

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Факультет «Материаловедение и металлургические технологии»
Кафедра «Оборудование и технология сварочного производства»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА
Рецензент

Должность, место работы

Подпись И.О. Фамилия

« ____ » _____ 2018 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

М.А. Иванов

« ____ » _____ 2018 г.

Технологические особенности сварки резервуара емкостью 1000 метров кубических

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ)**

Руководитель ВКР

Осипов А.М.

Подпись И.О., Фамилия

« ____ » _____ 2018 г.

Автор ВКР

магистрант группы П-246 Муллин
Егор Юрьевич

« ____ » _____ 2018 г.

Нормоконтролёр
преподаватель

Ю.В. Безганс

« ____ » _____ 2018 г.

Челябинск, 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	9
1 АНАЛИЗ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ИЗДЕЛИЯ	
1.1 Обзор литературы	10
1.2 Описание конструкции	11
1.3 Материал изделия и его свариваемость	13
1.4 Оценка свариваемости стали	15
2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	
2.1 Подготовка детали под сварку	16
2.2 технологии сборки	19
2.3 Базовая технология сварки	20
2.4 Расчет режима сварки	21
2.5 Выбор сварочных материалов.....	26
2.5.1 Выбор сварочной проволоки	26
2.5.2 Выбор сварочного флюса.....	27
2.5.3 Выбор защитного газа.....	28
2.6 Выбор и обоснование технологического оборудования	25
2.6.1 Оборудование для сборки.....	28
2.6.2 Выбор сварочных автоматов.....	30
2.6.3 Выбор сварочного источников питания	32
3 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКО-ЭКСПИРЕМЕНТАЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ	
3.1 Цель и задачи эксперимента	35
3.2 План эксперимента	36
3.3 Методика и анализ обработки экспериментальных данных	37
3.3.1 Испытания сварного соединения на статический изгиб	38

					15.04.01.2018.211.00 ПЗ	Лист
						5
Изм	Лист	№докум	Под-	Дата		

3.3.2 Испытания сварного соединения на растяжение	42
3.3.3 Замеры твердости	48
3.4 Исследовательская часть	51
3.4.1 Методика обработки исследовательской части	52
3.5 Выводы по разделу	55
Заключение	56
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	57
Приложение	

ВВЕДЕНИЕ

Современные методы производства различных строительных конструкций предусматривают значительное увеличение производительности выпуска за счет технологических и перспективных решений. Сокращение временных и материальных издержек на подготовку и производство единичных либо постоянных заказов – важнейшая цель любого производителя. В данном аспекте явно просматривается зависимость потребности в необходимом оборудовании и средствах автоматизации от производственной программы.

В области сварочного производства трудовые затраты на сварочные работы обычно не превышают 30%. Большой объем занимают заготовительные, сборочные и вспомогательные, особенно транспортные операции. Следовательно, повышение производительности только сварочных работ не может дать эффекта. Отсюда необходимость комплексной механизации и автоматизации, охватывающей не только основные (заготовительные, сборочные, сварочные), но и вспомогательные (транспортные, контрольные) операции.

Совершенствование производства сварных конструкций требует не только наличие механизмов, способных осуществить все необходимые операции технологического процесса, но и рациональной их компоновки. При этом требования как к механизмам, так и к их компоновки определяются характером производства. Так, для серийного и мелкосерийного производства резервуаров требуются универсальные устройства, пригодные для работы в широком диапазоне, типоразмеров заготовок и изделий. Для крупносерийного и массового производства используют более производительное специализированное оборудование в составе поточных, автоматических и роторных линиях конкретного целевого назначения. Один из основных путей совершенствования технологии сварки связан с переходом на компьютерное регулирование сварочного процесса.

					15.04.01.2018.211.00 ПЗ	Лист
						7
Изм	Лист	№докум	Под-	Дата		

1 АНАЛИЗ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ИЗДЕЛИЯ

1.1 Обзор литературы

При выполнении исследовательской работы были использована следующая основная документация:

1. ГОСТ 31385-2008 Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия 2007 год;

2. СТО-СА-03-002-2009 Правила проектирования, изготовления и монтажа вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов. Москва 2009 год.;

3. РД-23-020.00-КТН-018-14 Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Резервуары стальные вертикальные для хранения нефти и нефтепродуктов объемом 1000-50000 куб.м. Нормы проектирования 2014 год.

Так же был проведен обзор литературы в журнале «Сварочное производство» глубиной 10 лет.

4. Статья «Особенности возникновения концентрации напряжений на вмятинах сосуда 1000 м³». Сварочное производство № 1, 2015 год. СТР

Вмятина является концентратором напряжений, причем максимальные напряжения независимо от формы вмятины на цилиндрической обечайке располагаются в наиболее удаленных точках радиусного перехода от центра вмятины в меридиальном направлении.

Максимальные напряжения в радиусных переходах зависят от величины радиуса перехода и с увеличением радиуса уменьшаются.

5. Статья «Механизированная и автоматическая сварка стальных вертикальных цилиндрических резервуаров вместимостью 50000 м³ в условиях Заполярья».

Сварочное производство № 9, 2007 год.

					15.04.01.2018.211.00 ПЗ	Лист
						8
Изм	Лист	№ докум	Под-	Дата		

1.2 Описание конструкции

Резервуар - промышленное хранилище, расположенное на земле или под землей. Особой популярностью пользуются емкости цилиндрической формы, и в частности РВС 1000 - резервуары вертикальные стальные, объемом 1000 м³. Такие емкости широко применяются во многих отраслях промышленности, где имеется необходимость в сохранении больших объемов жидких и сыпучих материалов. Обычно РВС 1000 производят для резервуарных парков крупных нефтебаз, магистральных нефтепроводов, нефтеперерабатывающих заводов, аэропортов и других объектов. Они приспособлены для хранения - нефти и нефтепродуктов, смазочных и охлаждающих жидкостей, кислот, щелочей, воды, спиртосодержащих напитков, растительного масла, минеральных удобрений, зерна, комбикорма, цемента и подобных веществ.

Возможные варианты исполнения резервуаров:

- резервуар со стационарной крышей с понтоном (РВСП);
- резервуар со стационарной крышей без понтона (РВС);
- резервуар с плавающей крышей (РВСПК)-в резервуарах с плавающей крышей почти полностью устраняется газовое пространство и предотвращаются потери от испарения при больших и малых «дыханиях».

В эксплуатации РВС-1000 м³ (рисунок 1.1) определены существуют требования:

- плотность хранимой жидкости не должна быть выше 1 т/м³;
- рабочее давление – должно быть не выше 2 кПа;
- рабочая температура - не выше 95°С.

					15.04.01.2018.211.00 ПЗ	Лист
						9
Изм	Лист	№докум	Под-	Дата		



Рисунок 1.1 – Резервуар 1000 м³

Для производства стальных резервуаров объемом 1000 м³, в зависимости от климатических условий применяются следующие марки стали - сталь Ст3 Сп5 для районов с мягким климатом, где температура окружающего воздуха не опускается ниже -40⁰с и марка стали 09Г2С - с суровыми условиями эксплуатации при более низких температурах.

Резервуары для хранения нефтепродуктов различаются по виду хранимого продукта:

- для темных нефтепродуктов (мазут, моторное и трансмиссионное масло),
- для светлых нефтепродуктов (бензин, керосин, дизельное топливо),
- для масел (автол, дизельное, тормозная жидкость).

Монтаж вертикальных стальных резервуаров выполняют двумя способами: рулонным и листовым, возможен и комбинированный метод, когда днище емкости составляется листовым способом, а цилиндрическая стенка - рулонным. Рулонный метод - индустриальный, т.е. основная часть сварочных работ производится в заводских условиях на стационарном оборудовании, что гарантирует

					15.04.01.2018.211.00 ПЗ	Лист
						10
Изм	Лист	№докум	Под-	Дата		

высокое качество готового продукта и значительное сокращение времени сварочных работ в процессе монтажа. Это самый распространенный и экономически обоснованный метод изготовления вертикальных цилиндрических емкостей. Полистовой метод применяется реже и применяется в том случае, когда доставка рулонированных составных частей резервуара к месту установки по каким-либо причинам затруднительна. Это способ сборки емкостей методом сварки из максимально больших по размерам стальных листов, доставляемых к месту монтажа в специальных контейнерах- ложементах.

1.3 Материал изделия и его свариваемость

Для изготовления резервуара в настоящее время применять стали 09Г2С, WELDOX 700 E, т.к. они в полной мере удовлетворяют всем требованиям (СП – 53 – 101 – 98) для производства резервуара .

Таким образом, согласно СНиП II – 23 – 81* для изготовления резервуара применяется низколегированная сталь перлитного класса марки 09Г2С по ГОСТ – 19281 – 89. Сталь имеет повышенную прочность и текучесть, низкий порог хладноломкости (таблица 1.1). Имеет более высокую по сравнению с углеродистыми сталями коррозионную стойкость, сваривается без ограничений в широком диапазоне.

Данная категория характеризует механические свойства при растяжении и положительные результаты на изгиб в холодном состоянии.

Таблица 1.1 – Механические свойства стали 09Г2С

$\sigma_{\text{в}}$	$\sigma_{\text{т}}$	δ_5	ψ	КСУ
МПа	МПа	%	%	Дж
430-490	265-345	21	66	59-64

Обозначения:

$\sigma_{\text{в}}$ – Предел кратковременной прочности, Мпа

$\sigma_{\text{т}}$ – Предел текучести для остаточной деформации, Мпа

δ_5 – Относительное удлинение при разрыве, %

ψ – Относительное сужение, %

КСУ – Ударная вязкость, Дж

Сталь 09Г2С применяется для изготовления различных деталей и элементов сварных металлоконструкций, работающих при температуре от -70 до +425 °С; для паровых котлов, аппаратов и емкостей, работающих под давлением при температуре от -70 до +450 °С; для ответственных листовых сварных конструкций в химическом и нефтяном машиностроении, судостроении; для изготовления деталей трубопроводной арматуры после закалки и отпуска; изготовления сварных переходов, фланцев, сварных тройников и других фасонных деталей трубопроводов АС с температурой эксплуатации от -60 °С до +350 °С;

Сталь марки WELDOX 700E— высокопрочная (конструкционная) сталь предназначенная для несущих конструкций и резервуаров, с минимальным пределом текучести 700 Мпа. Основные преимущества — легко сваривается и легко гнётся.

Конструкционные стали WELDOX производятся с маркировкой D, F (напр. WELDOX 700 D), где маркировка D обозначает гарантированную величину ударной вязкости KV при -200С, маркировка E обозначает гарантированную величину KV при -400С, маркировка F используется при -600С.

Таблица 1.2 – Механические свойства стали WELDOX 700E

$\sigma_{\text{в}}$	$\sigma_{\text{т}}$	δ_{5}	ψ	КСУ
МПа	МПа	%	%	Дж
755	809	16	-	30

Обозначения:

$\sigma_{\text{в}}$ – Предел кратковременной прочности, Мпа

$\sigma_{\text{т}}$ – Предел текучести для остаточной деформации, Мпа

δ_{5} – Относительное удлинение при разрыве, %

ψ – Относительное сужение, %

КСУ – Ударная вязкость, Дж

1.4 Оценка свариваемости стали

Расчет свариваемости стали 09Г2С производится по формуле (1) (согласно ГОСТ 27772-88):

$$C_э = C + Mn/6 + Si/24 + Cr/5 + Ni/40 + Cu/13 + V/14 + P/2 \quad (1)$$

Таблица 1.3 – Химический состав стали в %

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	Прочее
0.12	0.8	1.7	до 0.3	до 0.04	до 0.035	До 0.3	до 0.3	As до 0.08 остальное N = 0.008

Рассчитаем $C_э$ для стали 09Г2С.

$$C_э(09Г2С) = 0.12 + 1.7/6 + 0.8/24 + 0.3/5 + 0.3/40 + 0.3/13 + 0.035/2 = 0.53.$$

Из этого следует, что для стали 09Г2С не требуется предварительный подогрев и будем считать, что сталь не склонна к образованию холодных трещин.

