

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные
процессы»

(наименование кафедры)

15.04.01 Машиностроение

(код и наименование направления подготовки)

Производство, диагностика и ремонт сварных конструкций и деталей
газонефтехимического оборудования

(направленность (профиль))

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

На тему «Исследование технологии сварки трубопровода из стали 10X2M
диаметром 426 мм с толщиной стенки 86 мм»

Студент	<u>С.В. Скопич</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Научный руководитель	<u>Г.М. Короткова</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Консультант	<u>В.Г. Виткалов</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)

Руководитель программы д.т.н., профессор В.В. Ельцов _____
(учёная степень, звание, И.О.Фамилия) (личная подпись)

« » _____ 2018 г.

Допустить к защите

Заведующий кафедрой СОМДиРП д.т.н., профессор В.В. Ельцов _____
(учёная степень, звание, И.О.Фамилия) (личная подпись)

« » _____ 2018 г.

Тольятти, 2018

Содержание

Введение.....	4
1.Состояние вопроса.....	6
1.1Опыт эксплуатации трубопровода Карачаганакского месторождения.	6
1.2Результаты исследования механических свойств стали 10Х2М.....	9
2 Обоснование выбора способа сборки и сварки толстостенной трубы технологического трубопровода.....	16
2.1 Требования к подготовке кромок толстостенной трубы.....	16
2.2Обоснование способа сварки толстостенных трубопроводов	17
2.3. Сборка трубопровода $d_{тр} = 426\text{мм}$	23
3 Проектирование технологии сборки и сварки толстостенной трубы $d_{тр} = 426$ мм в монтажных условиях.....	25
3.1 Выбор оборудования.....	25
4 Технология сварки, термообработки и контроля качества сварного соединения	33
4.1. Требования к сварочным материалам	33
4.2 Требования к оборудованию для предварительного и сопутствующего (межслойного) подогрева и термической обработки.....	34
4.3 Оборудованию для регистрации данных сварочной дуги	35
4.5 Требования к герметизированной обитаемой камере.....	37
4.6 Общие требования.....	38
4.7 Подогрев кромок свариваемых труб.....	40
4.8 Ручная аргонодуговая сварка неплавящимся электродом корневого шва.....	40
4.9 Ручная дуговая сварка электродами с основным видом покрытия «заполняющих и облицовочного слоев шва».....	42
4.10Термообработка сварных соединений.....	44
4.11 Контроль качества сварного соединения.....	46

5. Проект рекомендаций по сварке технологических трубопроводов из стали 10Х2М диаметром 426 мм и толщиной стенки от 54 до 86 мм.....	49
5.1 Область применения.....	49
5.2 Нормативные ссылки.....	49
5.3 Общие требования	50
5.4 Технология сварки.....	58
5.5 Ручная аргонодуговая сварка неплавящимся электродом корневого слоя шва, ручная дуговая сварка покрытыми электродами заполняющих и облицовочного слоёв шва при монтаже технологических толстостенных трубопроводов.....	59
5.6 Термическая обработка сварных соединений.....	70
5.7 Контроль качества сварных соединений.....	72
5.8 Требования к безопасности при проведении сварочных работ.....	74
Заключение.....	76
Список использованных источников.....	77

Введение

После визита на установки обратной закачки Карачаганакского месторождения в июле 2002 года, инженеры по материалам изъявили обеспокоенность рядом проблем. Опыт Chevron Техасо на Тенгизе с таким же исходным материалом мельницы X60 выявил серьезные проблемы, связанные с тем, что материал был подвержен хрупкому разрушению и сульфидному коррозионному растрескиванию под напряжением (SSCC или СКРН).

Потенциал для хрупкого разрушения при снижении вязкости в материале X60 – -40 градусов Цельсия при толщине стенки более 34 мм. Толщина стенки сети трубопроводов X60 на установках обратной закачки УКПГ 2, как правило, от 54 мм до 84 мм.

Потенциал для СКРН связан с проблемой прочности сварного шва усиленного ванадием материала X60. Микросплавы в материале предрасположены вызывать высокую прочность в зоне сплавления и зоне термического влияния (ЗТВ). Применимый стандарт для проекта (NACE MR0175) предусматривает максимальную твердость равную 250HV. Пробные сварные швы, исследованные в Институте сварки (TWI) Кембриджа, показали твердость в 283HV. Высокая твердость может привести к СКРН в среде высокосернистого газа (H_2S) при наличии влажности.

В результате было достигнуто решение: заменить текущий материал X60 подходящей альтернативой. Выбор пал на использование материала класса F22 (2,5% Cr, 1% Mo, низколегированная сталь) (10X2M) для замены текущего X60. Материал F22 используется для труб, фитингов и фланцев, чтобы свести к минимуму беспокойство по поводу сварки различных материалов. F22 также имеет неотъемлемую сохранность и устойчивость к растрескиванию при -45C, сохраняя эти свойства при более низких температурах.

В настоящее время материал X60 был поставлен как часть пакета компрессора обратной закачки, который состоит из трех трехступенчатых

компрессоров обратной закачки, охладители и связанных с ними трубопроводов.

Подобные установки с использованием данной стали существуют и на территории России. В настоящее время не существует нормативного документа, регламентирующего технологию сварки, термообработки и контроля качества технологического трубопровода из стали 10X2M диаметром 426 мм и толщиной стенки 86 мм.

Исходя из выше сказанного, можно сделать заключение о необходимости разработки новых технологий, опираясь на опыт иностранных разработок, соблюдая российские стандарты.

Целью магистерской диссертации является разработка проекта рекомендаций по сварке трубопровода из стали 10X2M диаметром 426 мм и толщиной стенки 86 мм.

1.Состояние вопроса

В трубопроводных системах в последние годы все чаще применяются толстостенные цельнокованные трубы из стали ASTM A182 F22 толщиной 86 мм. Толстостенные цельнокованные трубы из стали ASTM A182 F22 рассчитаны на высокое давление (работа в кислой среде с температурами окружающей среды до минус 40 °С (-40 °С)). Свариваемые материалы трубопроводов включают толстостенные цельнокованные трубы, фитинги и фланцы из стали ASTM A182 F22 в соответствии с Техническими условиями L-ST-2053.

Трубы из стали ASTM A182 F22 (2%Cr-1Mo) в настоящее время применяет компания «Тенгизшевройл», Карачаганакское месторождение. Планирует применение толстостенных труб ООО «Газпром добыча Оренбург». Из-за проблем с существующими материалами трубопроводов, принято решение заменить текущий материал трубопровода X60 на кованые из низколегированных сталей SA-182 класса F22 (10X2M). Самый большой опыт эксплуатации стали 10X2M накоплен при работе компрессора обратной закачки, который состоит из трех трехступенчатых компрессоров обратной закачки, охладителя и связанных с ними трубопроводов Карачаганакского месторождения.

