегированная тонколистовая и широкополосная универсальная. Технические условия.
- 5 Марочник сталей и сплавов / под ред. А. С. Зубченко. — Москва: Машиностроение, 2011. — 782 с.
- 6 Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки / Под. ред. А. И. Акулов - М. : Машиностроение, 1977.- 560 с.
- 7 Основы дуговой сварки /Демянцевич В. П. – М. : Машгиз, 1962.-296 с.
- 8 Теория сварочных процессов / Под. ред. В. В. Фролов - М. : Высшая школа, 1988.- 559 с.
- 9 Геворкян В. Г. Основы сварочного дела .- М. : Высшая школа, 1985.- 168с.
- 10 Кинетика металлургических процессов дуговой сварки / А.А. Ерохин. — Москва: Машиностроение, 1964. — 256 с.: ил. — Библиогр.: с. 244-253.
- 11 Китаев А.М., Китаев Я.А. Справочная книга сварщика -М.: Машиностроение, 1985.
- 12 Оборудование для дуговой сварки / под. ред. В.В. Смирнова.- Л.: Энергоатомиздат-1986.
- 13 Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки / Под. ред. А. И. Акулов - М. : Машиностроение, 2003.- 560 с.
- 14 ГОСТ 2246-70. Проволока стальная сварочная. Технические условия.

- 15 ГОСТ 14771-76. Сварка, пайка и термическая резка металлов.
- 16 РД 16.01-60.30.00-КТН-026-1-04. Нормы проектирования стальных вертикальных резервуаров для хранения нефти объемом 1000-50000 м³.
- 17 Типовой проект 704-1-169.84. Резервуар стальной вертикальный цилиндрический для нефти и нефтепродуктов объемом 5000 м³.
- 18 Расчет режимов дуговой сварки / Е.А.Трущенко : Томск, 2005. -27 с.
- 19 Справочник сварщика / Под. ред. В. В. Степанов.- М.: Машиностроение, 1978.
- 20 Справочник по сварке / Под. ред. В.А. Винокурова.- М: Машиностроение, 1970.
- 21 Дедюх Р. И. Расчёт режимов дуговой сварки – Томск: Изд. НИ ТПУ, 1983.- 18с.
- 22 Сварочное оборудование. Каталог Logch / Шторм, 2011.
- 23 Азаров Н. А. Производство сварных конструкций – Томск: Изд. НИ ТПУ, 2002.- 96 с.
- 24 РД 03-606-03. Инструкция по визуальному и измерительному контролю.
- 25 ГОСТ 18442-80. Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования.
- 26 ГОСТ 7512-82. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод.
- 27 ГОСТ 14782-86. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые.
- 28 ГОСТ 21105-87. Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод.
- 29 РД 34.15.132-96 Сварка и контроль качества сварных соединений металлоконструкций зданий при сооружении промышленных объектов.
- 30 Металлография железоуглеродистых сплавов: учебное пособие для вузов / К. П. Бунин, В. И. Мовчан, В. И. Шаповалов; Днепропетровский

металлургический институт (ДМетИ). — Днепропетровск: Изд-во Днепропетровского металлург. инст-та, 1974. — 160 с.: ил.

31 ГОСТ 22762-77. Металлы и сплавы. Метод измерения твердости на пределе текучести вдавливанием шара.

32 Шебеко Л. П., Гитлевич А. Д. Экономика, организация и планирование сварочного производства - М.: Машиностроение, 1986.

33 Единые нормы и расценки на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы. Общая часть. Сборник Е22. Сварочные работы.

34 Постановление Совмина СССР от 22.10.1990 N 1072 "О единых нормах амортизационных отчислений на полное восстановление основных фондов народного хозяйства СССР".

35 Общероссийский классификатор видов экономической деятельности. Код: 45.21.6. Производство общестроительных работ по строительству прочих зданий и сооружений, не включенных в другие группировки.

36 ГОСТ Р ИСО 26000-2012. Руководство по социальной ответственности.

37 ГОСТ 12.1.003-83. Шум. Общие требования безопасности.

38 ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.

39 ГОСТ 12.3.003-86. Работы электросварочные. Требования безопасности.

40 ГОСТ 12.3.004-75. Термическая обработка металлов. Общие требования безопасности.

41 ГОСТ 12.3.032-84. Система стандартов безопасности труда. Работы электромонтажные. Общие требования безопасности.

42 ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

43 ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

44 ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования.