Расчет свариваемости стали 09Г2С производится по формуле:

$$C_э = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15 \quad (2)$$

Таблица 1.4 – Химический состав стали в %

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	V
0.14	0.32	1.13	0.011	0.001	0.29	0.04	0.159	0	0.012

$$C_э(WELDOX 700E) = 0.14 + 1.13/6 + (0.29 + 0.159 + 0.012)/5 + (0.04)/15 = 0.42$$

Из этого следует, что для стали WELDOX 700E не требуется предварительный подогрев и будем считать, что сталь не склонна к образованию холодных трещин.

2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

В базовом варианте лист обечайки состоит из 3 ярусов. Каждый ярус был разной толщины:

Нижний ярус равен 12 мм.

Средний ярус равен 10мм.

Верхний ярус равен 8мм.

Сваренных из стали 09Г2С.

В проектируемом варианте технологического процесса, предлагается заменить разнотолщинность стенок обечайки. И заменяем нижний и средний ярус на толщину 8 мм.

Т.е. Для замены стали 09Г2С надо поднять предел текучести стали на 33%.

Выбираем сталь с пределом текучести свыше 458. И предлагаем сталь с более высоким пределом текучести марки WELDOX 700E.

Для проверки прочностных характеристик, проведены механические испытания по ГОСТ 6996:

- На растяжение
- На изгиб
- Замер твердости

И проведены исследования в программе ANSYS.

2.1 Подготовка поверхностей детали под сварку.

Подготовка поверхностей выполняться на деталях до сборки.

Свариваемые кромки и прилегающие к ним поверхности должны быть очищены от ржавчины, окалины, влаги, масла, технических жидкостей и других загрязнений до металлического блеска на ширину не менее 50 мм от соединения перед выполнением сварочных работ. Обезжиривание свариваемых кромок производят ацетоном и другими растворителями протирочным материалом из хлопчатобумажной ткани, не оставляющей ворса. На углеродистых и низколегированных сталях допускается удаление масел газопламенными горелками

									Лист
									14
Изм	Лист	№докум	Под-	Дата	15.04.01.2018.211.00 ПЗ				

(без применения растворителей), при этом ширина газопламенной обработки обезжиривания должна быть не менее 100 мм.

С целью предотвращения коррозии или повторного загрязнения необходимо, чтобы зачистка свариваемых кромок, сборка и сварка производилась без значительных разрывов во времени.

При обнаружении коррозии или загрязнения кромок собранного изделия необходимо провести повторную зачистку, при этом продукты очистки не должны оставаться в зазорах между собранными деталями.

С деталей, полученных плазменной, лазерной, машинной или ручной газокислородной резкой, должен быть удален грат, шлак с кромок. Поверхность кромок, фасок для соединений без разделки и с разделкой, выполненных ручной газокислородной резкой и имеющие неровности глубиной более 0,3 мм, должна быть зачищена с удалением всех неровностей и углублений.

Зачистка поверхности допускается на глубину, не выводящую толщину проката за пределы минусового допуска.

Места, подлежащие зачистке под сварку, поверхности примыкающих деталей должны предварительно размечаться согласно чертежу.

Подготовленные (зачищенные) кромки и места под сварку должны быть предъявлены мастеру, или контролеру ОТК при сдаче операции сборки (узлов или конструкций).

Размеры конструктивных элементов кромок сварных соединений должны соответствовать указанным в ГОСТ 8713, ГОСТ 11533.

При контроле должна быть проверена визуально полнота мест и качество зачистки.

Зачищенные кромки и места под сварку должны удовлетворять следующему: отсутствие шлака, грата, ржавчины, окалины, масла, влаги и других загрязнений.

Элементы, собранные под сварку с не зачищенными кромками и зонами в местах наложения швов, подлежат обязательной разборке.

Сварка стыковых соединений плоских деталей неодинаковой толщины при разнице, не превышающей значений, указанных в таблице 2.1, должна проводить-

					15.04.01.2018.211.00 ПЗ	Лист
						15
Изм	Лист	№докум	Под-	Дата		

ся так же, как деталей одинаковой толщины; конструктивные элементы подготовленных кромок и размеры сварного шва следует выбирать по большей толщине.

[5]

Таблица 2.1 – Допустимая разность толщин соединяемых деталей

Толщина тонкой детали, мм	Разность толщин деталей, мм
от 2 до 4	1
св. 4 до 30	2
св. 30 до 40	4
св. 40	6

При разности в толщине свариваемых деталей свыше значений, указанных в таблице 2.1 на детали, имеющей большую толщину, должен быть сделан скос $(15\pm 2)^\circ$ с одной или двух сторон до толщины тонкой детали. При этом конструктивные элементы подготовленных кромок и размеры сварного шва следует выбирать по меньшей толщине.

При подготовке кромок с применением ручного инструмента предельные отклонения угла скоса кромок могут быть увеличены до $\pm 5^\circ$.

Деформированные конструкции следует выправить. Правка выполнена без нагрева поврежденного элемента (холодная правка) либо с предварительным нагревом (правка в горячем состоянии) термическим или термомеханическим методом. Холодная правка допускается только для плавно деформированных элементов.

Холодную правку конструкций следует производить способами, исключая образование вмятин, выбоин и других повреждений на поверхности проката.

2.2 Основные положения технологии сборки.

Перед прихваткой необходимо проверить правильность установленного зазора между кромками, смещение кромок и плавность перехода при разной толщине свариваемых листов в соответствии с требованиями стандартов и чертежей.

Прихватки рекомендуется располагать со стороны, противоположной выполнению первого прохода. Постановка прихваток на пересечении швов не допускается. Прихватки должны быть тщательно очищены от шлака, проверены на отсутствие дефектов внешним осмотром.

Запрещается зажигать дугу на основном металле вне разделки кромок или вне зоны расположения сварного шва.

При сборке и сварке крупногабаритных конструкций должны быть выполнены мероприятия, направленные на снижение сварочных деформаций и получение требуемой геометрической формы конструкции.

Допускается в стыковых соединениях резервуара смещение свариваемых кромок плоских деталей перед сваркой относительно друг друга согласно значениям таблицы 2.2.

Таблица 2.2 – Допустимое смещение кромок плоских деталей

Толщина детали, мм	Смещение кромок, мм
от 4 до 10 вкл.	не более 1,0 мм
Св. 10	10% толщины, не более 3,0 мм

Длина прихватки должна составлять (2-5) S, но не менее 30 мм и не более 100 мм, а расстояние между ними (10-40) S, но не более 500 мм, где S - толщина свариваемого материала. Для временного закрепления технологических приспособлений и небольших деталей разрешается устанавливать прихватки длиной 10-30 мм. Размер катета прихватки в местах выполнения угловых швов не должен превышать 0,7 размера катета сварного шва, чтобы в последствии быть переплавленной. В случае, если собранные на прихватках детали подлежат транспортированию до сварки, их количество, расположение и размеры должны быть рассчитаны на транспортировочные нагрузки, в том числе от собственного веса.

2.3 Основные положения технологии сварки.

Сварку следует производить при стабильном режиме. Предельные отклонения заданных значений силы сварочного тока не должны превышать 10%, а напряжения дуги 5%. Колебания напряжения питающей сети, к которой подключено сварочное оборудование, не должны превышать $\pm 5\%$.

Основными условиями получения качественных сварных соединений при сварке под флюсом являются:

- надежная защита дуги от воздуха должна быть обеспечена применением флюса с высотой слоя над дугой не менее 30 мм;
- кромки металла, соприкасающиеся с флюсом должны быть свободны от ржавчины, влаги и жировых пленок;
- подсос воздуха и влаги в зону дуги через зазоры в свариваемых листах должен быть исключен за счет предварительной подварки шва тонким слоем, выполняемым механизированной сваркой проволокой сплошного сечения в защитном газе или порошковой проволокой, или с использованием подкладок;
- полное проплавление кромок и сплошность швов должны обеспечиваться за счет правильно подобранных режимов сварки и обеспечения контролируемого направления электродной проволоки в зону сварки;
- после каждого прохода и очистки шва от шлаковой корки следует проводить визуальный контроль шва и исправление дефектных участков.

Технологический процесс автоматической сварки под флюсом состоит из следующих основных операций:

- установки сварочных головок, корректировки их положения и проверки настройки параметров режима сварки. Настройка основных параметров режима должна производиться до начала выполнения работ. В процессе сварки производится периодический контроль параметров режима;
- визуального контроля их качества сварки заполняющих и облицовочных слоев шва. При автоматической сварке сварные швы рекомендуется выполнять «на проход» (от начала до конца) по длине шва.

Сборку листов полотнища производят на сборочном стенде. Укладывают ли-

					15.04.01.2018.211.00 ПЗ	Лист
						18
Изм	Лист	№ докум	Под-	Дата		

сты на стенде, собирают карту обечайки. Подгоняют стыки вплотную, подбивают во избежание несносности. Зазор между стыками не более 0.8мм. Смещение кромок 0.4мм. Собирают карту обечайки на прихватки механизированной сваркой в среде защитных газов, длина прихватки 30мм, шаг 150 – 300мм, заваривают карту в 2 яруса с двух сторон автоматической сваркой под флюсом АН – 348А ГОСТ 9087 – 81, марка проволоки Св–08Г2С ГОСТ 2246 – 70 диаметр 1.6 мм, AristoRod 69, защитный газ CO₂+Ar (80%+20%). Сварочным автоматом ESABA2 Multitrac.

2.4 Расчет режима сварки.

Сварным соединением называют участок конструкции, в котором отдельные её элементы соединены с помощью сварки. Сварное соединение состоит из шва 1, зоны термического влияния (ЗТВ) 2 и примыкающих к ЗТВ участков основного металла.

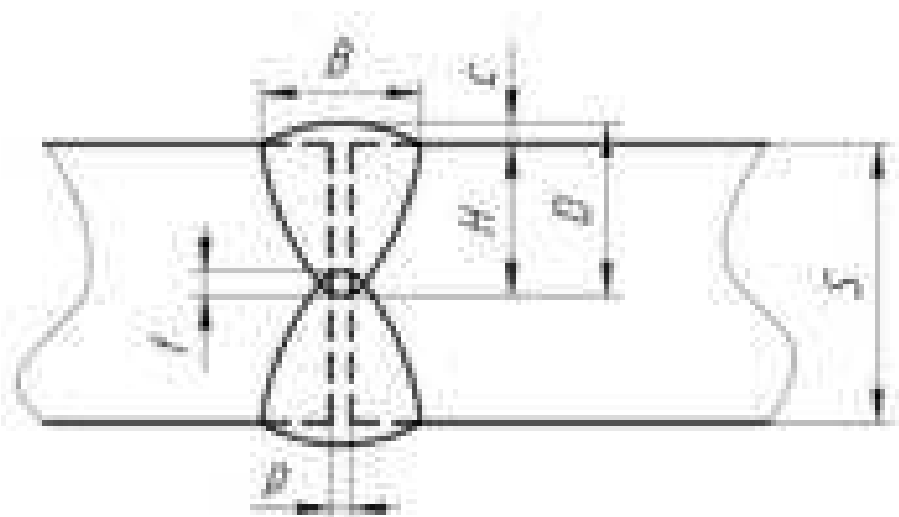


Рисунок 2.1– Обеспечение полного провара соединяемых пластин.

Сварной шов – это часть сварного соединения, металл которой в процессе сварки был нагрет до температуры плавления и выше.

ЗТВ – прилегающий к сварному шву основной металл нагретый в процессе сварки выше температур структурных превращений.

Поперечное сечение переплавленного дугой металла условно делят на зону наплавки F_H , находящуюся вне первоначальной кромки основного металла, и зону проплавления, находящуюся внутри этой кромки.