1.1 Опыт эксплуатации трубопровода Карачаганакского месторождения

Карачаганакское месторождение является газонефтеконденсатным бассейном на северо-западе Казахстана, которое находится в эксплуатации с 1984 г. Объекты месторождения состоят из Карачаганакского перерабатывающего комплекс (КРС), системы раннего производства масла (EOPS), УКПГ-2 и УКПГ-3. Добывается кислый газ с содержанием сероводорода H₂S 5 %.

УКПГ-2 представляет собой автономный завод, расположенный в 12 км от главного завода КРС и в 5 км от УКПГ-3.

Завод осуществляет переработку кислого конденсата и обратную закачку высокосернистого газа в пласт. Переработка газа состоит из доведения до точки росы, сжатия и обратной закачки газа обратно в пласт, чтобы избавиться от непригодного для продажи кислого газа и для поддержания пластового давления. Предусмотренная скорость обратной закачки газа – 6,6 Gsm³ / год.

Газ и конденсат, исходя из манифольдов УКПГ-2, входит в два пробкоуловителя с давлением около 75 Бар и температурой 30°C. Пробкоуловители являются трехфазными сепараторами, каждый из которых предназначен для обработки до 2 млн. т/год жидкости и 3 GSm³ / год газа. Каждый пробкоуловитель может справиться с водяными пробками объемом 50 м³. Полученная вода направляется на очистные сооружения. Конденсат из пробкоуловителей отправляется под контролем уровня непосредственно на два 14" внутривидовых трубопровода и доставляется на КРС (сепаратор-разделитель НД) через ГП 3 для стабилизации и очистки от активных соединений серы. Часть нестабилизированного конденсата может быть доставлена на нефтеперерабатывающий завод Оренбурга в России через дегазатор конденсата на ГП 3.

Газ, выходящий из пробкоуловителей, подается на гликолевые смесители, являющиеся частью двух установок дегидратации, что используют запатентованную технологию DRIZO. Газ обезвоживается до одного ppmv, используя три-этилен гликоль (ТЭГ). Устройства предназначены для обработки до 3 GSm³ / газа каждый на 75 Бар и 2,2 GSm³ / г газа на 55 Бар.

Обезвоженный газ затем смешивается с обезвоженным газом, поступающим с КРС, прежде чем доставляется на три компрессора обратной закачки. Три газовых фильтра защищают компрессоры обратной закачки от уноса капель жидкости из гликолевых смесителей. Весь газ на УКПГ 2

закачивается обратно. Газ сжимается от примерно 70 бар до максимального давления 550 бар в три этапа сжатия, а затем доставляется к манифольду закачки. Компрессоры обратной закачки являются центробежными, приводимыми в действие газовыми турбинами, компрессорами каждый из которых имеет заявленную мощность в 2,2 GSm³ / г. Межкаскадное охлаждение осуществляется с помощью ребристых трубчатых воздухоохладителей с вытяжными вентиляторами. Из-за проблем с существующими материалами трубопроводов в системе обратной закачки газа было решено заменить текущий материал трубопровода X60 на кованные низколегированные стали SA-182 класса F22 (10X2M). Клапаны будут также заменены, так как имели место повреждения.

Выпускной трубопровод компрессоров и манифольд закачки, питающий магистральные линии закачки (участок 190), оба из низкотемпературной углеродистой стали 6 класса SA-333, также будут заменены на SA-182 класса F22.

Существует обеспокоенность насчёт материала ребристых труб воздухоохладителя. Это спаренные трубы из нержавеющей стали, которые могут быть подвержены коррозионному растрескиванию в связи с высоким давлением жидкого H₂S.

В настоящее время, линии обогрева и изоляция широко используется для поддержания трубопровода X60 выше минимальной допустимой рабочей температуры. Кроме того, сеть температурных элементов используют для мониторинга температуры металла в различных точках компрессорных установок. С заменой материала на F22, имеющего превосходные качества при низких температурах, необходимость контроля температуры стенок труб отпадает, поэтому линии обогрева, изоляция и температурные элементы будут удалены.

Необходимо проверить наличие у каждой партии труб сертификатов качества. Перед выполнением сварочных работ трубы должны пройти входной контроль.

Свариваемые материалы трубопроводов включают: цельнокованные трубы, фитинги и фланцы из стали марки 10X2М (ASTM A182 F22).

Таблица 1.1 – «Химический состав в % материала 10X2М ГОСТ 5520 – 79» [33]

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo
0.08 - 0.12	0.17 - 0.37	0.4 - 0.7	до 0.3	до 0.02	до 0.02	2 - 2.5	0.6 - 0.8

Примечание: По ТУ 14--159-297-2006 для 10X2М содержание C = 0.08-0.1%

Таблица 1.2 – «Механические свойства при T=20°C материала 10X2М» [33]

Сортамент	Размер	Напр.	s_b	s_T	d_5	y	КСУ
-	мм	-	МПа	МПа	%	%	кДж / м ²
Лист, ГОСТ 5520-79			390-590	295	20		980

Концы труб должны обрабатываться шлифовальными машинками и зачищаться от механических повреждений, необходимо предотвратить попадание внутрь труб влаги, снега и иных загрязнений. Во время транспортирования концы труб закрывают инвентарными заглушками.

Не допустимы любые вмятины торцов труб, СДТ, ЗРА с механическими повреждениями поверхности металла.

1.2 Результаты исследования механических свойств стали 10X2М

После длительной эксплуатации Белоярская атомная электростанция произвела замену модулей парогенератора, которая полностью отработала свой ресурс, на новые. Поэтому появилась уникальная возможность провести

исследование состояние критических элементов модулей ПГ РУ БН-600, выработавших свой ресурс, для оценки состояния этих элементов. [29]

Помимо оценки состояния критических элементов ПГ необходимо было исследовать и коррозионно-механическое состояние материалов конструкций этих элементов, провести оценку степени изменения свойств материалов, сравнивая их с исходными данными.

Учитывая тот факт, что корпус ПГ выполнен из стали 10X2М, которая рекомендуется в настоящее время для использования в трубопроводах газовой отрасли, результаты исследований будут полезными и применимыми для газопроводов.

Модуль-испаритель использовался в режиме генерации пара более 120 тысяч часов, затем его вывели из эксплуатации, демонтировали и разрезали на части, которые подвергли исследованиям.

Проводились исследовательские испытания механических характеристик, из критических узлов отбирались образцы материала конструкций и проводился металлографический анализ.

Образцы испытывались на растяжение установкой «TIRA test 28100» по ГОСТ 1497 (при температуре 20 °С) и по ГОСТ 9651-84 (при высоких температурах).

Проведение испытаний на ударную вязкость осуществлялось по ГОСТ 9454 на установке «ZWICK/ROELL amsler RKP 450 Deep».