45 СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.

46 РД 34.03.201-97. Правила техники безопасности при эксплуатации тепломеханического оборудования электростанций и тепловых сетей.

47 ГН 2.2.5.686-98. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы.

48 ГОСТ 12.1.038-82. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.

49 Сапронов Ю.Г. Безопасность жизнедеятельности. – М.: «Академия», 2006.

50 Правила устройства электроустановок. Издание 7 п. 1.7.51.

51 Правила устройства электроустановок. Издание 7 п. 1.7.104.

52 Расчет устройства защитного заземления: методические указания к выполнению самостоятельной работы БЖД-3 по дисциплине "Безопасность жизнедеятельности" для студентов всех специальностей / Томский политехнический университет; сост.: Б. А. Тихонов, А. Г. Дашковский. — Томск: Изд-во ТПУ, 1997. — 12 с.: ил. — Библиогр.: с. 12.

53 ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.

54 Правила устройства электроустановок. Издание 7 п. 1.7.59.

55 Правила по охране труда при эксплуатации нефтебаз и автозаправочных станций Р 0-112-001-95.

56 Руководящий документ стандарт правила пожарной безопасности на объектах МН ОАО "АК "Транснефть" и дочерних акционерных обществ РД-13.220.00-КТН-575-06.

57 ОР 15.00-45.21.30-КТН-008-1-00. Регламент оформления нарядов-допусков на огневые, газоопасные и другие работы повышенной опасности на взрывопожароопасных и пожароопасных объектах магистральных нефтепроводов дочерних акционерных обществ ОАО "АК "Транснефть".

58 СНиП 12-01-2004. Организация строительства.

59 ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в РФ.

60 РД-13.220.00-КТН-367-06. Пожарная охрана объектов магистральных нефтепроводов ОАО "АК "Транснефть" и дочерних акционерных обществ.

61 Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 30.12.2015).

62 Закон РФ от 19.02.1993 N 4520-1 (ред. от 31.12.2014) «О государственных гарантиях и компенсациях для лиц, работающих и проживающих в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностях».

63 Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 30.12.2015). Статья 315. Оплата труда.

64 Федеральный закон от 21.07.1997 N 116-ФЗ (ред. от 13.07.2015) «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».

Список публикаций

Чередник К.В.: «Применение механизированных способов сварки при сооружении резервуаров», XIII Научно–техническая конференция молодежи, АО «Транснефть – Центральная Сибирь», 2015 г.

Tank welding

In a broad sense, welding is a metal-joining process wherein coalescence is produced by heating to suitable temperatures with or without the use of filler metal. The sources of heat for welding include electric arc, electric resistance, flame, laser, and electron beam. The first three are traditional methods; laser and electron beam welding are relatively recent developments. Most processes used in field of pipeline welding use a filler metal, do not involve the application of pressure, and depend on an electric arc for heat source.

Types of welding

Shielded metal arc welding. The heat for this process is provided by an electric arc that melts a consumable electrode and some of the metal being welded. When the weld metal cools, it hardens to form the weld. The consumable electrode is melted continuously by the heat of the electric arc. As in all arc welding processes, the electrode serves as one pole of the arc, the steel being welded is the other pole. The electrode, the steel pipe, and the arc make up an electric circuit: the welding circuit.

A covered electrode has a solid metal core and an outer layer of material that insulates the core from accidental contact with the pipe. The core covering also provides the gas to shield the weld from air and may contain special elements to improve weld quality.

Submerged arc welding. In this process, too, heat is supplied by an electric arc and a consumable electrode is used. In this technique, however, a granular flux composed of silicates and other elements is deposited on the weld joint.

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ								
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата									
Разраб.		Чередник К.В.			Tank welding and welding types				Лит.	Лист	Листов		
Руковод.		Веревкин А.В.									113	15	
Консульт.									НИ ТПУ эр. 2БМ4А				
Зав. Каф.		Рудаченко А.В.											

The arc melts some of the flux and is submerged in the liquid slag that is produced by this melting. The electrode in this methods wire that is fed continuously to the weld joint. High currents used in this technique allow the weld to penetrate deeper below the surface of the pipe than is possible with other welding processes.

Gas-metal arc welding. This process also uses the heat from an electric arc. The arc is covered by an inert gas, such as argon or helium. The insert-gas-shielded metal arc process uses a consumable, continuous electrode. Since this process requires no flux, no slag is produced on top of the weld.