Геометрию шва характеризуют следующие параметры;

										Лист
										19
Изм	Лист	№докум	Под-	Дата	15.04.01.2018.211.00 ПЗ					

H – глубина проплавления свариваемого металла, см;

B – ширина шва, см;

C – усиление шва, см;

Очертания зоны проплавления характеризуют коэффициентом формы проплавления;

$$\psi_{\text{пр}} = K' \times (19 - 0,01 \times I_{\text{св}}) \times \frac{U_{\text{д}} d_{\text{э}}}{I_{\text{св}}} \quad (3)$$

$$\psi_{\text{пр}} = 0,92 \times (19 - 0,01 \times 360) \times \frac{35 \times 1,6}{360} = 2,2$$

$$\psi_{\text{пр}} = 0,92 \times (19 - 0,01 \times 360) \times \frac{31 \times 3}{360} = 3,11$$

Зная глубину провара H и $\psi_{\text{пр}}$, определяют ширину шва

$$B = \psi_{\text{пр}} \times H \quad (4)$$

$$B = 2,91 \times 4 = 11,18 \text{ мм};$$

$$B = 2,36 \times 4 = 9,44 \text{ мм};$$

Очертания наплавленного металла характеризуют коэффициентом формы валика (усиления)

$$\psi_{\text{в}} = B/C \quad (5)$$

$$\psi_{\text{в}} = 3,69$$

$$\psi_{\text{в}} = 7,05$$

Для вычисления высоты валика C и коэффициента формы усиления шва $\psi_{\text{в}}$ рассчитывают площадь поперечного сечения наплавленного металла по формуле (6)

$$F_{\text{н}} = \frac{a_{\text{р}} \times I_{\text{св}} \times (1 - \psi_{\text{п}})}{3600 \times \gamma \times U_{\text{св}}} \quad (6)$$

$$F_{\text{н}} = 0,27 \text{ см}^2$$

					15.04.01.2018.211.00 ПЗ	Лист 20
Изм	Лист	№ док-м	Под-	Дата		

$$F_H = 0,08 \text{ см}^2$$

Где a_p – коэффициент расплавления; Ψ_H – коэффициент потерь металла на разбрызгивание и угар.

При механизированных способах сварки под флюсом и среде защитного газа $\Psi_H \approx 1\%$, поэтому в расчетах его величиной можно пренебречь.

Значение коэффициента расплавления a_p состоит из двух слагаемых

$$a_p = a'_p + \Delta a_p \quad (7)$$

$$a_p = 17,64 \text{ г/А} \times \text{ч}$$

$$a_p = 14,4 \text{ г/А} \times \text{ч}$$

Где a'_p - составляющая, обусловленная тепловложением дуги, г/Ач;

Δa_p – составляющая, зависящая от тепло вложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током, г/Ач;

При сварке постоянным током обратной полярности составляющая коэффициента расплавления

$$a'_p = 11,6 \pm 0,4 \quad (8)$$

Величину второй составляющей Δa_p рассчитывают по уравнению (9)

$$\Delta a_p = \frac{3600 \times Q_{\text{плп}}}{q_3 \times I_{\text{св}}} \quad (9)$$

$$\Delta a_p = 5,64 \text{ г/А} \times \text{ч}$$

$$\Delta a_p = 0,58 \text{ г/А} \times \text{ч}$$

Где $Q_{\text{плп}}$ – количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета электродной проволоки протекающим по нему током, кал; q_3 – количество теплоты, необходимое для расплавления 1 г электродной проволоки ($\approx 325 \frac{\text{кал}}{\text{г}}$).

Значение $Q_{п.п}$ рассчитывают по формуле (10)

$$Q_{п.п} = 0,1884 \times j^2 \times p_0 \times d_3^2 \left[\frac{U_3}{a \times \alpha \times \beta} (e^{-p_1 2l} - 1) - \frac{b(T_{пл} - T_0)}{p_1} \right] \quad (10)$$

$$Q_{п.п} = 183,22 \text{ кал}$$

$$Q_{п.п} = 18,73 \text{ кал}$$

Где j – плотность тока в электроде, А/см²; p_0 – удельное электрическое сопротивление электродной проволоки при нуле градусов (для низкоуглеродистой проволоки $p_0 = 0,000014 \text{ Ом/см}$); d_3 – диаметр электродной проволоки, см; U_3 – условная скорость подачи электрода, см/с (скорость плавления электродной проволоки при нулевом вылете); α – коэффициент температур проводимости, см²/с; b – коэффициент изменения электрического сопротивления с изменением температуры (для низкоуглеродистых сталей $b \approx 0,0083 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$; β – коэффициент, равный $0,24j^2 p_0 / a c y$; c – теплоемкость, кал/г ⁰С; y – плотность, г/см³; L_3 – вылет электрода, см; $T_{пл}$ – температура плавления проволоки, ⁰С; T_0 – начальная температура проволоки, ⁰С; p_1 и p_2 – коэффициенты, равные

$$p_{1,2} = \frac{U_3}{2a} \pm \sqrt{\frac{U_3^2}{4a^2} - a \times \beta} \quad (11)$$

Вычислив значение a_p и $\Psi_{п}$, по формуле(6) определяют площадь наплавленного металла F_n .

Площадь поперечного сечения валика:

$$F_{в} = F_n = B \times C \times \mu_{в} \quad (6)$$

где B и C – ширина и высота валика, см; $\mu_{в}$ – коэффициент полноты.

Как показывает опыт, при всех способах автоматической и полуавтоматической сварки $\mu_{в}$ имеет устойчивое значение, равное $\approx 0,73$. Поэтому в расчетах принимают

					15.04.01.2018.211.00 ПЗ	Лист
						22
Изм	Лист	№ док-м	Под-	Дата		

$$C = F_H / 0,73B \quad (12)$$

$$C = 0.033 \text{ мм}$$

$$C = 0,88 \text{ мм}$$

1. Исходя из чертежа назначают требуемую глубину провара при сварке с одной стороны

$$H \geq S/2. \quad (13)$$

$$H \geq 4 \text{ мм.}$$

При этом H первого слоя не должна превышать 60-70% от толщины свариваемых листов.

2. Задают силу сварочного тока, обеспечивающую требуемую глубину провара, исходя из условия

$$I_{св} \approx (80 - 90) \times H \quad (14)$$

$$I_{св} \approx 360 \text{ А}$$

3. По плотности сварочного тока выбирают диаметр электродной проволоки.

Таблица 2.3 – Выбор диаметра электрода.

Диаметр электрода, мм	1.6
	3.0
Плотность тока, А мм ²	50-200

1. Скорость сварки назначают по формуле

$$U_{св} = \frac{P}{I_{св}} \quad (15)$$

Значение параметра P в формуле (15) выбирают по таблице 2.4

Таблица 2.4 – Выбор параметра Р

d_3 , мм	1.6	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Р, Ам/ч	5000- 8000	8000- 12000	12000- 16000	16000- 20000	20000- 25000	25000- 30000

$$V_{св} = \frac{8000}{360} = 22.2 \frac{\text{м}}{\text{ч}}$$

$$V_{св} = \frac{16000}{360} = 44.4 \frac{\text{м}}{\text{ч}}$$

2. Назначают вылет электрода из условия

$$L_3 \approx 10 \times d_3 \quad (16)$$

$$L_3 \approx 30 \text{ мм}$$

3. Напряжение дуги назначают по формуле

$$U_{д} = 20 + \frac{50 \times 10^{-3}}{d_3^{0.5}} I_{св} \pm 1 \quad (17)$$

$$U_{д} = 20 + \frac{50 \times 10^{-3}}{1.26} 360 \pm 1 \approx 35$$

$$U_{д} = 20 + \frac{50 \times 10^{-3}}{1.73} 360 \pm 1 \approx 31$$

4. Скорость подачи электродной проволоки, см/с, рассчитывается по формуле.

$$V_{пп} = \frac{4 \times a_p \times I_{св}}{\pi \times d_3^2 \times j} \quad (18)$$

$$V_{пп} = \frac{4 \times 52.7 \times 360}{3.14 \times 2.56 \times 7.8} = 1.2 \frac{\text{см}}{\text{с}}$$

$$V_{пп} = \frac{4 \times 14.4 \times 360}{3.14 \times 9 \times 7.8} = 2.61 \frac{\text{см}}{\text{с}}$$

Таблица 2.5 – Параметры сварки.

Толщина Металла S, мм	Диаметр проволоки, мм	Свароч- ный ток, А	Напря- жение, В	Скорость подачи проволо- ки, м/час	Скорость сварки, м/час	Вылет электрод- ной прово- локи
8	Ø1.6	360	35	22.2	43.2	30
	Ø3		31	44.4	93.96	

2.5 Выбор сварочных материалов

2.5.1 Выбор сварочной проволоки

Согласно СНиП II–23-81*, таблица 55 для автоматической сварки под слоем флюса стали 09Г2С следует применять сварочную проволоку марки Св - 08Г2С по ГОСТ 2246- 70*, так как состав легирующих элементов в ней приблизительно равен основному металлу в сочетании с флюсом марки АН - 348А.

Таблица 2.6 – Химический состав проволоки марки Св– 08Г2С в %

Химический элемент	Химический состав						
	Углерод С	Кремний Si	Марганец Mn	Хром Cr	Никель Ni	Сера S	Фосфор P
Требования ГОСТ 2246- 70	0.05- 0.11	0.7-0.95	1.80-2.10	<0.20	<0.25	<0.025	<0.03

Для сварки стали марки WELDOX 700E применять сварочную проволоку марки

ESAB ОК AristoRod 69, так как не омеднённая сварочная проволока с уникальной обработкой поверхности ASC (AdvancedSurfaceCharacteristics – поверхность с улучшенными характеристиками), предназначенная для сварки высоко-

					15.04.01.2018.211.00 ПЗ	Лист
						25
Изм	Лист	№докум	Под-	Дата		

прочных сталей с пределом текучести до 700 МПа, таких как DOMEX 700MC, WELDOX 700. Наплавленный металл обладает высокой ударной вязкостью при температурах до -40°C.

Таблица 2.7 – Химический состав проволоки марки AristoRod 69 в %

C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	V	P	S
Max. 0.10	1.50- 1.80	0.40- 0.70	1.20- 1.60	0.20- 0.40	0.20- 0.30	0.05- 0.10	Max. 0.015	Max. 0.015

2.5.2 Выбор сварочного флюса

Сварочный флюс предназначен для обеспечения устойчивого горения дуги, раскисления сварочной ванны, получения плотных швов без шлаковых включений, уменьшения потерь электронного металла на угар и разбрызгивания.

Флюс марки АН-348А - стекловидный плавный флюс с темно-коричневой окраской зерен, состоит в основном из оксидов металлов и может содержать до 10% фтористых соединений, предназначен для сварки углеродистых и легированных сталей. Сварочно-технологические свойства: устойчивость горения дуги хорошая; формирование шва удовлетворительное; склонность металла шва к образованию пор и трещин низкая.

Таблица 2.8– Химический состав флюса АН – 348А ГОСТ 9087-81* в %

Si O2	Mn O	Ca F2	Mg O	Ca O	Al2 O3	Fe2 O3	S	P
41-44	34-48	4-5,5	5,5-7	6,5	4,5	2	<0,15	<0,12

2.5.3 Выбор защитного газа

Для автоматической сварки в среде защитного газа согласно СНиП II-23-81*, таблица 55 применяют проволоку марки Св- 08Г2С по ГОСТ 2246- 70* в сочетании со смесью газов CO₂+ Ar (80%+20%). Используем проволоку марки ESAB ОК AristoRod 69 т.к. она удовлетворяет требованиям пределу текучести..

К технологическим преимуществам относятся простота процесса сварки, обеспечивающая высокую производительность и хорошее качество сварных швов. Этот способ дает возможность выполнять сварку полуавтоматом в различных пространственных положениях.

2.6 Выбор и обоснование технологического оборудования

2.6.1 Оборудование для сборки

Стенд для рулонирования резервуара, так же предназначен для сборки полотна резервуара (Рисунок 2.2).