Данные механических свойств материала обечайки (сталь 10X2М) представлены паспортом модуля-испарителя и перечислены в таблице 1.3. Данные результатов испытаний на растяжение, и требования на эту сталь по ТУ 14-1-3409-82 перечислены в таблице 1.4.

Данные результатов испытаний на ударный изгиб, и требования на эту сталь по ТУ 14-1-3409-82, перечислены в таблице 1.5.

Таблица 1.3 - Механические свойства обечайки из стали 10X2M

Место вырезки образцов	Механические свойства				
	t, °C	Rm, МПа	Rp _{0,2} , МПа	δ, %	KCU, Дж/см ²
Участок входа натрия	20	568	396	27	232
		509	348	21	206
	450	465	309	23,5	-
Участок выхода натрия	20	588	402	29	220
		588	490	26	237
	450	519	332	24	-
		490	338	20	-

Таблица 1.4 - Результаты испытаний на растяжение и требования на сталь 10X2M по ТУ 14-1-3409-82

Тип образца	t, °C	Механические свойства					
		Участок входа натрия			Участок выхода натрия		
		Rm, МПа	Rp _{0,2} , МПа	δ, %	Rm, МПа	Rp _{0,2} , МПа	δ, %
1 П	20	488	221	30	473	252	31
1 К		488	223	32	471	300	28
По ТУ		390-590	295	20	390-590	295	20
2 П	450	375	181	28	388	215	25
2 К		373	182	25	390	220	23
По ТУ		294	245	15	294	245	15
3 П	510	336	171	30	345	203	30
3 К		334	170	33	356	213	31
По ТУ		274	235	16	274	235	16

Таблица 1.5 - Результаты испытаний на ударный изгиб и требования на сталь 10X2М по ТУ 14-1-3409-82

Место вырезки	КСУ, Дж/см ²
Кольцевые образцы со стороны натрия	206
	215
Продольные образцы со стороны натрия	150
	137
Продольные образцы из центра	154
	154
Кольцевые образцы со стороны воздуха	204
	219
Продольные образцы со стороны воздуха	152
	170
По ТУ 14-1-3409-82	98

Данные таблиц 1.4 и 1.5 подтверждают, что величина временного сопротивления на разрыв и величина предела текучести материала обечайки корпуса, величины пластических свойств, которые получены при испытаниях, выше требований ТУ 14-1-3409-82. Вероятно, что ухудшение механических свойств корпуса парогенератора в сравнении с паспортными значениями объясняется воздействием термической обработки.

Сталь 10X2М имеет тенденцию терять механические свойства при температурах более 510°С, а корпус парогенератора в процессе его производства обрабатывается 4 раза.

Испытывались механические свойства материала теплообменных труб на трубах № 181, 185 и 341 (таблица 1.6). Из каждой трубы вырезалось по 4 образца. Места вырезки образцов показаны на рис. 1.1. Расположение труб в трубном пучке показано на рис. 1.2.

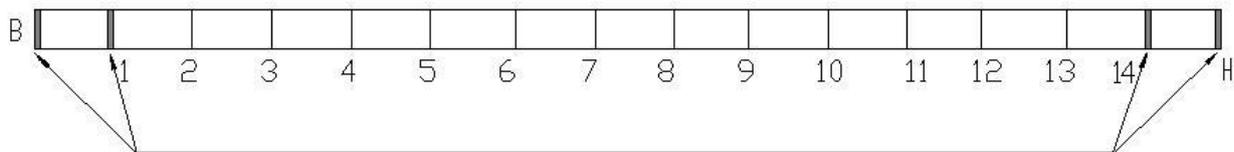


Рисунок 1.1 – Места вырезки образцов для механических испытаний

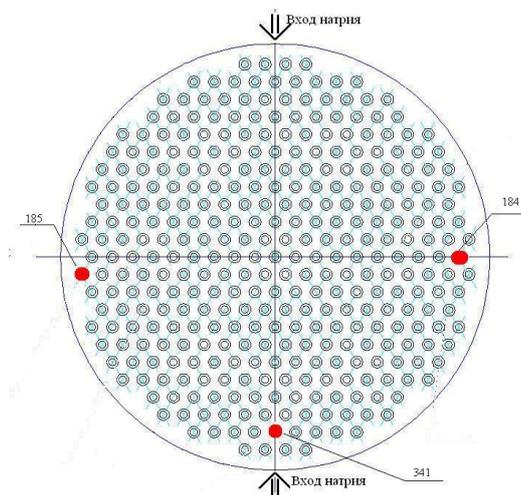


Рисунок 1.2 – Расположение труб в трубном пучке

Данные результатов испытаний механических свойств материала теплообменных труб (сталь 10Х2М) перечислены в таблице 1.6.

Таблица 1.6 - Результаты испытаний механических свойств материала теплообменных труб

Температура, °С	Номер трубы	Расположение относительно трубных досок	Механические свойства		
			Rm, МПа	Rp _{0,2} , МПа	δ, %
20	181	НТД	486	320	33
	181	НТД	473	312	32
	181	ВТД	472	324	32
450	185	ВТД	372	257	21
	185	ВТД	390	305	19,48
	185	НТД	375	315	17,2
	185	НТД	409	322	20

510	341	ВТД	320	236	25,5
	341	ВТД	352	302	18,3
	341	НТД	357	303	23,6
	341	НТД	341	290	24

Обозначения в этой таблице:

- НТД – нижняя трубная доска;
- ВТД – верхняя трубная доска.

Паспортные данные и данные ТУ по механическим свойствам теплообменных труб перечислены в таблице 1.7.

Таблица 1.7 - Механические свойства для теплообменных труб по ТУ и паспорту

Температура, °С	Механические свойства по	Механические свойства		
		Rm, МПа	Rp _{0.2} , МПа	δ, %
20	По ТУ	392	245	30
	По паспорту	526	382	30
450	По ТУ	294	176	20
	По паспорту	429	294	20,5
510	По ТУ	255	176	20
	По паспорту	-	-	-

По таблице 1.6 видно, что произошло снижение предела прочности при температурах 20 и 450°С, по сравнению с паспортными значениями на 10% , также произошло снижение предела текучести на 17% для 20°С. Испытания показали, что для температуры 450°С предел текучести не изменился. [29]

Таким образом, опыт эксплуатации трубопровода Карачаганакского месторождения показал, что коррозионное растрескивание в связи с высоким давлением требует замены ст. Х60. В результате было принято решение: заменить текущий материал Х60 подходящей альтернативой. Выбор пал на

использование материала класса F22 (2,5% Cr, 1% Mo, низколегированная сталь) (10X2M) для замены текущего X60.

Проведенные испытания механических свойств материала теплообменных труб (сталь 10X2M) Белоярской АЭС после длительной эксплуатации показали хорошие результаты, что позволило «Газпрому» начать подготовку материалов для внедрения цельнотянутых кованых труб из ст. 10X2M.