Gas for shielding is delivered to the weld area through a tube; the electrode is fed down through a guide within the tube. Gas metal arc welding (GMAW) is particularly applicable to welding difficult metals and alloys that are susceptible to contamination from the atmosphere, and porosity.

Carbon dioxide welding is similar to gas-metal arc welding except that CO₂ is used as a shielding gas.

Gas-tungsten arc welding. An inert gas shield is required when welding with tungsten electrodes using the gas-tungsten arc welding (GTAW) process. This process is particularly suited to welding thin material and to depositing the first weld bead (root pass) because penetration can be controlled more easily than with other welding processes. Good heat control is possible with this process, and it is possible to weld with or without filler metal.

The nonconsumable electrodes are not deposited as part of the weld metal. The steel being welded is melted, and the electrode serves only as one pole of the electrical circuit. In some processes, however, a filler wire can be fed into the weld joint if additional metal is needed to fill the joint.

There are other arc welding processes:

➤ plasma arc welding, in which a plasma is produced by the heat of a constricted arc/gas mixture. This type of welding is similar to tungsten arc welding since an inert gas is used, but plasma arc wilding's constricting orifice is unique. Plasma/metal-inert-gas (MIG) welding combines the features of plasma arc and inert-gas metal arc processes and permits deep penetration when welding thick material or

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРА, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		114

higher speeds when welding thinner material;

- flux-cored arc welding, which is similar to submerged arc and shielded metal arc welding, except the flux is contained in a metal sheath instead of on the wire;

- electro slag welding, which is begun much as conventional submerged arc welding. When a layer of hot molten slag is formed, arc action stops and current passes from the electrode to the work through the slag. Heat generated by the resistance to current through the slag fuses the edges of the work pieces.

Electron beam welding. Though not common in pipeline welding, the electron beam process could have application in proposed laying techniques for installing offshore pipelines in very deep water. The J-curve pipe lay method, discussed in Chapter 7, involves lowering pipe from near vertical rather than in a horizontal S-shaped configuration used in conventional offshore pipe laying.

In the electron beam welding process, coalescence is obtained by concentrating a beam composed primarily of high-velocity electrons impinging on the surfaces to be joined. Electrons accelerated by an electric field to extremely high speeds and focused to a sharp beam by electrostatic or electromagnetic fields provide heat for welding.

Because the J-curve pipe lay technique requires welding to be done at a single station rather than the several stations common on a conventional lay barge, electron beam welding offers an advantage. It is quicker than other methods and can weld thick-wall pipe in a single pass.

The process also requires no preheating or post heating of the weld area.²In tests on 24-in. pipe with a wall thickness of 1.2 in., complete welds were made in less than 3 minutes. Conventional welding of a joint in the same pipe would require 1 V² hours.

Accurate positioning of the beam is important in the electron beam process, and a vacuum must be maintained in the chamber around the pipe. The beam must be concentrated on a spot about 1 mm in diameter, and tolerances are critical.

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРА, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		115

Welding procedures and equipment

Most welding processes can be used with either of the two general types of welding procedures: manual or automated. Of all of the oil and gas pipeline welding done, the bulk is done by manual welding procedures. In manual welding, the welder holds the electrode. He must be highly skilled at maintaining the proper distance between the electrode and the pipe and in moving the electrode along the weld seam at the proper rate.

Automated welding equipment also requires skilled operators, but it is easier to obtain consistent, uniform welds, because the welding electrode is moved mechanically at the desired distance from the seam and at the optimum speed.

Weld passes. Whether done by manual or automated welding, each pipeline circumferential, or girth, weld usually is completed by making several passes around the circumference of the pipe at the seam between the two joints.

The number of passes, or beads, depends on the thickness of the pipe wall and the welding procedure. Regardless of pipe wall thickness, however, a typical pipe weld consists of a root pass (the first pass made around the seam), a hot pass applied over the root pass, several fill passes (which fill in the space between the pipe ends), and a cap pass.

The root pass is especially critical. An improperly applied root pass can burn through the pipe wall, producing a defective weld that will cause the weld to be rejected when inspected. Since the root pass initially joins the two lengths of pipe, it is necessary that they be correctly aligned and spaced before welding begins.

In some procedures, the root pass is deposited from inside the pipe; then all other weld passes are made from the outside of the pipe. In other cases, the root pass is made from the outside of the pipe. If a metal slag is produced during welding, it must be removed before the next weld pass is made.