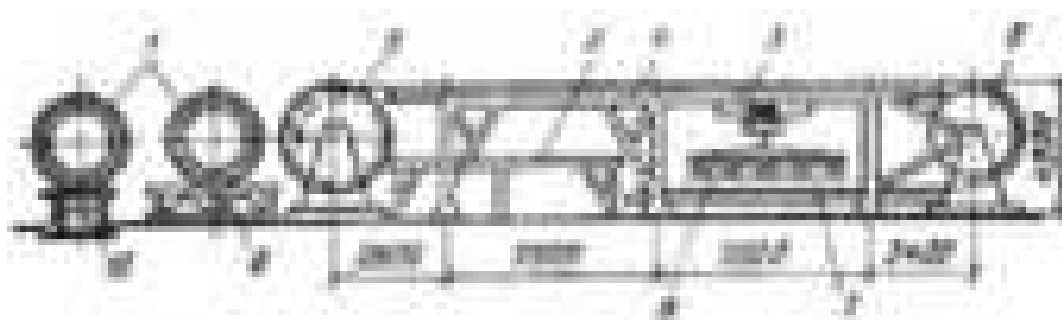


Рисунок 2.2 – Стенд для рулонирования резервуара

1- Готовые рулоны; 2- сворачивающие устройств; 3- контрольная площадка; 4- стеллаж второго яруса; 5- монорельс; 6- кантовочный барабан; 7- стенд первого яруса; 8- магнитный захват; 9- стеллаж для готовых рулонов; 10- железнодорожная платформа.

Сооружение промышленными методами резервуаров большой емкости для хранения сжиженных газов, жидкостей, нефтепродуктов предусматривает временное деформирование тонкостенных листовых полотнищ на двухъярусной установке для рулонирования. Принцип изготовления на ней сварных рулонированных полотнищ — конвейерный: совмещается сборка, сварка, кантовка, дефор-

					15.04.01.2018.211.00 ПЗ	Лист
						27
Изм	Лист	№ док-м	Под-	Дата		

мирование и контроль качества. Деформирование изгибом и кантовка проводятся обычно в упругопластической стадии, что позволяет сворачивать рулоны диаметром, удобным для перевозки к месту монтажа.

На нижнем ярусе типовой установки (рисунок 2.2) располагается стеллаж 1 для сборки и сварки, укладка листов на который производится с помощью электротельфера, перемещающегося по монорельсу 5 и имеющего электромагнитный захват 8. Кантовочный барабан 6 обеспечивает поворот полотнища на 180° после механизированной сварки подфлюсо швов с одной стороны. На верхнем ярусе осуществляется механизированная сварка под флюсом полотнища с другой стороны, контроль качества и исправление обнаруженных дефектов, для чего стенд имеет контрольную площадку 3. Сворачивающее устройство 2 обеспечивает получение рулонов 1, которые хранятся на стеллаже 9 или устанавливаются на железнодорожную платформу 10.

					15.04.01.2018.211.00 ПЗ	Лист
						28
Изм	Лист	№докум	Под-	Дата		

2.6.2 Выбор сварочных автоматов

В проектном варианте сварки использовался сварочный трактор ТС–17. В связи с переходом на сварку в смесях трактор не удовлетворяет новым требованиям.

Для автоматической сварки в среде защитного газа и под слоем флюса резервуара следует применять сварочный автомат типа ESAB A2 Multitrac характеристики полностью удовлетворяют режиму сварки (Рисунок 2.3).



Рисунок 2.3 – Сварочный трактор ESAB A2 Multitrac.

Таблица 2.9 – Характеристика сварочного трактора

Наименование	Сварка под одной проволокой	Сварка под флюсом расщепленной дугой	MIG/MAG одной проволокой	MIG/MAG с горелкой MTW600
Углеродистая проволока сплошного сечения. Диаметр мм	1.6-5.0	2x1.2-2.5	0.8-1.6	0.8-1.6
Проволока из нержавеющей стали, диаметр мм	1.6-4.0	2x1.2-2.5	0.8-1.6	0.8-1.6
Порошковая проволока, диаметр, мм	1.6-4	-	1.2-2.4	1.2-232.4

Продолжение таблицы

Скорость подачи м/мин	До 9	До 9	До 16	До 16
Скорость перемещения, мин	0.1-1.7	0.1-1.7	0.1-1.7	0.1-1.7
Масса ,кг	47	47	43	43
Габарит, мм	870x400x830	870x400x830	870x400x830	870x400x830

Комплект поставки:

-трактор для сварки под флюсом А2Т Multitrac с блоком управления РЕК - 1 шт.

- источник тока LAF 631 - 1 шт.

- кассета для проволоки - 1 шт.

- кабель управления - 1 шт.

- сварочный кабель 95 мм² 15 м - 2 шт.

- обратный кабель 95 мм² 10 м - 2 шт.

- кабель обратной связи 10 м - 1 шт.

- зажим обратного кабеля EG 600 - 2 шт.

- контактный наконечник д. 3,0 мм - 5 шт.

- подающий ролик д. 3,0 - 3,2 мм - 1 шт.

Сварочный трактор А2Т Multitrac с блоком управления РЕК используется для сварки под флюсом и для сварки в среде защитных газов. Сварка под флюсом может производиться как одной, так и двумя проволоками (расщепленной дугой). Механизм подачи с устройством спрямления, обеспечивает стабильную и равномерную подачу проволоки, уменьшает износ контактных частей и повышает стабильность сварочных процессов. Ручные суппорта перемещения сварочной головы в вертикальном и горизонтальном положении, в купе с возможностью поворота основной стойки дают возможность простого и быстрого позиционирования сварочной головы относительно стыка.

					15.04.01.2018.211.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№докум	Под-	Дата		30

Компактная конструкция позволяет легко переносить A2T Multitrac с одного изделия на другое. Точное перемещение трактора обеспечивается полным приводом. Компоненты имеют прочную конструкцию, и позволяют эксплуатировать его в самых тяжелых условиях. Электронная система управления с цифровым дисплеем позволяет программировать и управлять всеми сварочными параметрами.

В старом методе сварки использовался сварочный трактор ТС-17. Т.к. была добавлена новая защита «смесь защитных газов» ТС-17 не удовлетворяет новым требованиям.

2.6.3 Выбор сварочного источник питания



Рисунок 2.4 – выбор источника питания ESAB LAF

Таблица 2.10 – Технические характеристики выпрямителей LAF 1001

Наименования	LAF 1001
Питающее напряжение, В 3ф 50Гц	400
Потребляемый ток, А при ПВ 100%	64
Сечение питающего кабеля мм ²	4x16
Плавкий предохранитель, А	63
Максимальный ток/ напряжение, А/В	
При ПВ 100%	800/44
При ПВ 80%	-
При ПВ 60%	1000/44
Диапазон регулирования, А/В	50/17-1000/45
MIG/MAG Под флюсом	
Напряжение, В	52
Мощность, Вт	145
КПД	0.84
Коэффициент мощности	0.95
Класс пыли/влаги защиты	IP 23

Символ S означает, что источник сварочного тока может быть использован в районах с повышенной электрической опасности, то есть области, где вероятность поражения электрическим током увеличивается из-за высокой влажности и / или близость к заземленным металлическим объектам.

Источник демонстрирует хорошую стабильность дуги как на высоких, так на низких токах.

При необходимости получить большой сварочный ток, источник можно подключить параллельно используя дополнительный блок.

Источники не имеют свою собственную панель управления сварочными параметрами, поэтому для управления необходимо использовать сварочные головы с полностью цифровыми блоками управления сваркой РЕК - контроллер с максимальными возможностями управления Сварочные источники LAF имеют отличные сварочные характеристики во всем диапазоне токов и напряжений. Особенно хороши характеристики первичного зажигания и повторного зажигания дуги. Источники обеспечивают стабильную дугу, как на высоких, так и на малых величинах напряжения. Плавное регулирование напряжения дуги позволяет четко управлять сварочными параметрами.

Выпрямители LAF обеспечивают стабильность дуги при очень малых величинах напряжений. Это значит, что они идеальны для МИГ/МАГ сварки.

Трехфазные тиристорные источники серии LAF(ЛAF) с принудительным воздушным охлаждением предназначены для высокопроизводительных механизированных способов сварки: под слоем флюса или плавящимся электродом в среде защитных газов (MIG/MAG).

Источники предназначены для совместной работы с головами производства компании ESAB A2, A6 совместно с блоками управления сваркой РЕК(ПЕК) или РЕИ(ПЕИ) (только с A2).

Источники серии LAF обладают отличными сварочными характеристиками во всем диапазоне регулировок тока и напряжения, что особенно или РЕИ - с базовыми функциями для менее требовательных областей применения.

Интеграция LAF 1001

Современные технологии обмена данными играют важную роль в построении автоматизированных комплексов. Поэтому источники LAF последнего поколения имеют возможность обмена данными с использованием большинства стандартных протоколов, таких как TCP / IP (LAN), Anybus, Profibus, CAN или даже прямая связь с контроллером ЧПУ. В зависимости от типа используемого протокола связи могут потребоваться дополнительные модули.

					15.04.01.2018.211.00 ПЗ	Лист
						33
Изм	Лист	№докум	Под-	Дата		

3 ЭКСПИРЕМЕНТАЛЬНО – ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РАЗДЕЛ

3.1 Цель и задачи эксперимента

Целью экспериментальных исследований является переход на более прочную конструкционную сталь (WELDOX 700E, C-700, Quend), которая компенсирует уменьшение толщины стенки обечайки резервуара с 12 до 8 мм.

Задачами эксперимента являются:

1. Выбрать способ сварки.
2. Расчет параметры режимов сварки.
3. Сварка опытных образцов.
4. Механические испытания натуральных образцов.
5. Провести моделирование.

					15.04.01.2018.211.00 ПЗ	Лист
						34
Изм	Лист	№докум	Под-	Дата		

План эксперимента

- Сварка пластин толщиной 8 мм из стали 09Г2С и WELDOX 700E;
- Изготовление образцов на изгиб и растяжение;
- Провести изготовление макрошлифов сварных соединений.
- Провести замеры твердости характерных участков сварного соединения.
- Оценка влияния непровара на прочность сварного соединения WELDOX 700E + WELDOX 700E.
- Оценка концентрации напряжения сварного соединения с помощью Ansys.
- Вывод по работе.

					15.04.01.2018.211.00 ПЗ	Лист
						35
Изм	Лист	№докум	Под-	Дата		

3.3 Методика обработки эксперимента

Перед началом эксперимента были рассчитаны режимы сварки для проведения опытов. Режимы представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Режимы сварки контрольных сварных соединений.

Толщина Металла S, мм	Диаметр проволоки, мм	Свароч- ный ток, А	Напря- жение, В	Скорость подачи проволо- ки, м/час	Скорость сварки, м/час	Вылет электрод- ной прово- локи
8	Ø1.6	360	35	22.2	43.2	30
	Ø3		31	44.4	93.96	

Главный критерием оценки свариваемости будет служить наличие или отсутствие трещин после сварки.

После внешнего осмотра и измерений были проведены механические испытания по ГОСТ 6996[6] в объеме, указанном в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Объем механических испытаний.

Вид испытания	Число образцов, шт.	Нормируемый показатель
Статический изгиб	2	Угол статического изгиба, град, для сталей толщиной, мм: углеродистых до 20 – не менее 100 св. 20 – не менее 80 низколегированных до 20 – не менее 80 св. 20 – не менее 60
Статическое рас-	2	Временное сопротивление разрыву —

Продолжение таблицы

тяжение		не менее нижнего предела временного сопротивления основного металла, регламентируемого государственным стандартом.
Метод Измерения твердости по виккерсу	2	Поверхность испытуемого образца должна иметь шероховатость не более 0,16 мкм по ГОСТ 2789-73 и быть свободной от окисной пленки и посторонних веществ.

3.4.1 Испытания сварного соединения на статический изгиб

Испытания проводят для стыковых соединений. При испытании определяют способность соединения принимать заданный по размеру и форме изгиб. Эта способность характеризуется углом изгиба (Рисунок 3.1), при котором в растянутой зоне образца образуется первая трещина, развивающаяся в процессе испытания. Если длина трещин, возникающих в процессе испытания в растянутой зоне образца, не превышает 20 % его ширины, но не более 5 мм, то они не являются браковочным признаком. Определяют также место образования трещины или разрушения (по металлу шва, металлу околошовной зоны или основному металлу).