В связи с этим необходимо решить следующие задачи.

1. Выбрать способ сборки и сварки трубы $d_{тр} = 426\text{мм}$ с $S=86\text{мм}$.
2. Подготовить проект рекомендаций по сварке трубы $d_{тр} = 426\text{мм}$ с $S=86\text{мм}$ из стали 10X2M.

2 Обоснование выбора способа сборки и сварки толстостенной трубы технологического трубопровода

2.1 Требования к подготовке кромок толстостенной трубы

Конструктивные элементы сварочного соединения трубопровода, их размеры и предельные отклонения по ним должны соответствовать ГОСТ и руководящим документам на технологические трубопроводы. Для диаметра трубы $d_{тр} = 426$ мм с толщиной стенок $S = 86$ мм руководящие документы рекомендуют соединение С24 (рис.3). Данное соединение подразумевает сварку с подваркой корня шва изнутри трубы. В условиях небольшого диаметра трубопровода и отсутствия возможности выполнять сварку внутри трубы, целесообразно использовать данное соединение односторонней сваркой с полным проплавлением корневого слоя шва с одной стороны.

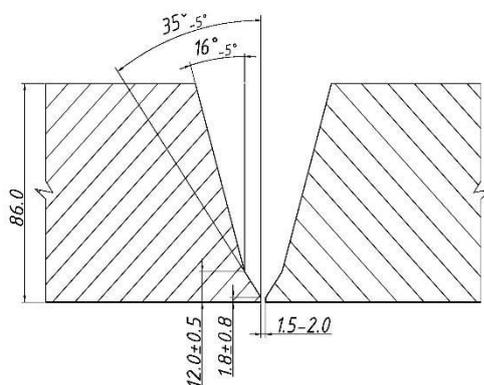


Рисунок 2.1 – Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей

«Подготовка кромок сварного соединения использует механический способ: разрешается использование термических способов для предварительной резки с учетом необходимого нагрева от толщины стенок трубы» [32]. Геометрические параметры торцев труб с заводской разделкой кромок, либо обработанных механическим способом должны соответствовать рис. 2.1, ГОСТ 5264-80 [17], ГОСТ 14771-76 [30] и

операционно-технологическим картам сборки и сварки. Сварка производится навесу, что предъявляет особые требования к сборке стыка трубопровода.

2.2 Обоснование способа сварки толстостенных трубопроводов

Обзор существующих технологий сварки технологического трубопровода из ст. 10Х2М позволяет выбрать способы сварки, которые предполагается рекомендовать для сварки трубы $d_{тр} = 426$ мм. Сварка трубопровода ведется как в цеховых условиях, так и в монтажных условиях.

Таблица 2.1 – Цеховая сварка

Ручная дуговая сварка вольфрамовым электродом (ДСВЭ) для корневого слоя с механизированной дуговой сваркой под флюсом (ДСФ) для заполняющего слоя	
Минусы	Плюсы
<ul style="list-style-type: none"> • Высокая стоимость оборудования 	<ul style="list-style-type: none"> • Большая производительность • Высокое качество корневого слоя шва
Механизированная (орбитальная) ДСВЭ с роликовым электродом 1G или 5G	
Минусы	Плюсы
<ul style="list-style-type: none"> • Низкая производительность 	<ul style="list-style-type: none"> • Точное управление процессом
Ручная ДСВЭ для корневого шва и ДСПЭ для заполняющего слоя	
Минусы	Плюсы
<ul style="list-style-type: none"> • Низкая производительность 	<ul style="list-style-type: none"> • Точное управление процессом

Способ сварки в цеховых условиях по рекомендации руководящих документов должны выбираться в следующем порядке предпочтений.

- Ручная ДСВЭ для корневого слоя с механизированной дуговой сваркой под флюсом (ДСФ) для заполняющего слоя.

- Механизированная (орбитальная) ДСВЭ с роликовым электродом

1G или 5G.

- Ручная ДСВЭ для корневого шва и ДСПЭ для заполняющего слоя.

Таблица 2.2 Монтажная сварка

Механизированная орбитальная дуговая сварка вольфрамовым электродом (ДСВЭ)	
Минусы <ul style="list-style-type: none">• Высокая стоимость оборудования• Большие габариты оборудования	Плюсы <ul style="list-style-type: none">• Высокая производительность
Ручная дуговая сварка вольфрамовым электродом (ДСВЭ) для корневого слоя и ручная дуговая сварка плавящимся электродом для заполняющих и облицовочных слоев шва (ДСПЭ)	
Минусы <ul style="list-style-type: none">• Высокие требования к сварщику	Плюсы <ul style="list-style-type: none">• Более точное управление процессом• Низкая стоимость оборудования

В монтажных условиях предпочтительнее использовать механизированную орбитальную дуговую сварку вольфрамовым электродом. Однако условия для проведения сварочных работ не всегда позволяют применять механизированную сварку, тогда для сварки корневого слоя шва используется дуговая сварка вольфрамовым электродом в ручном режиме. Для заполняющих и облицовочных слоев шва предпочтение отдается механизированной сварке плавящимся электродом в среде защитных газов, но учитывая факт различных условий проведения работ, использовать будем ручную дуговую сварку покрытыми электродами. Монтажная сварка не допускается без применения соответствующей защиты от атмосферных воздействий. Монтажная сварка не должна выполняться, когда скорость ветра превышает 5 км/ч.

Учитывая рекомендации руководящих документов, остановимся на технологических процессах, рекомендованных для монтажной сварки трубопровода.

Для трубопровода $d_{тр}=426\text{мм}$ с толщиной стенок $S=86\text{ мм}$ целесообразно применять комбинированный способ получения неразъемного соединения: корневой шов сваривать ручной аргонодуговой сваркой, а для заполняющих и облицовочных швов использовать ручную дуговую сварку покрытыми электродами.

Форма разделки подготовленных кромок свариваемых деталей выполнена с притуплением $1,8\pm 0,8\text{мм}$ и зазором $(1,5-2,0)\text{ мм}$. Геометрия свариваемых кромок позволяет формировать корневой шов при РАД в среде аргона с присадкой с полным проплавлением на токе $I_d=110-140\text{А}$ [31].

Начальная ионизация промежутка должна производиться с поверхности разделки кромок.

Особенность РАД в среде аргона состоит в том, что параметры разделки свариваемых кромок необходимо учитывать при выборе горелки для РАД (рис. 2.1, 2.2).