Following the root pass, the hot pass is deposited. It is normally made before the root pass bead cools completely. The hot pass is also critical to overall weld

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРА, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ	Лист
						116
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

quality. After it is made, the hot pass is cleaned of slag, if necessary, before fill pass welding begins.

After the hot pass, the required number of fill passes is made. Fill passes build up the weld and fill in the seam between the two pipe joints with weld metal. The number of fill passes required depends primarily on the wall thickness of the pipe being welded. It also may depend on the particular welding procedure being used.

Thin-wall pipe may only require one fill pass, while the number of passes may be five or more for pipe with a thicker wall. The speed with which pipeline welds can be made depends heavily on the number of fill passes required, in addition to the outside diameter of the pipe.

A welder can deposit a certain amount of weld material in a specified time. If a number of passes are made on the same weld seam, fewer complete welds can be made per day. The amount of weld material that must be deposited also increases as the pipe diameter increases, so fewer welds can be made in a day on large-diameter pipe.

The final weld is the cap pass. It is normally wider than the last fill pass, and weld metal is not deposited in as thick a layer as is the case with the other weld passes. The top of the cap pass extends slightly above the pipe exterior.

Manual welding. The largest share of oil and gas pipeline welding is still done manually. Welders along the pipeline right of way use vehicle-mounted welding machines and weld the individual joints of pipe together alongside the pipeline ditch. The number of welders on a pipeline job depends on the length of the pipeline, the diameter and wall thickness of the pipe, and other factors.

Typically, one welder applies the root pass, another welder the hot pass, one or more welders the fill passes, and another welder the cap pass.

Manual pipeline welding not only requires great skill, but also involves conditions that are often difficult and unpleasant. Since the pipe seam must be welded completely around the circumference of the pipe with the pipe in a horizontal position, the welder must be down on the ground in an uncomfortable position to complete the weld on the lower portion of the pipe.

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРА, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ	Лист
						117
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

In extreme weather, it is often necessary to provide a shelter or enclosure for the welder to protect against wind, blowing dirt or sand, and cold. Not only is this needed for the welder's comfort, but blowing dirt, moisture, and high wind can reduce weld quality.

Some welding shelters include wooden floors, doors, exhaust vents, lighting, and heating to provide properly controlled welding conditions. Other shelters consist only of a canvas hood over the welder and the joint being welded.

The basic design of an industrial, GMAW system includes four principle components:

- Power source;
- Wire drive and accessories (drive rolls, guide tubes, reel stand, etc.);
- GMAW gun and cable assembly designed to deliver the shielding gas and the electrode to the arc;
- Shielding gas apparatus and accessories.

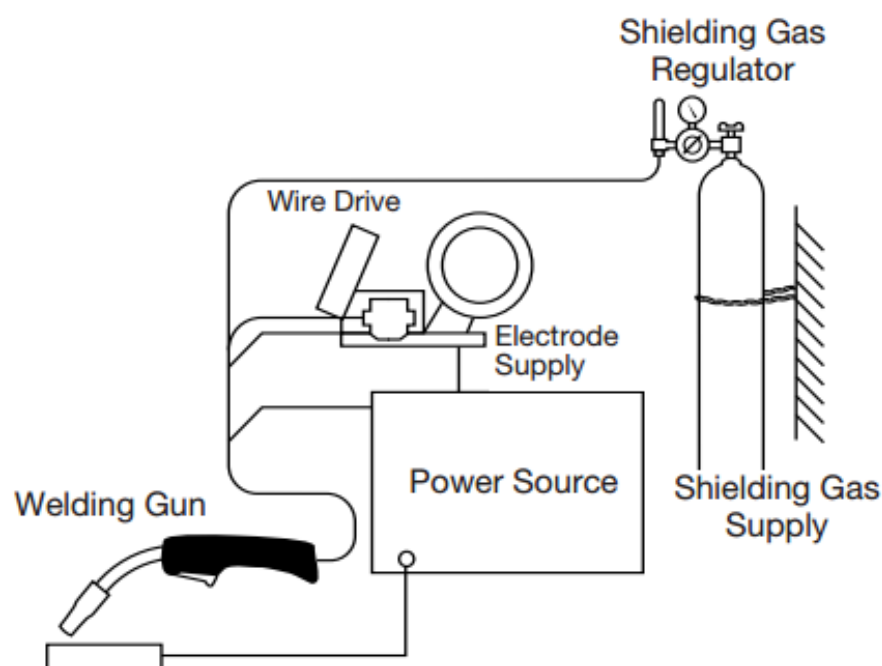


Figure 1 – Basic MIG/MAG System

Qualification of Welding Procedures

The erection manufacturer and the fabrication manufacturer, if other than the erection manufacturer, shall prepare welding procedure specifications and shall perform tests documented by procedure qualification records to support the specifications. If the manufacturers part of an organization that has, to the purchaser's satisfaction, established effective operational control of the qualification of welding procedures and of welder performance for two or more companies of different names, then separate welding procedure qualifications are not required.