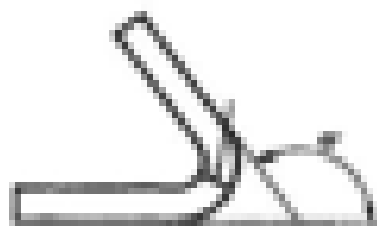


Рисунок 3.1 Угол изгиба

В нашем эксперименте образцы гнулись на аттестованном оборудовании Amsler.WELDOX 700E + 09Г2С прошёл испытание согнувшись на угол 129⁰ так как в таблице 3.2 указан угол в 80⁰ Рисунок 3.2



Рисунок 3.2 – Изгиб образца WELDOX 700E + 09Г2С

В ходе изгиба при угле 129° возникла трещина Рисунок 3.3



Рисунок 3.3 – Трещина в изгибе

Образец WELDOX 700E + WELDOX 700E прошёл испытание согнувшись на угол 131° так как в таблице 3.2 указан угол в 80° Рисунок 3.4

					15.04.01.2018.211.00 ПЗ	Лист
						38
Изм	Лист	№докум	Под-	Дата		



Рисунок 3.4 – Изгиб образца WELDOX 700E + WELDOX 700E

В ходе изгиба при угле 131° возникла трещина Рисунок 3.5

					15.04.01.2018.211.00 ПЗ	Лист
						39
Изм	Лист	№ док-м	Под-	Дата		



Рисунок 3.5 – Трещина в изгибе

Так же был заварен образец WELDOX 700E + WELDOX 700E с заложенным в него дефектом (непровар). Образец разорвался угол 60° Рисунок 3.6 с площадью не проплавления в 55%

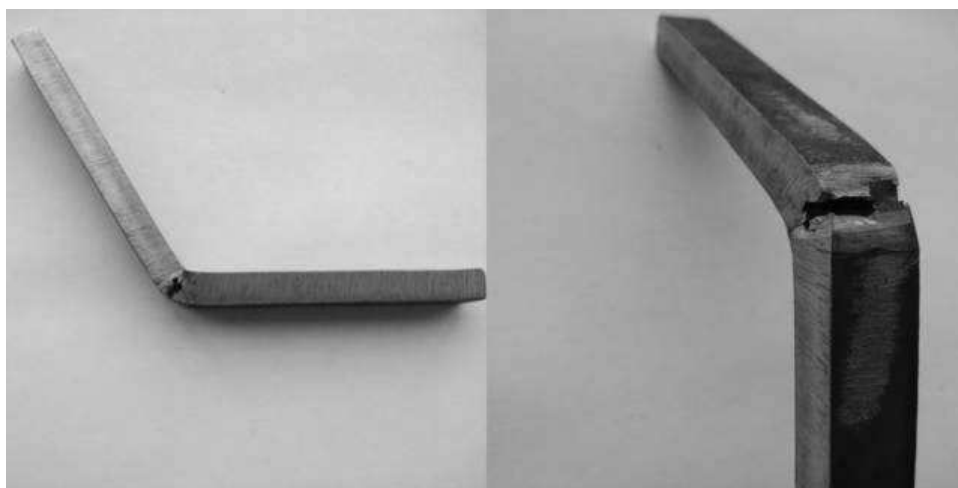


Рисунок 3.6 – Непровар в сварном шве

Вывод: Образцы с полным проваром выдержали испытание. А образец с площадью не проплавления в 55% разорвался при изгибе в 60°.

3.3.2 Испытание на растяжение

Сварное соединение подвергается растяжению поперек сварного шва приложением плавно нарастающего усилия вплоть до полного разрушения. Если нет других указаний в стандартах или другой технической документации, то испытания проводят при нормальной температуре (23 + 5) °С.

Образцы для испытаний вырезаны из специально изготовленных контрольных сварных соединений. (WELDOX 700E + WELDOX 700E WELDOX 700E + 09Г2С) (Рисунок 3.7). Испытание проводили на аттестованном оборудовании TiniusOlsen 602.

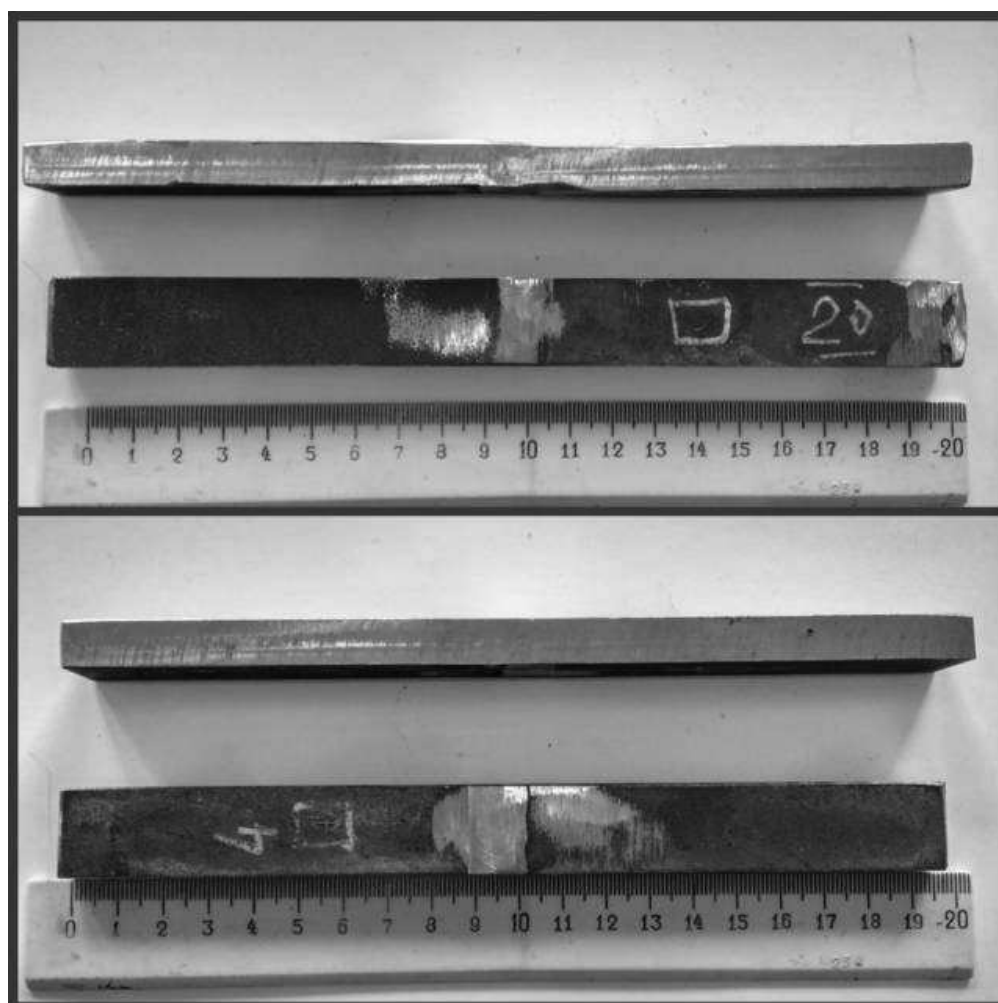


Рисунок 3.7 – Образцы для испытания на растяжение

В испытание с образцами WELDOX 700E + 09Г2С которые были заварены проволокой СВ-08Г2С, разрыв произошел по основному металлу более мягкой стали 09Г2С. Так как в металле шва произошло смешивание химического состава стали WELDOX 700E с проволокой СВ-08Г2С. В результате чего предел текучести сварного шва оказался больше чем предел текучести стали 09Г2С Рисунок 3.8.

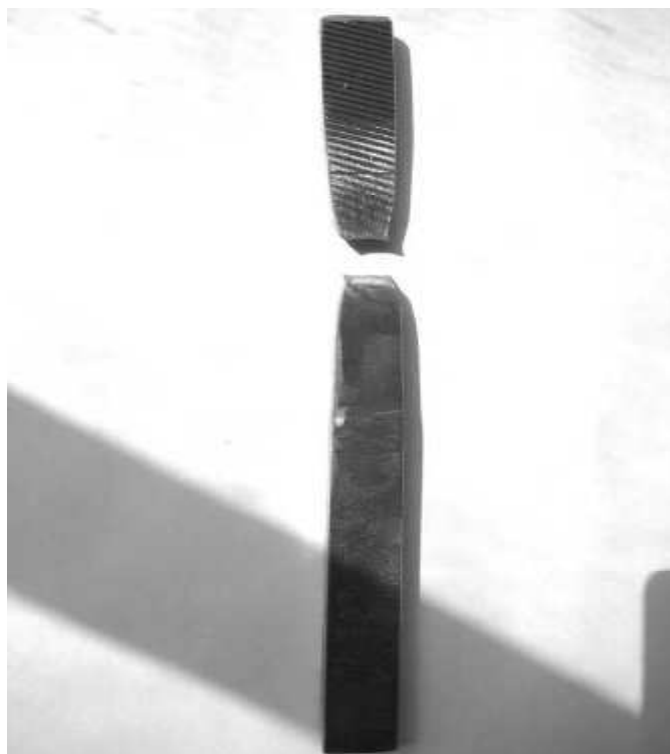


Рисунок 3.8 –Образец WELDOX 700E + 09Г2С

					15.04.01.2018.211.00 ПЗ	Лист
						42
Изм	Лист	№докум	Под-	Дата		

График нагрузки образцов (Рисунок 3.9)

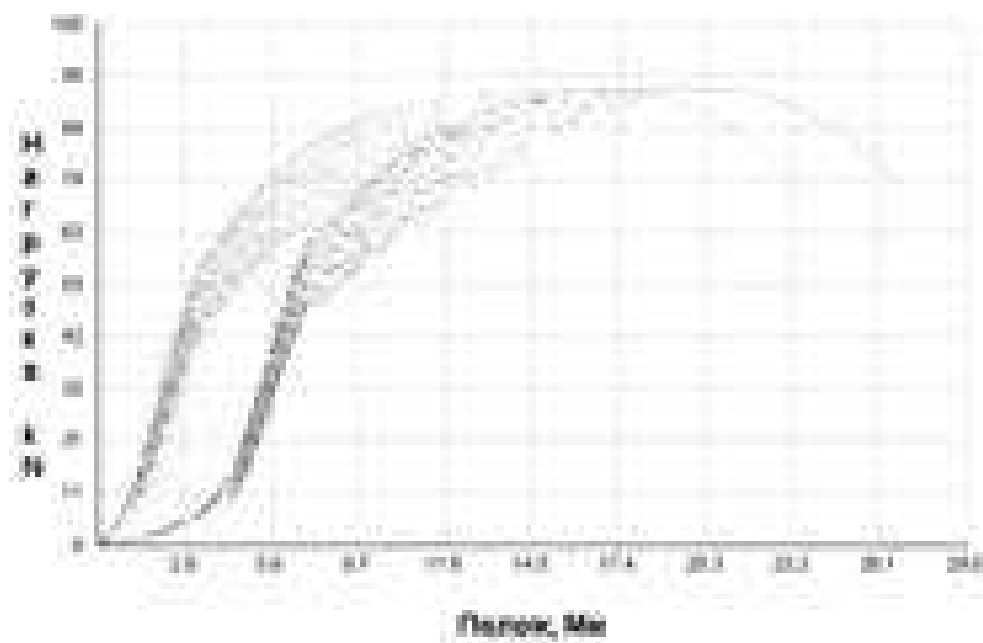


Рисунок 3.9 – График нагрузки образцов

В испытание с образцами WELDOX 700E + WELDOX 700E которые были заварены проволокой AristoRod 69, разрыв произошел по основному металлу. Что доказывает качество сварного соединения (Рисунок 3.10)



Рисунок 3.10 – образец WELDOX 700E + WELDOX 700E

График нагрузки образцов (Рисунок 3.11)