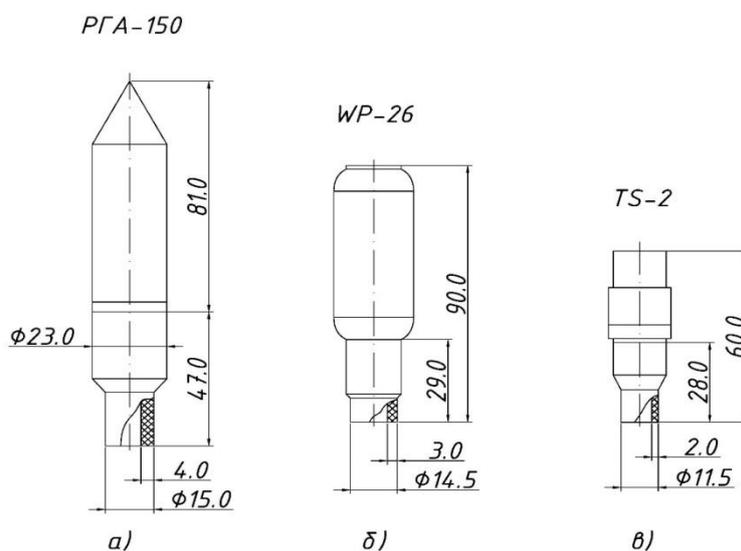


Рисунок 2.2 – Эскизы горелок типа PGA-150(а), WP-26(б), TS-20(в) для ручной аргонодуговой сварки

Анализ геометрических параметров выпускаемых горелок показал, что минимальный диаметр сопла $d_{\text{сопл}} = 12$ мм у горелок TS-20 (рис.2.2в). Однако для этой конструкции $d_w < 2,0$ мм, то есть величина тока на вольфрамовый электрод ограничена 60А. так как допустимая плотность тока на вольфрамовый электрод составляет на прямой полярности $19,2 \text{ А/мм}^2$.

Горелка типа WP-26 (рис.2.2б) фирмы BRIMA имеет наружный диаметр сопла $d_{\text{сопл}} = 14,5$ мм. Горелка позволяет работать с $d_w = 3$ мм (только один диаметр можно использовать). Это означает, что величину тока на вольфрамовый электрод можно увеличить до 140А, так как допустимая плотность тока на вольфрамовый электрод составляет на прямой полярности $19,7 \text{ А/мм}^2$.

Горелка типа PГА-150 отечественного производства имеет сменные цанги под $d_w = 1,0; 1,5; 2,0$ и $3,0$ мм (рис.2.2а). Наружный диаметр сопла $d_{\text{сопл}} = 15,0$ мм. Ток дуги можно регулировать от 15 до 150А. На рис.2.3 показана возможность расположения горелок PГА-150 и WP-26 внутри разделки кромок трубопровода с $S=86$ мм. Эскизная проработка показала, что обе горелки можно использовать для РАД сварки корневого шва, однако геометрические параметры разделки кромок трубы не позволяют выдержать установочные размеры при ручной дуговой сварке неплавящимся электродом в аргоне. Сопло горелки упирается в разделку (рис.2.3). В этом случае потребуется доработка сопла. Если учесть, что PГА-150 – это горелка отечественного производства, то

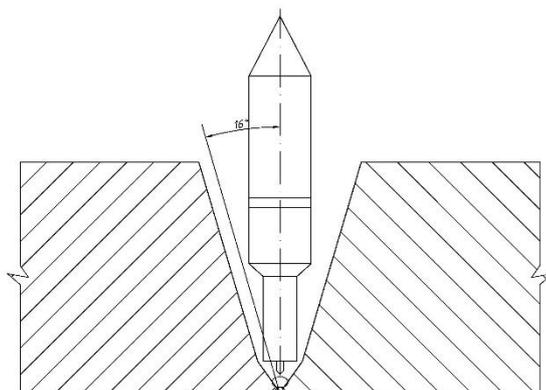


Рисунок 2.3 – Эскиз расположения горелок внутри разделки трубы $d_{тр}$
=426мм

целесообразно использовать ее и провести доработку сопла в соответствии с параметрами, приведенными на рис.2.4. Уфимский завод керамических изделий

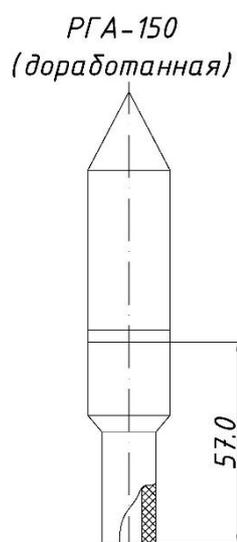


Рисунок 2.4 – Эскиз конструкции сопла для горелки РГА-150

без труда изменит по разработанным чертежам съемное сопло, увеличив цилиндрическую часть сопла на 10мм.

Известно, что дуга при сварке неплавящимся электродом в среде аргона устойчиво горит при изменении длины дуги от 1,0 до 10,0 мм. На рис.8 приведены статические ВАХ дуги.

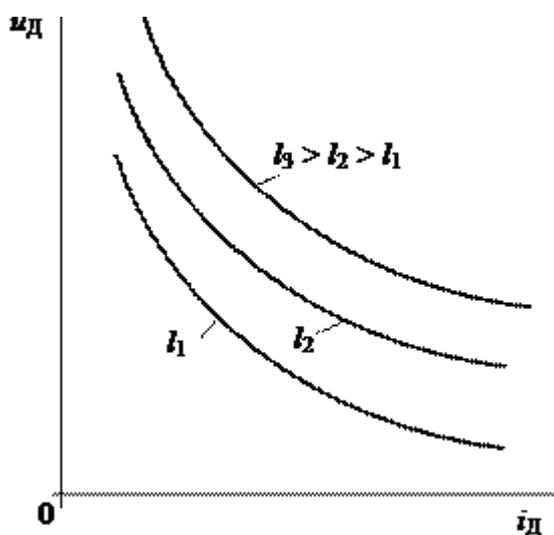


Рисунок 2.5 – Статические ВАХ дуги при изменении длины дуги (W^- - $10X2M^+$ в Ar)

Характер статических ВАХ дуги показывает, что при увеличении длины дуги от 1,0 до 10 мм напряжение на дуге возрастает. Учитывая тот факт, что работа проводится ручной сваркой, необходимо стремиться исключить влияние колебаний длины дуги Δl_d на параметры режима сварки: ток дуги и напряжение дуги. Избежать влияния колебаний длины дуги Δl_d можно за счет формы внешней ВАХ источника питания или специальной автоматической системы слежения за длиной дуги.

Для сварки заполняющих и облицовочных швов рекомендуется применение ручной дуговой сварки покрытыми электродами. Это значит, что работать приходится на постоянном токе обратной полярности. Дуга при сварке плавящимся электродом имеет возрастающий характер, как показано на рис. 2.6.