The welding procedures used shall produce welds with the mechanical properties required by the design.

Welding variables shall be used to determine the welding procedure specifications and the procedure qualification records to be instituted. In addition, when impact tests of the heat-affected zone are required, the heat-treated condition of the base material shall be a supplementary essential variable. If a protective coating has been applied to weld edge preparations, the coating shall be included as an essential variable of the welding procedure specification.

Impact Tests. Impact tests for the qualification of welding procedures shall comply with the applicable provisions and shall be made at or below the design metal temperature.

When impact testing of a material is required, impact tests of the heat-affected zone shall be made for all automatic and semiautomatic procedures.

For all materials to be used at a design metal temperature below 10°C (50°F), the qualification of the welding procedure for vertical joints shall include impact tests of the weld metal. If vertical joints are to be made by an automatic or semiautomatic process, impact tests of the heat-affected zone shall also be made.

Impact tests of the weld metal shall be made for all procedures used for welding the components and attachments to these components when the design metal temperature is below -7°C (20°F).

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРА, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ	Лист
						119
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Impact tests shall show minimum values for acceptance and are as follows:

- a. For P1, Group 1, materials—20 J (15 ft-lbf), average of three specimens;
- b. For P1, Group 2, materials—27 J (20 ft-lbf), average of three specimens;
- c. For P1, Group 3, materials—34 J (25 ft-lbf), average of three specimens.

For shell plates thicker than 40 mm (1 1/2 in.), these values shall be increased by 7 J (5 ft-lbf) for each 12.5 mm (1/2 in.) over 40 mm (1 1/2 in.). Interpolation is permitted.

Weld-metal impact specimens shall be taken across the weld with one face substantially parallel to and within 1.5mm (1/16 in.) of the surface of the material. The notch shall be cut normal to the original material surface and with the weld metal entirely within the fracture zone.

Heat-affected-zone impact specimens shall be taken across the weld and as near the surface of the materials is practicable. Each specimen shall be etched to locate the heat-affected zone, and the notch shall be cut approximately normal to the original material surface and with as much heat-affected-zone material as possible included in the fracture zone.

Production welding shall conform to the qualified welding procedure, but production-weld test plates need not be made.

The erection manufacturer and the fabrication manufacturer, if other than the erection manufacturer, shall conduct tests for all welders assigned to manual and semiautomatic welding and all operators assigned to automatic welding to demonstrate the welders' and operators' ability to make acceptable welds. Tests conducted by one manufacturer shall not qualify a welder or welding operator to do work for another manufacturer.

The records of the tests for qualifying welders and welding operators shall include the following:

- a. Each welder or welding operator shall be assigned an identifying number, letter, or symbol by the fabrication correction manufacturer.
- b. The fabrication or erection manufacturer shall maintain a record of the welders or welding operators employed that shows the date and results of the tests for

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРА, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ	Лист
						120
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

each welder or operator and the identifying mark assigned to each welder or operator. This record shall be certified by the fabrication correction manufacturer and shall be accessible to the inspector.

The welder or welding operator's identification mark shall be hand- or machine-stamped adjacent to and at intervals not exceeding 1 m (3 ft) along the completed welds. In lieu of stamping, a record may be kept that identifies the welder or welding operator employed for each welded joint; these records shall be accessible to the inspector. Roof plate welds and flange-to-nozzle-neck welds do not require welder identification.

Welding Electrodes. For the welding of materials with a minimum tensile strength less than 550 MPa (80 ksi), the manual arc-welding electrodes shall conform to the E60 and E70 classification series (suitable for the electric current characteristics, the position of welding, and other conditions of intended use) in AWS A5.1 and shall conform to 5.2.1.10 as applicable.

For the welding of materials with a minimum tensile strength of 550 through 585 MPa (80 through 85 ksi), the manual arc-welding electrodes shall conform to the E80XXCX classification series in AWS A5.5.