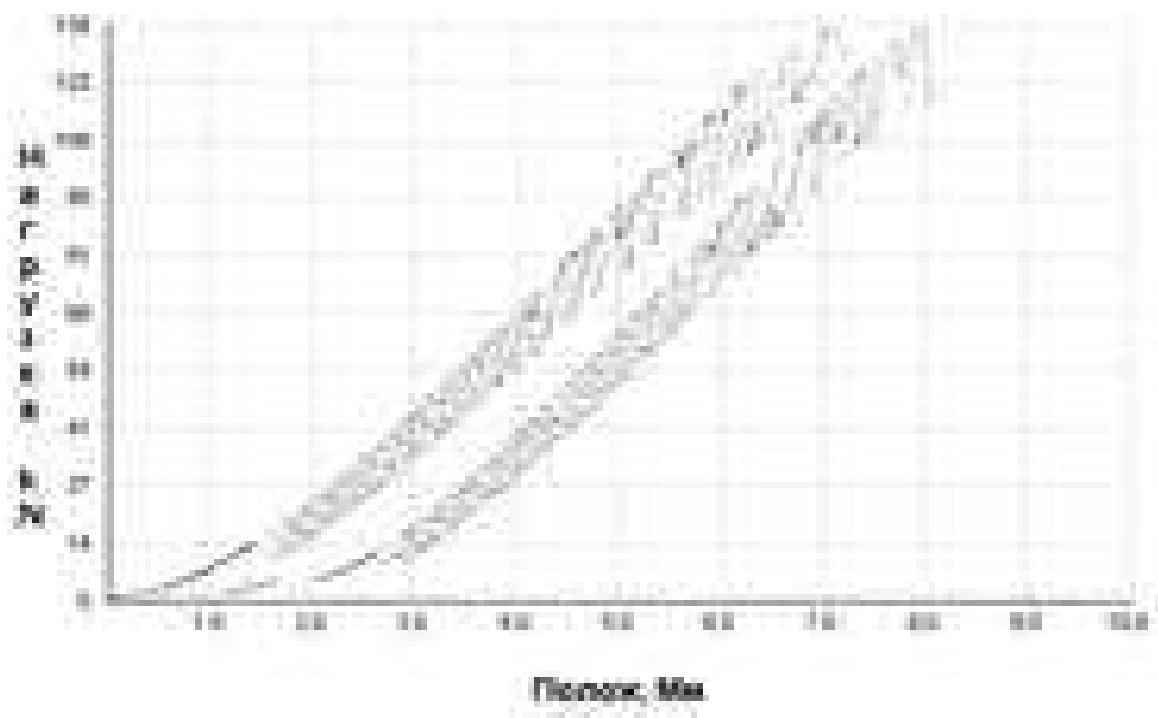


Рисунок 3.11 –График нагрузки образцов

Так же заварен образец WELDOX 700E + WELDOX 700E с заложенным в него дефектом (непровар). Данный образец разорвался по сварному шву выдержав значительно меньшую нагрузку чем с полным проваром (Рисунок 3.12)

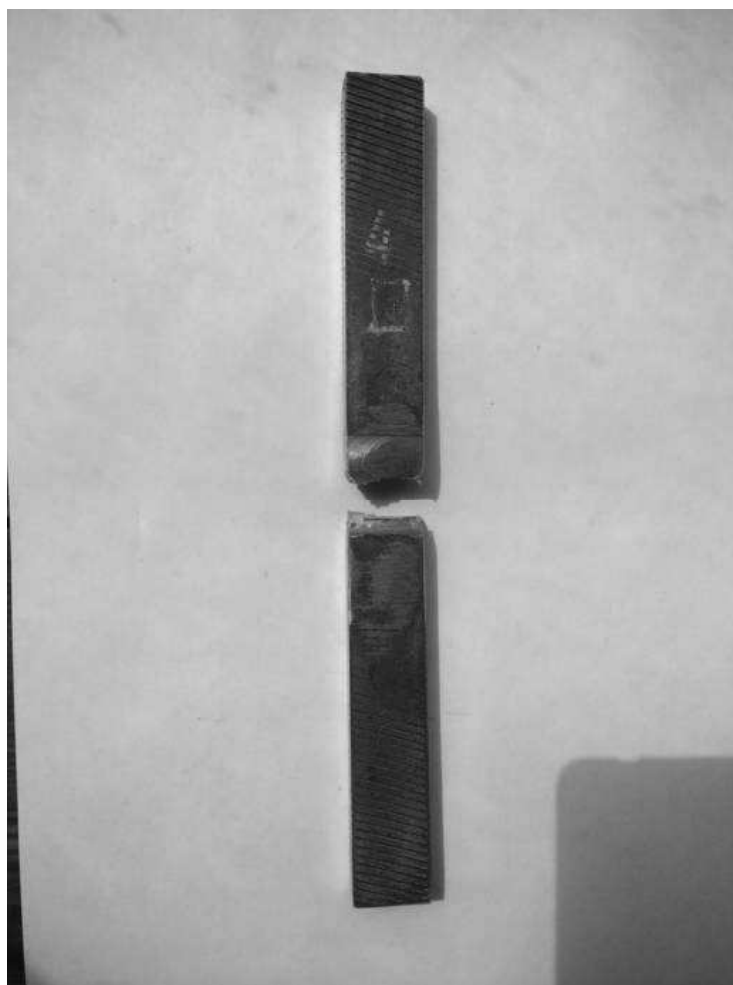


Рисунок 3.12 – Разрыв по сварному шву стали WELDOX 700E.

График нагрузки образца (Рисунок 3.13)

					15.04.01.2018.211.00 ПЗ	Лист
						45
Изм	Лист	№докум	Под-	Дата		

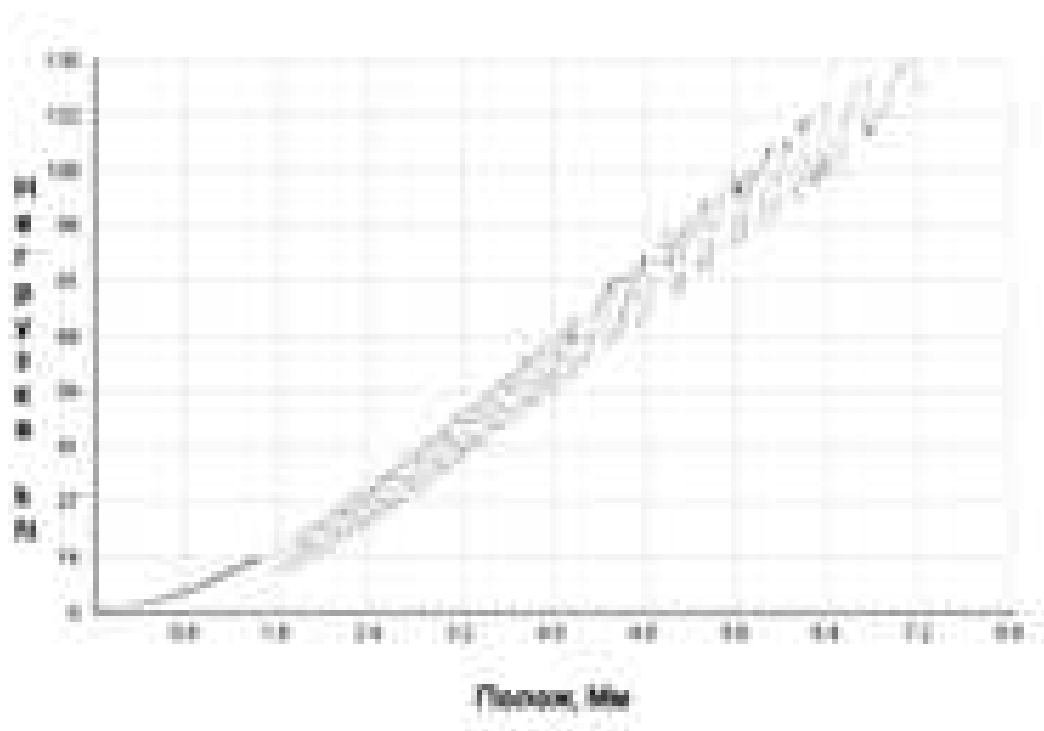


Рисунок 3.13 – График нагрузки образцов

Построен график площади непровара, проволокой AristoRod 69 (Рисунок 3.14)

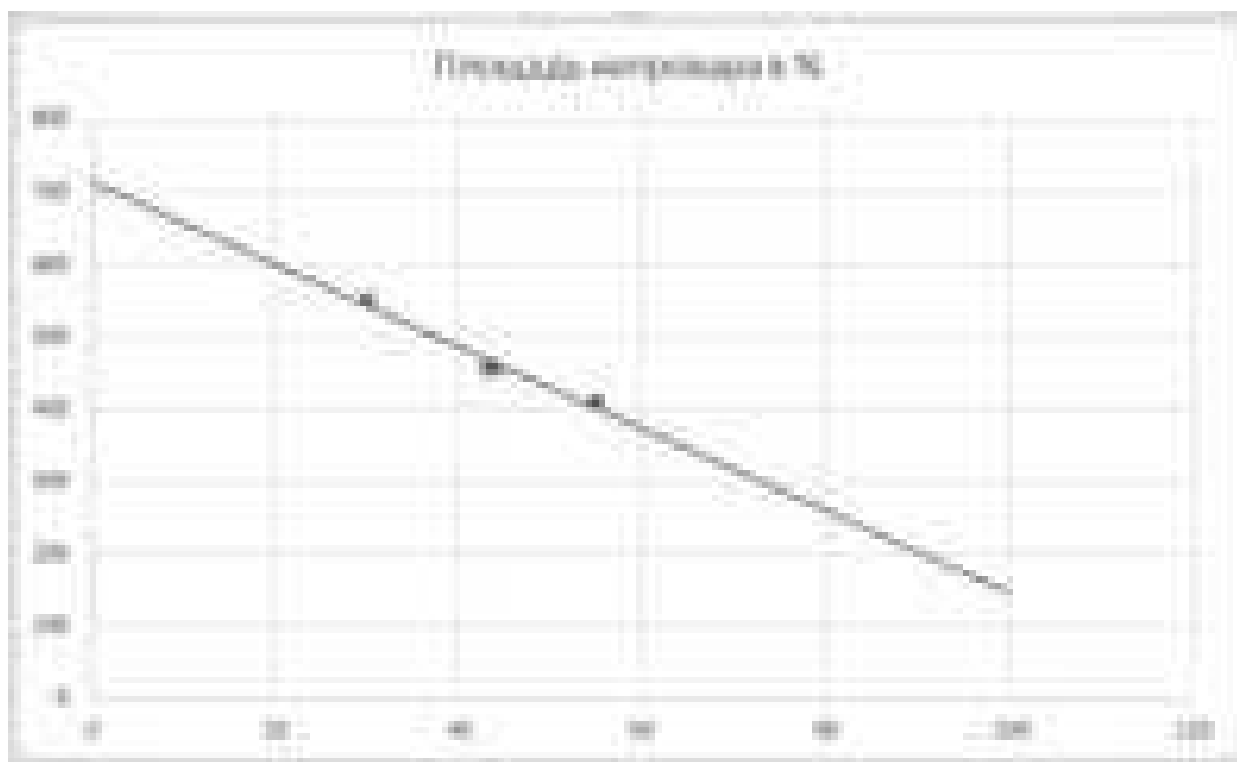


Рисунок 3.14 – Площадь не проваров %

В образце WELDOX 700E + 09Г2С сваренным проволокой Св-08Г2С образовался непровар (Рисунок 3.15), но разрыв произошел по стали 09Г2С. Так как в металле шва произошло смешивание элементов стали WELDOX 700E с проволокой Св-08Г2С.