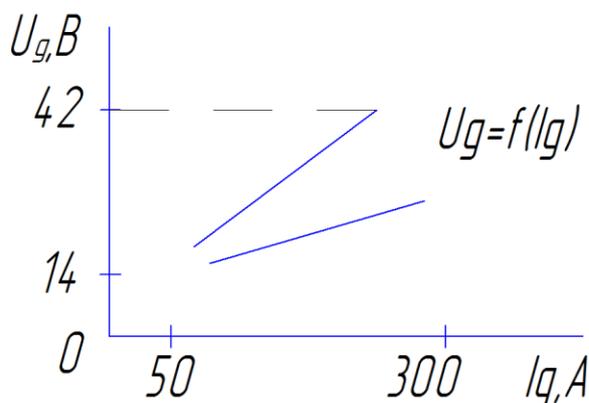


Рисунок 2.6 - Статические ВАХ дуги при сварке плавящимся электродом

Поэтому приходится выбирать либо новый источник питания, либо подбирать универсальный источник питания с падающей и жесткой внешней ВАХ.

Таким образом, остановимся на применении сварки неплавящимся электродом прямой полярности в аргоне для корневого шва и на сварке

покрытыми электродами обратной полярности в монтажных условиях. Сварка ведется на постоянном токе.

2.3. Сборка трубопровода $d_{тр} = 426\text{мм}$

Сборку стыкуемых элементов в монтажных условиях производить в наружных центраторах звеньевго типа. Процесс сборки элементов из ст. 10Х2М с использованием центраторов запрещено проводить с применением ударного инструмента для получения нужных параметров, например, зазора, смещение кромок.

Смещение кромки в сборки стыковых соединений разрешено в следующих пределах:

- «наружное смещение стыкуемых кромок с номинальной толщиной стенки не должно превышать 20 % толщины стенки, но не более 3,0 мм»; [18]

- «внутреннее смещение кромок должно соответствовать таблице 2.3» [18].

Таблица 2.3 – «Нормы допускаемых внутренних смещений кромок стыковых соединений» [18]

Номинальная толщина соединяемых труб, мм	Максимальное допускаемое смещение кромок в стыковых соединениях, мм
Свыше 20	0,1S, но не более 3 мм

«Количество и размеры прихваток в зависимости от диаметра свариваемых труб должны соответствовать требованиям таблицы 2.4» [18].

«Выполнение прихваток осуществляют сварочным материалом, рекомендованным для сварки корневого слоя шва» [18].

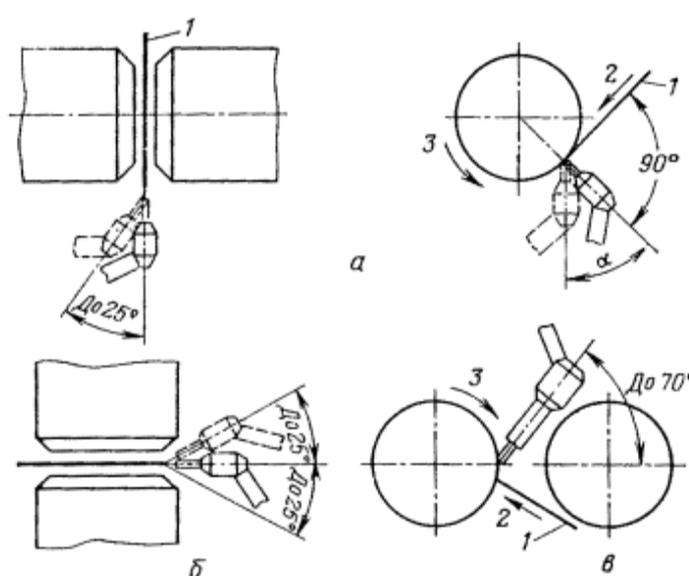
«Проводится обработка начального и конечного участков всех прихваток с помощью шлифовальной машинки, обеспечивая тем самым

плавный переход корневого слоя шва сварки. Перед началом работ с прихватками необходимо предварительно выполнить, нагрев свариваемой кромки и примыкающих к ней участков трубы согласно с требованиями руководящих документов» [18].

Таблица 2.4 - Размеры и количество прихваток при сборке соединений труб

Диаметр трубы, мм	Количество прихваток на стык	Длина прихватки, мм	Высота прихватки, мм
100 - 600	3-4	30 - 50	3-4
Свыше 600	Через каждые 300 - 400 мм	50 - 70	4-5

Прихватки собранных стыков производят ручной аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом симметрично по окружности стыка трубопровода в обычных условиях вертикального стыка (рис. 2.7а) и горизонтального стыка (рис. 2.7б).



1 - проволока; 2 - направление подачи проволоки; 3 - направление сварки

Рисунок 2.7 – Взаимное расположение горелки и присадочной проволоки при РАД неплавящимся электродом неповоротных стыков труб

На рис.2.7в показано выполнение прихваток в стесненных условиях горизонтального стыка горелкой с удлиненным наконечником. Качество наплавления прихваток должно выполняться при тех же требованиях, что и основной сварочный шов. В случае обнаружения дефектов в прихватке они должны быть полностью удалены абразивным инструментом.

Таким образом, для сварки и сборки трубы необходимо использовать два отдельных источника питания постоянного тока, горелку для сварки неплавящимся электродом, центраторы и возможность подогрева.

3 Проектирование технологии сборки и сварки толстостенной трубы $d_{тр} = 426$ мм в монтажных условиях

3.1 Выбор оборудования

Для трубопровода $d_{тр} = 426$ мм с толщиной стенок $S=86$ мм в проекте используется комбинированный способ получения неразъемного соединения: корневой шов сваривается ручной дуговой сваркой неплавящимся электродом в среде аргона. Заполняющий и облицовочный шов выполняют ручной дуговой сваркой с использованием покрытых электродов. На основании этого выбирают источник питания для двух способов сварки.

3.1.1 Установка для сварки неплавящимся электродом в аргоне

Для дуговой сварки неплавящимся электродом в среде аргона (РАД) корневого шва использован инвертор типа TIG 200P AC/DC фирмы BRIMA (рис.3.1) с горелкой РГА-150 вместо WP-26, сопло которой специально дорабатывается по разработанным эскизам (рис.2.4).



Рисунок 3.1 - Инвертор TIG 200P AC/DC фирмы BRIMA

Для использования инвертора при монтажной сварке трубопровода источник прошел аттестацию в головном аттестационном центре по сварочному производству Средне–Волжского региона. Для проведения аттестации заказчиком представлены следующие документы:

1. Заявка на аттестацию.
2. Паспорт завода изготовителя.
3. Данные по условиям эксплуатации.
4. Свидетельство о поверке средств измерения.
5. Сертификаты соответствия стандартам РФ.
6. График ремонта.
7. Журнал осмотра и ремонтов оборудования.

Программа испытаний на установку для сварки неплавящимся электродом в аргона включает 3 этапа:

- 1) проверка безопасной эксплуатации сварочного оборудования;
- 2) проверка технических характеристик; 3
- 3) практические испытания.

На рис. 3.2 приведена структурная схема инвертора TIG 200P AC/DC .