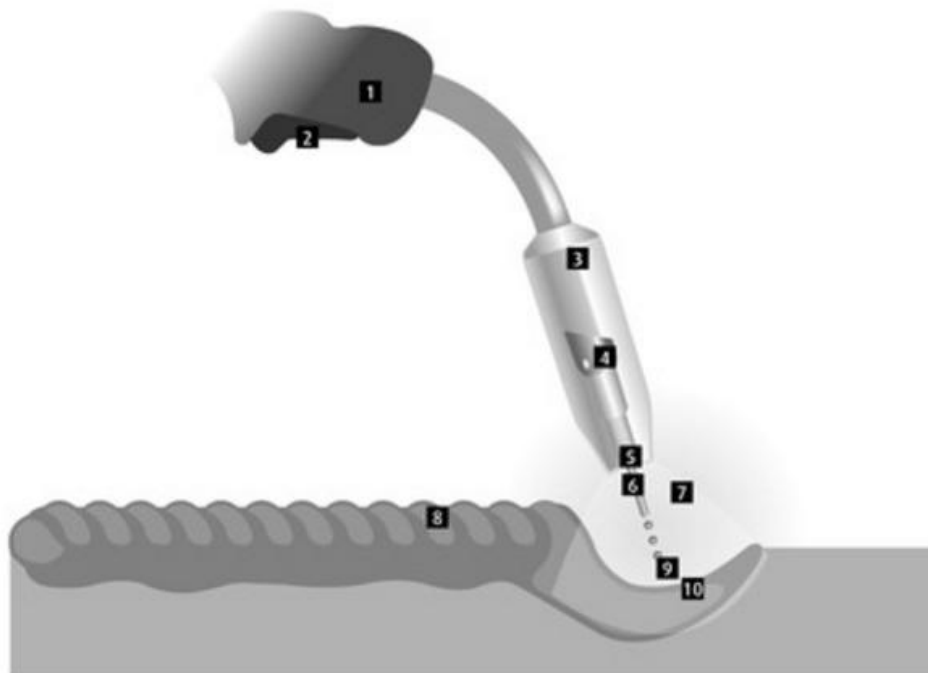
MIG/MAG welding

The transfer of a single molten droplet of electrode occurs during the shorting phase of the transfer cycle (See Figure 2). Physical contact of the electrode occurs with the molten weld pool, and the number of short-circuiting events can occur up to 200 times per second.

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРА, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		121

Typical MIG/MAG set up

1 Torch, 2 Torch trigger, 3 Shroud, 4 Gas diffuser, 5 Contact tip, 6 Welding wire, 7 Shielding, 8 Weld, 9 Droplets, 10 Weld pool