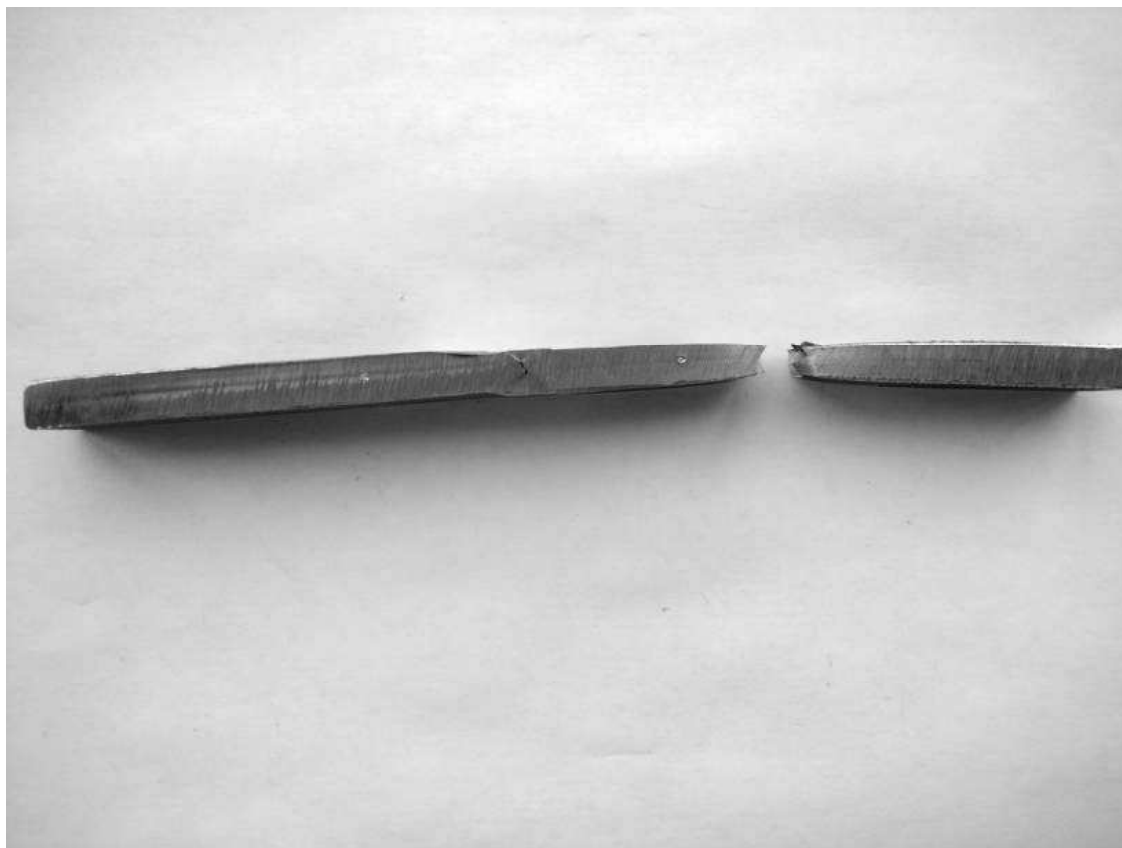


Рисунок 3.15 –Образец WELDOX 700E + 09Г2С заваренные проволокой Св-08Г2С.

Вывод: В данной стали WELDOX 700E непровар недопустим. При сварке проволокой Св-08Г2С полученные непровары не опасны, разрыв произошёл по основному металлу, так как сталь 09Г2С мягче чем сварной шов.

3.4 Замер твердости

После изготовления все темплеты были отшлифованы и были осмотрены на наличие трещин, пор, не проваров. В химической лаборатории все темплеты были протравлены 4 %-ным раствор азотной кислоты в этиловом спирте — травят до 1 мин и был произведен макроанализ сварного соединения, на каждом из темплетов произведен замер твердости по методу Викерсса ГОСТ 2999-75 (HV 10).

					15.04.01.2018.211.00 ПЗ	Лист
						47
Изм	Лист	№докум	Под-	Дата		

Рисунок 3.15 – Темплеты, вырезаны и протравленные раствором азотной кислоты.



Рисунок 3.16 – Замер твердости на темплете WELDOX 700E + WELDOX 700E проволокой AristoRod 69

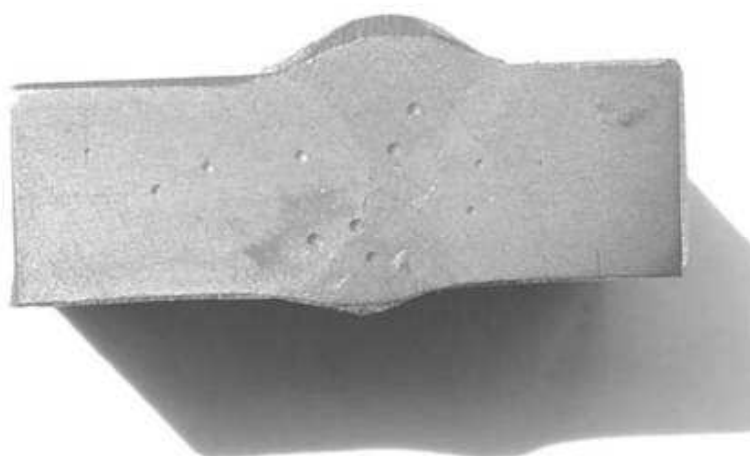
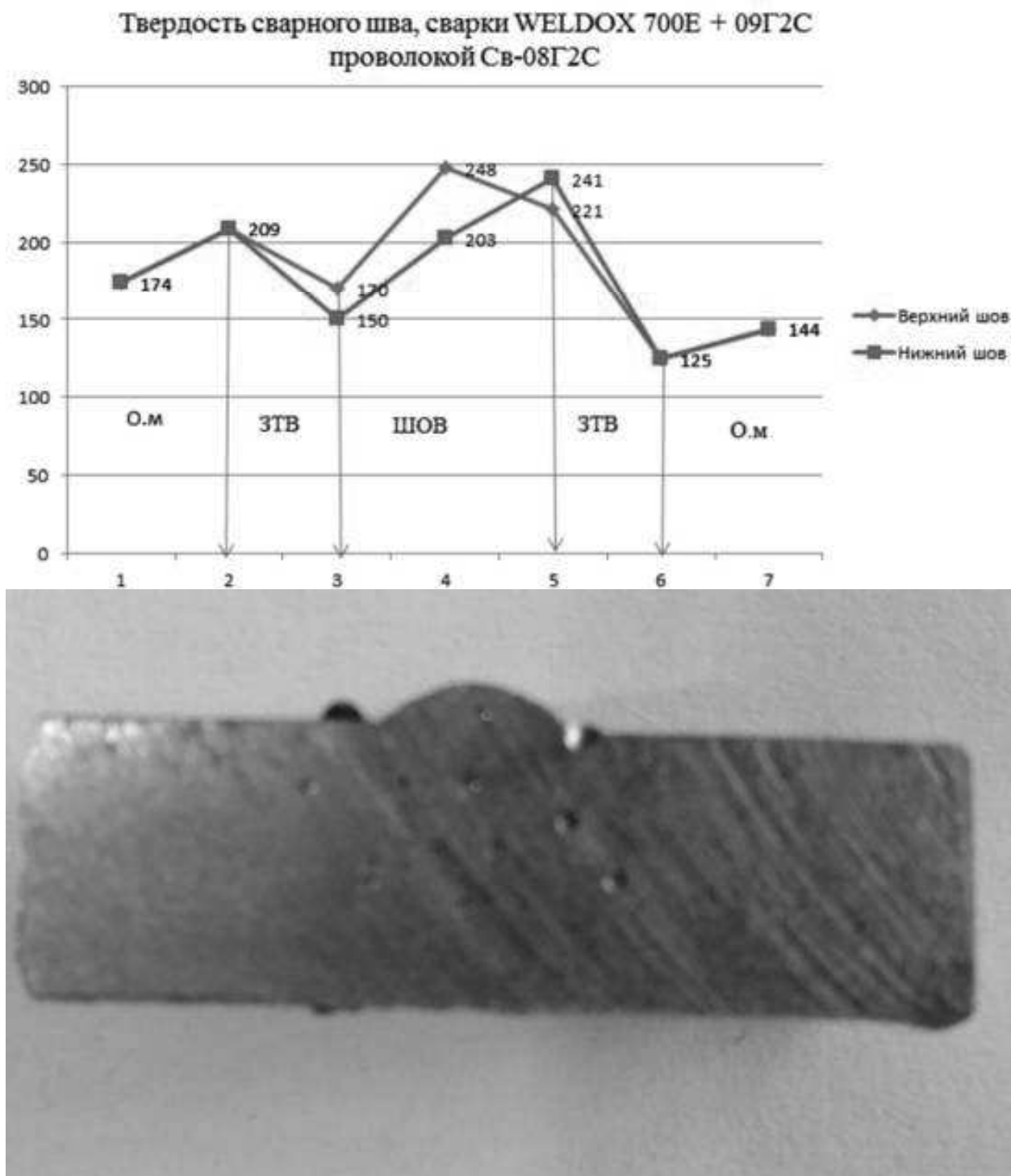


Рисунок 3.17 – Замер твердости на темплете WELDOX 700E + 09Г2С проволокой СВ-08Г2С



Вывод: Разупрочнения на данных погонных энергиях отсутствует, твердость находится на уровне основного металла, сварной шов удовлетворяет требованиям нормативной документации. Рекомендации при замене стали 09Г2С на более прочную сталь WELDOX 700E, при контроле качества необходим 100% ультразвуковой, радиографический контроль. Непровары недопустимы.

3.4 Исследовательская часть

Цель: Оценить концентрацию напряжений сварного соединения с помощью Ansys.

Задачи исследования Ansys:

- Разработка 2D модели сварного соединения.
- Экспорт и импорт модели в программах Kompas и Ansys.
- Доработка модели в программе Ansys.
- Задание свойств материалов.
- Задание нагрузок и закрепление.
- Генерация сетки конечных элементов.
- Решение задачи механики. Отыскать перемещение всех узлов.
- Определение искомых характеристик, концентрация напряжений.

					15.04.01.2018.211.00 ПЗ	Лист
						50
Изм	Лист	№ докум	Под-	Дата		

3.4.1 Методика обработки исследовательской части.

Ansys:

Создаем чертеж сварного соединения в программе КОМПАС (Рисунок 3.28):

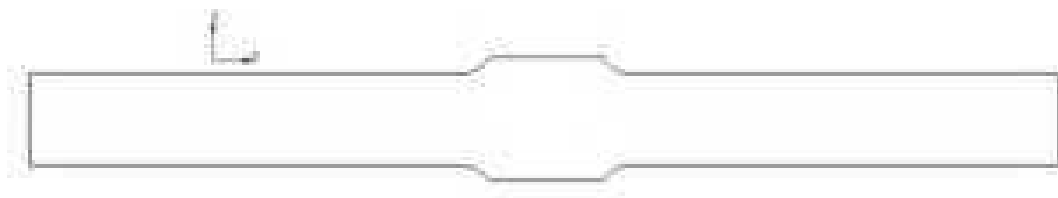


Рисунок 3.28 – 2Dмодель.

- После создания чертежа в программе Kompas сохраняем его в формате igs, для того чтобы потом открыть чертеж в программе Ansys (Рисунок 3.29)



Рисунок 3.29 – 2Dмодель в Ansys

- После этого закрываем окно и открываем вкладку MaterialProps→MaterialModel→Structural→Linear→Elastic→Isotropic, открывается окно с выбором данных, устанавливаем нужные данные:

Так как заданный материал сварного соединения сталь 09Г2С то значения указываем подходящие для этой марки стали. (Рисунок 3.30)