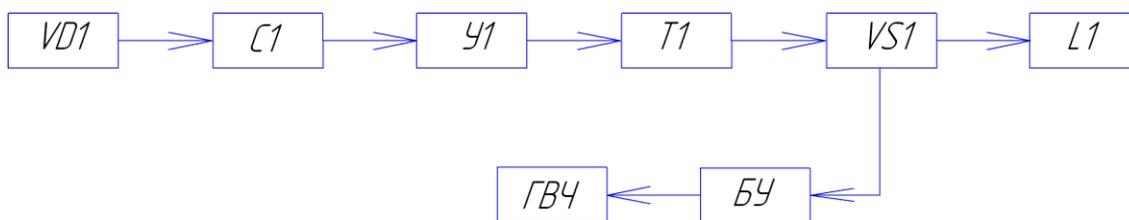


Рисунок 3.2 - Структурная схема инвертора TIG 200P AC/DC

Учитывая тот факт, что начальная ионизация дугового промежутка производится с разделки кромок характер изменения тока дуги в инверторе не вызовет изменений в структуре металла трубы (рис. 3.3б). Инвертор работает как на переменном токе (рис. 3.3а), так и на постоянном (рис. 3.3б). Для работы с трубопроводом из стали 10Х2М наибольший интерес представляет постоянный ток.

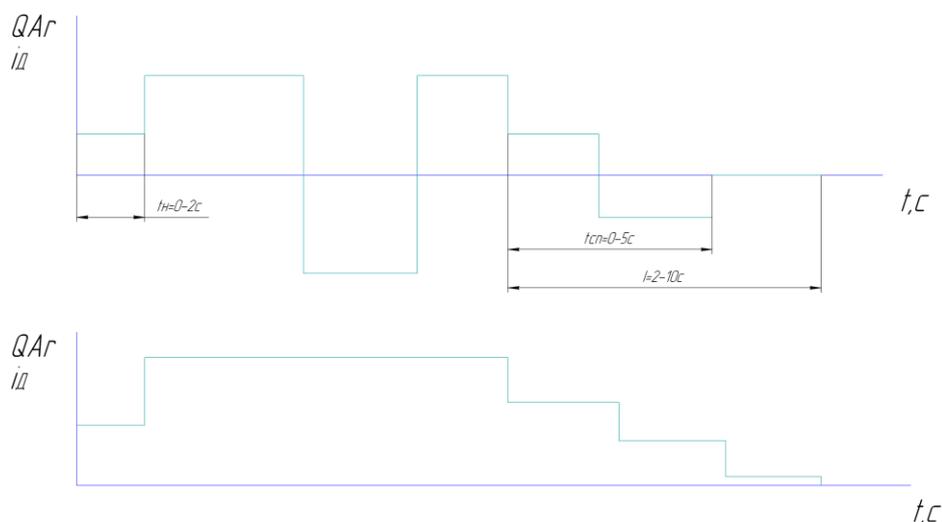


Рисунок 3.3 – Характер изменения тока и расхода аргона

В начальный момент времени дуга горит в течение времени от 0 до 2с. на токе, который может быть уменьшен до 0,5 от установленной величины тока дуги.

Проверка технических характеристик инвертора установила соответствие заявленных данных (табл. 3.1).

Таблица 3.1- Технические характеристики инвертора TIG 200P AC/DC

	Наименование контролируемого параметра	Пункт * методики испытания[РД]	Приборы	Значение параметра
1	Напряжение сети,	П.2.4.3	АТК-2200	220 ^{+10%} - 30%

	В			
2	Частота сети ,Гц	П.2.4.3	АТК-2200	50
3	Напряжение Х.Х.,В	П.2.4.4	АТК-2200	70
4	Ток дуги ном., А	П.2.4.1	АТК-2200	180
5	Диапазон рег. св. тока, А	П.2.4.1	АТК-2200	10-180
6	Наклон ВАХ.	-	АТК-2200	Рисунок 14
7	Режим работы ПН, %	П.2.4.5	секундомер	60

* РД 03- 614 - 03

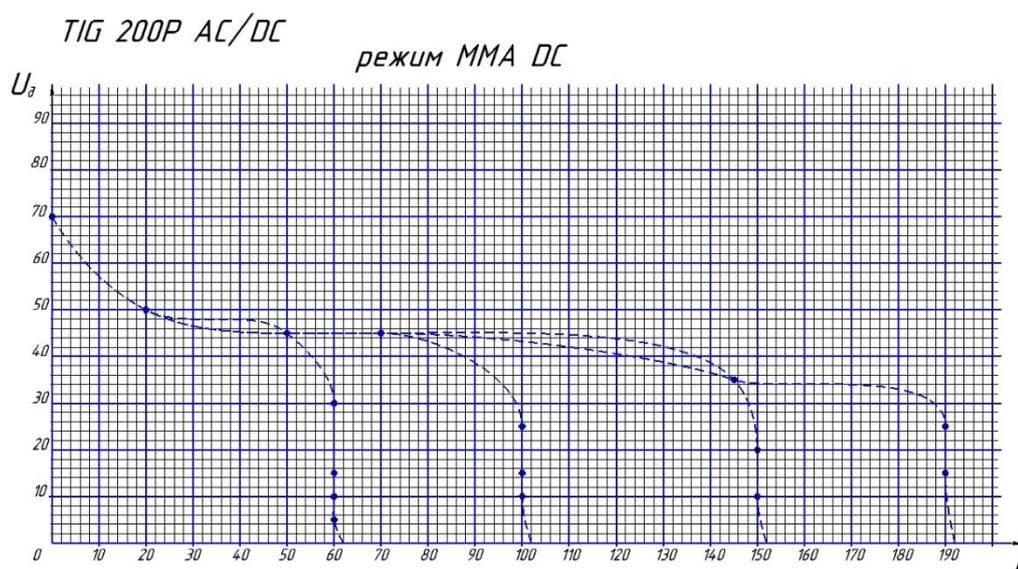


Рисунок 3.4 – Внешние ВАХ инвертора TIG 200P AC/DC

Сварочные свойства инвертора оцениваются при практических испытаниях. Оценка показателей сварочных свойств инвертора проводится с бальной оценкой дифференциальным методом согласно РД 03-614–03.