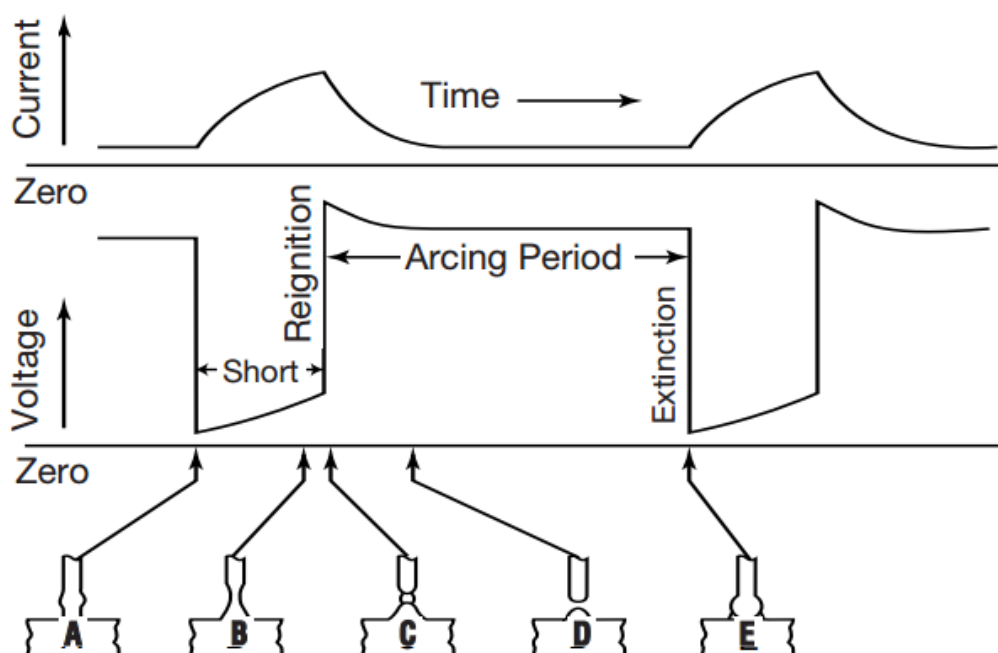


The current delivered by the welding power supply rises, and the rise in current accompanies an increase in the magnetic force applied to the end of the electrode. The electromagnetic field, which surrounds the electrode, provides the force, which squeezes (more commonly known as pinch) the molten droplet from the end of the electrode.

Because of the low-heat input associated with short-circuiting transfer, it is more commonly applied to sheet metal thickness material. However, it has frequently found use for welding the root pass in thicker sections of material in open groove joints. The short-circuiting mode lends itself to root pass applications on heavier plate groove welds or pipe.

Solid wire electrodes for short-circuiting transfer range from 0.025" - 0.045" (0.6 – 1.1 mm). The shielding gas selection includes 100% CO₂, and binary blends of argon + CO₂ or argon + O₂. Occasionally ternary blends, (three part mixes), of argon + CO₂ + oxygen are sometimes employed to meet the needs of a particular application.

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРА, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		122



A. The solid or metal-cored electrode makes physical contact with the molten puddle. The arc voltage approaches zero, and the current level increases. The rate of rise to the peak current is affected by the amount of applied inductance.

B. This point demonstrates the effect of electromagnetic forces that are applied uniformly around the electrode. The application of this force necks or pinches the electrode. The voltage very slowly begins to climb through the period before detachment, and the current continues to climb to a peak value.

C. This is the point where the molten droplet is forced from the tip of the electrode. The current reaches its maximum peak at this point. Jet forces are applied to the molten puddle and their action prevents the molten puddle from rebounding and reattaching itself to the electrode.

D. This is the tail-out region of the short-circuit waveform, and it is during this downward excursion toward the background current when the molten droplet reforms.

E. The electrode at this point is, once again, making contact with the molten puddle, preparing for the transfer of another droplet. The frequency of this varies between 20 and 200 times per second. The frequency of the short-circuit events is influenced by the amount of inductance and the type of shielding gas. Additions of

argon increase the frequency of short-circuits and it reduces the size of the molten droplet.

The application of an inductance control feature is typical for most GMAW power sources. Inductance has effects only in the short-circuit transfer mode. Usually, inductance is either fixed or variable; and this depends upon the design of the power source. A fixed inductance power source indicates that an optimum level of inductance is built into the power source, and variable inductance indicates that the amount of inductance applied to the arc is adjustable.

Inductance controls the rate of current rise following the short-circuit condition. Consequently, its use is beneficial because its adjustment facilitates adding or decreasing energy to the short-circuit condition. Inductance plays a role in the frequency of droplet transfer per unit of time: as the inductance increases, the frequency of short-circuit metal transfer decreases. Each droplet contains more energy and toe wetting improves. As the inductance decreases, the shortcircuit events increase, and the size of the molten droplet decreases.

The objective for the variable inductance control feature, on any given power source, is to transfer the smallest molten droplet possible with the least amount of spatter, and with sufficient energy to ensure good fusion. Additions of inductance will provide the essential energy to improve toe wetting.

Inductance is measured in Henries, and in a variable inductance power source it is the resulting arc performance characteristic that results from the interplay of a combination of electrical components. These components typically include the choke filter, capacitors, and power resistors.

Shielding gases for MIG/MAG welding

Oxygen, hydrogen, nitrogen, and carbon dioxide (CO₂) are reactive gases. Reactive gases combine chemically with the weld pool to produce a desirable effect.

Carbon Dioxide (CO₂) is inert at room temperature. In the presence of the arc plasma and the molten weld puddle it is reactive. In the high energy of the arc plasma

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРА, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ	Лист
						124
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

the CO₂ molecule breaks apart in a process known as dissociation. In this process, free carbon, carbon monoxide, and oxygen release from the CO₂ molecule. This occurs at the DC⁺ anode region of the arc. At the DC⁻ cathode region, which is invariably the work piece for GMAW, the released elements of the CO₂ molecule undergo the process of recombination. During recombination higher energy levels exist and are responsible for the deep and broad penetration profile that characterizes the use of carbon dioxide.