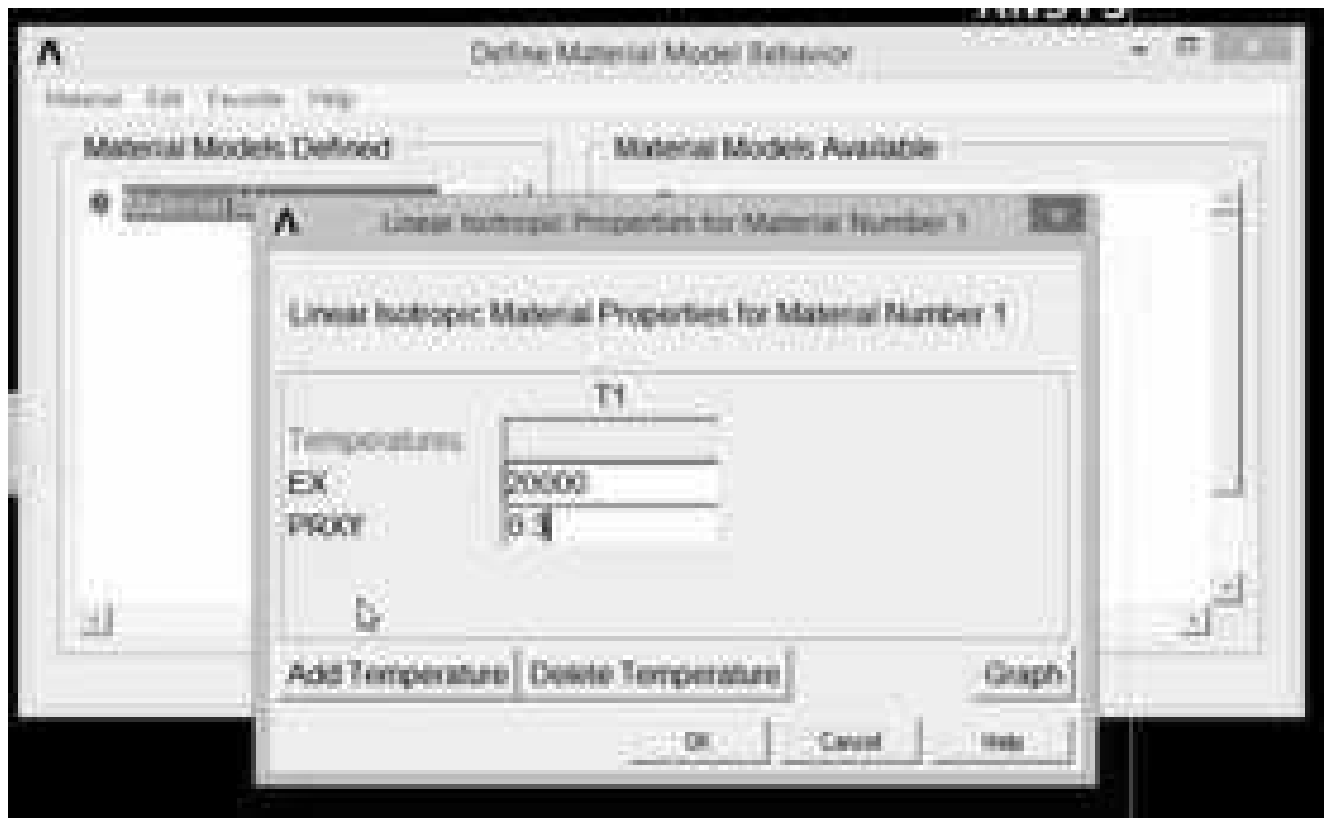


Рисунок 3.30– Указания значений для стали 09Г2С

- Далее открываем вкладку Solve→CurrentLS→ОК, получаем вид:

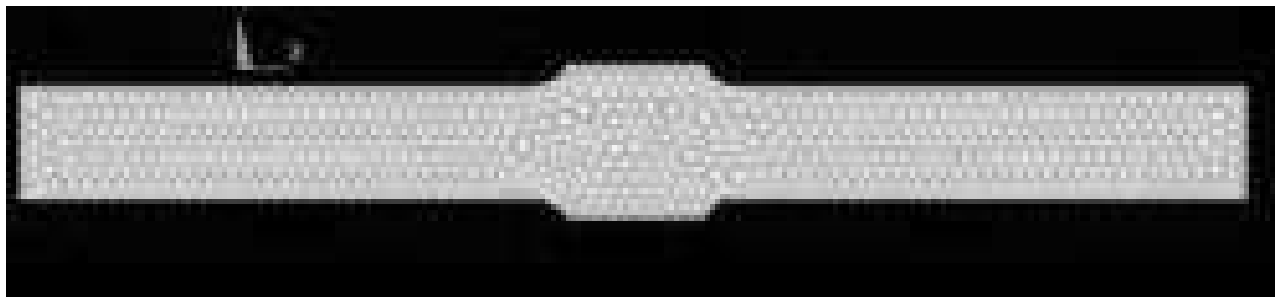


Рисунок 3.31– Разбивка сварного шва на маленькие части.

- Далее открываем вкладку ults→ContourPlot→NodalSolution→DOFSolution→X Component of displacement→ОК. Получаем вид:

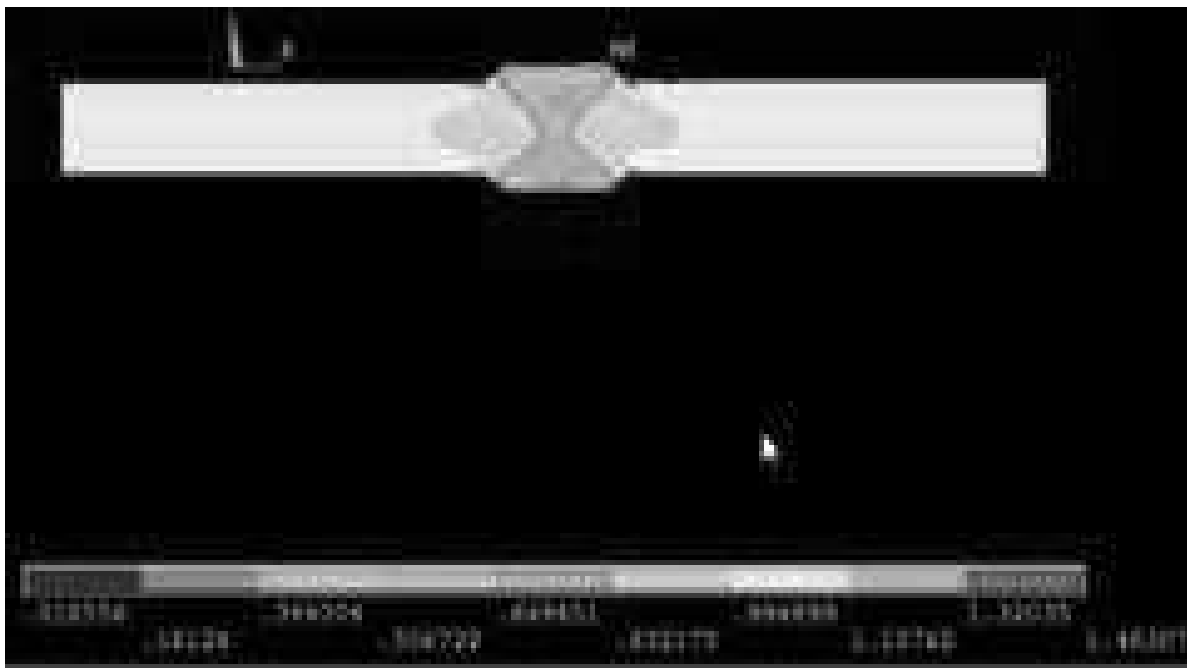


Рисунок 3.32 – Максимальная концентрация напряжения в сварных соединениях.

Эксперимент №2:

Второй эксперимент мы свариваем WELDOX 700E + 09Г2С

*Загружаем деталь в программу Ansys.

*Разбиваем деталь на отдельные конструктивные элементы.

*Разбиваем на конечные элементы.

* Задаем свойства материала.

Полученный результат второго эксперимента (Рисунок 3.33)

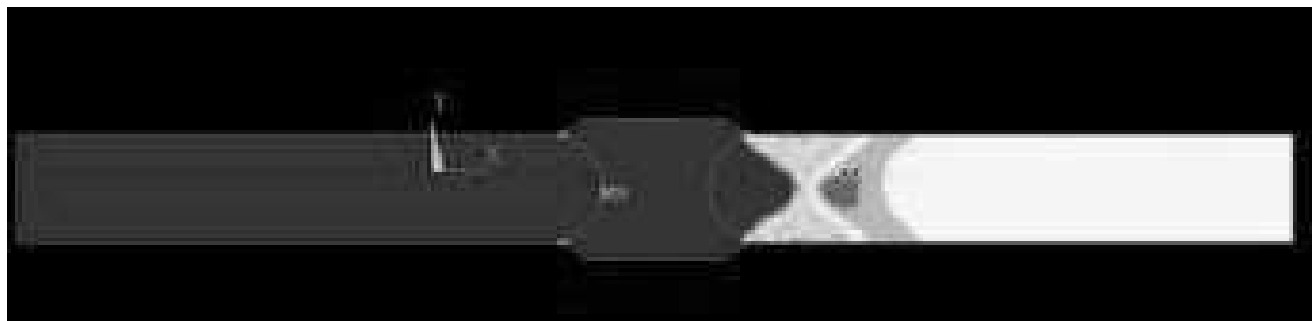


Рисунок 3.33 – Концентрация сварного напряжения в стали 09Г2С

• Вывод: Причины появления концентраций напряжений в стыковых сварных соединениях

Технологические дефекты - газовые пузыри, шлаковые включения, трещины и непровары. Возле этих дефектов силовые линии искривляются, и образуется концентрация напряжений. Коэффициент концентрации возле этих дефектов значителен, но при небольшом числе и малых размерах дефектов прочность сварного соединения остается удовлетворительной.

3.5 Вывод по разделу

Анализ полученных результатов и выводы по проведенному эксперименту. При полном проваре все образцы выдерживают испытание на изгиб. Данные эксперимента подтверждают, что наличие непровара является критическим дефектом для стали WELDOX 700E. Данная сталь чувствительна к непроварам .

Разупрочнения на данных погонных энергиях отсутствует, твердость находится на уровне основного металла, сварной шов удовлетворяет нормативной документации. Рекомендации при замене стали 09Г2С на более прочную сталь WELDOX 700E, при контроле качества необходим 100% ультразвук, радиография. Непровары недопустимы.

					15.04.01.2018.211.00 ПЗ	Лист
						54
Изм	Лист	№докум	Под-	Дата		

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения ВКР проведены экспериментальные испытания, по свариваемости сталей между собой WELDOX 700E и 09Г2С; WELDOX 700E и WELDOX 700E с полным проваром и с непроваром. Результатам заваренных образцов проведены механические испытания в которых было выявлено что:

- Сталь WELDOX 700E чувствительна к непроварам.
- При сварке проволокой Св-08Г2С допустим незначительный непровар.
- Разупрочнения на данных погонных энергиях отсутствует.

					15.04.01.2018.211.00 ПЗ	Лист
						55
Изм	Лист	№докум	Под-	Дата		

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сварка и резка в промышленном строительстве. Т.1, Справочник строителя под ред. Б.Д. Малышева. – М.: Стройиздат, 1989., с.592.
2. Думов С.И. Оборудование и технология дуговой сварки. – Л.: Машиностроение. 1985.
3. Пешковский О.И, Якубовский В.Б. Сборка металлических конструкций. – М.: Высшая школа, 1991., с.239.
4. Гитлевич А.Д. Альбом оборудования для заготовительных работ в производстве сварочных конструкций: Учебное пособие-М: Высшая школа 1974г.
5. Ханпетов М.В, Блинов А.В Организация и технология сварочно – монтажного производства – М.: Стройиздат 1972г. С.66 – 73.
6. Железобетонные конструкции с арматурой классов А500С и А400С (территориальные строительные нормы г. Москвы. 2005)
7. Каталог сварочного оборудования Российских и Украинских производителей, 2005г.
8. Оборудование сварочного производства. Каталог в 3-х книгах. Книга 2.-М.: Машиностроение, 1995г.
9. Потапьевский А.Г Сварка в защитных газах плавящимся электродом. – М.: Стройиздат.
10. Справочник строителя в 2т.Т1 Сварка и резка в промышленном строительстве – Под редакцией Малышева Б.Д. – М.: Стройиздат 1989г.
11. Справочник Сварка, резка, контроль – Под редакцией Алешина том II. – Стройиздат
12. Моцохин С.Б Контроль качества сварных соединений и конструкций. – М.: Стройиздат 1999г

					15.04.01.2018.211.00 ПЗ	Лист
						56
Изм	Лист	№докум	Под-	Дата		

Нормативно техническая документация

1. Строительные нормы и правила. Нормы проектирования. Стальные конструкции. СНиП II-23-81*. –М.: Стройиздат, 1998.
2. ГОСТ 19281(2)-89 Низколегированные конструкционные стали.
3. ГОСТ 14771-76* Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.
4. ГОСТ 8713-79 Автоматическая и механизированная сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.
5. ГОСТ 8050-85 Углекислый газ для механизированной сварки.
6. ГОСТ 9087-81* Флюсы сварочные, плавленые.
7. ГОСТ 2246-70* Проволока стальная сварочная.
8. ГОСТ 23118-99 Контроль качества сварных соединений

					15.04.01.2018.211.00 ПЗ	Лист
						57
Изм	Лист	№докум	Под-	Дата		