Dissociation and Recombination During the process of dissociation, the free elements of the CO₂ molecule (carbon, carbon monoxide, and oxygen) mix with the molten weld pool or recombine at the colder cathode region of the arc to form, once again, carbon dioxide. The free oxygen combines chemically with the silicon, manganese, and iron to form oxides of silicon, manganese and iron. Formed oxides, commonly referred to as silica islands, float to the surface of the weld pool, then solidify into islands on the surface of the finished weld or collect at the toes of a weld. Higher levels of carbon dioxide (higher oxidation potential) increases the amount of slag formed on the surface of the weld. Lower levels of carbon dioxide (lower oxidation potential) increase the amount of alloy silicon and manganese retained in the weld. As a result, lower carbon dioxide levels, in a binary or ternary shielding gas blend, increase the yield and ultimate tensile strength of a finished weld.

Oxygen (O₂) is an oxidizer that reacts with components in the molten puddle to form oxides. In small additions (1-5%), with a balance of argon, it provides good arc stability and excellent weld bead appearance. The use of deoxidizers within the chemistry of filler alloys compensates for the oxidizing effect of oxygen. Silicon and manganese combine with oxygen to form oxides. The oxides float to the surface of the weld bead to form small islands, and are more abundant under CO₂ shielding than with blends of argon and oxygen gas.

Hydrogen (H₂) in small percentages (1-5%), is added to argon for shielding stainless steel and nickel alloys. Its higher thermal conductivity produces a fluid

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРА, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		125

puddle, which promotes improved toe wetting and permits the use of faster travel speeds.

FIGURE 7: Bead contour and penetration patterns for various shielding gases

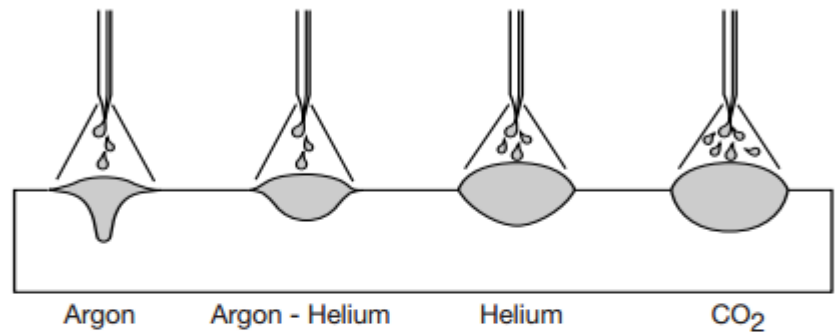
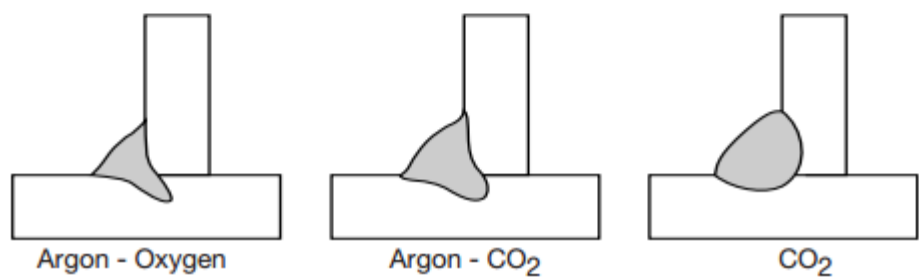


FIGURE 8: Relative effect of Oxygen versus CO₂ additions to the argon shield



References

1. *McGraw-Hill Encyclopedia of Engineering*. New York: McGraw-Hill Inc., 1982;
2. Bruna de Sivry, "Electron Beam Welding to Make J-Curve Pipelaying Possible," *Pipeline & Gas Journal*, May 1982, p. 58;
3. "CRC Automatic Welding," Crutcher Resources Corp., December 1982;
4. United States Code of Federal Regulations, Title 49, *Pipeline Safety Regulations*, Part 192, Appendix C;
5. R.L. Looney, "Proper Welding Techniques Can Minimize Pipeline Defects," *Oil & Gas Journal*, 4 July 1977, p. 66;
6. W.L. Galey, "Patented Pipe-Joining Process Tested," *Oil & Gas Journal*, 5 April 1982, p. 170;
7. Gas Metal Arc Welding Product and Procedure Selection, Lincoln Electric journal, p. 93.

					ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ РЕЗЕРВУАРА, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		127