Фирма BRIMA пускает серию инверторов для сварки, технические данные которых приведены в таблице 3.2

Таблица 3.2 – Технические данные источников питания для РДС

Тип	Диапазон рег.тока, А	U_{xx} ,В	$P_{потр}$, КВА	Примечание
TIG-200 AC/DC	10-200	56	4,5	Универсальный

TIG-250 AC/DCB	10-240	54	6,3	Универсальный
TIG-315 AC/DC	20-300	45	8,9	Универсальный
TIG-160 AC/DC	10 - 1600	45	3,3	Универсальный

3.1.2 Комплект оборудования для ручной дуговой сварки покрытыми электродами

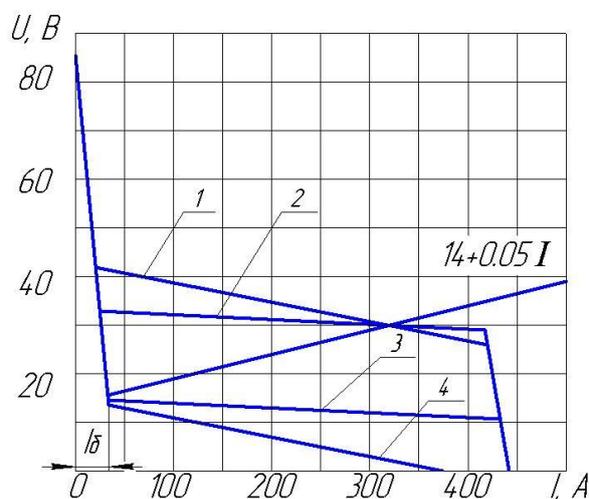
Необходимо использовать современное, механизированное сварочное оборудование и обладающее возможностями регистрирования параметров процесса сварки. Система должна быть программируемой и проверенной ранее на трубопроводных системах с аналогичными размерами и материалами. Рассмотрим универсальное оборудование с возможностью применения механизированного процесса сварки с плавящимися электродами в среде защитных газов. Сварка плавящимися электродами в защитной среде газа статическая ВАХ дуги имеет возрастающий характер, а это значит, что внешняя ВАХ источника питания должна иметь наклон, который составляет 0,4 В/А – 0,2 В/А. Известно, что при сварке плавящимся электродом применяют электродную проволоку диаметром от 1.0 до 2.1 мм, поэтому величина тока должна быть регулируемой в диапазоне от 80 до 300А ориентировочно. Более точно диапазон определится после выбора диаметра проволоки, наклона внешней ВАХ источника питания и диапазона регулирования тока. Подходящие для данного случая источники питания приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Технические данные источников питания для дуговой сварки плавящимся электродом

Тип	Диапазон рег. тока, А	di/dt, кА/с	Наклон ВАХ, В/А	Примечание
ВДУ-506У3	70-500	-	0,02- 0,05	Универсальный
ДС-400	60-500	-		Универсальный

Форсаж 302	50-300	60-180	0,01- 0,04	Только для ДСПЭ
Форсаж 502	60 - 500	45-160	0,01- 0,04	Только для ДСПЭ

В связи с тем, что инверторы Форсаж 302 и Форсаж 502 имеют возможность регулировать наклон внешней ВАХ в диапазоне от 0,01 до 0,04 В/А, остановим выбор на этих аппаратах. Изменение наклона внешней ВАХ позволит уменьшать разбрызгивание электродной проволоки при выборе диаметра проволоки, так как эти два параметра связаны между собой. На рис.3.4 показаны возможности Форсаж 302.



1, 4 - $\partial U / \partial I = 0,04 \text{ В/А}$; 2, 3 - $\partial U / \partial I = 0,01 \text{ В/А}$

Рисунок 3.4 - Внешняя ВАХ Форсаж-302

При сварке плавящимся электродом формирование шва происходит в режиме К.З. и нагрузки (горения дуги). В работах установлено, что скорость нарастания тока К.З., т.е. $di_{кз}/dt$, должна быть величиной регулируемой, так как она связана с размерами диаметра электродной проволоки. Чтобы получить минимальный коэффициент разбрызгивания K_p процесса сварки плавящимися электродами в среде защитного газа CO_2 электродной проволокой сплошного сечения, необходимо создание условий, которые в табл. 3.4.

Таблица 3.4 -Условия получения минимального разбрызгивания (K_p)

$d_{пр.},$ мм	$di/dt,*$ кА/с	$f,$ Гц	$dU/dI,*$ В/А	$L,$ Гн	$K_p,*$ %	Характер переноса капли
0,8-1,2	70-180	50-100	≈ 0	≈ 0	min	струйный
1,2-2,1	15-60	<50	<0	$\neq 0$	min	
>2,1	≤ 10	≤ 15	$\ll 0$	$\approx 10^{-3}$	min	Крупно- капельный

* di/dt – скорость, с которой нарастает ток короткого замыкания, кА/С.

dU/dI – наклон вольт-амперной характеристики источника питания $U_{и} = f(I_{и})$.

$$K_p = G_{брызг}/G_{электрод} \cdot 100, \%,$$

где $G_{брызг}$ - вес брызг на заданную длину свариваемого образца;

$G_{эл}$ - вес электродной проволоки на заданную длину свариваемого образца.

Анализ возможностей инверторов типа Форсаж показал, что они имеют возможность регулировать $di_{кз}/dt$ (рис.16) , поэтому остановим выбор на них.

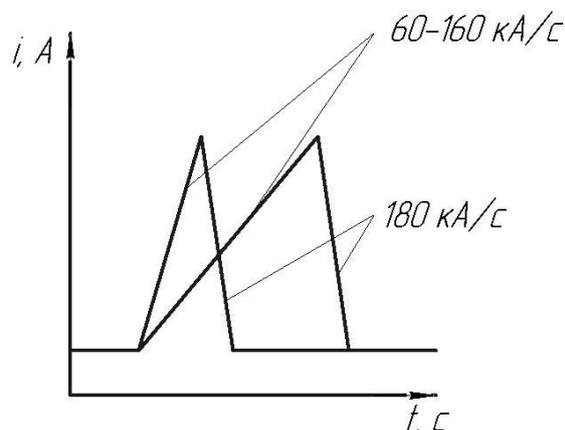


Рисунок 3.4 – Характеристика изменения скорости нарастание тока КЗ

Сварка заполняющих и облицовочных швов в монтажных условиях может производиться как плавящимся электродом, так и РДС. При проектировании технологического процесса сварки трубы $d_{тр} = 426$ мм с $S = 86$ мм РДС используем оборудование, приведенное в таблице 3.2. Рекомендую сварку плавящимся электродом сплошного сечения, используем данные таблицы 3.3

4 Технология сварки, термообработки и контроля качества сварного соединения

4.1. Требования к сварочным материалам

4.1.1 Ручная дуговая сварка трубопроводов должна выполняться электродами с покрытием, соответствующими ГОСТ 9467, ГОСТ 9466 (для отечественных электродов), AWS A5.5, EN 499, EN 757 (для зарубежных электродов), специальным ТУ и сертификатам качества.

4.1.2 Перед тем, как произвести процесс сварки электроды необходимо прокалить соответственно требованиям, указанным в паспорте от изготовителя. В случае отсутствия рекомендованных условий от производителя, электроды прокаливаются при температуре от +430°C до +450°C в течение двух часов. Повторных прокалок должно быть не более трех. Прокаленные электроды должны храниться в пеналах [18].

4.1.3 Электроды, имеющие основной вид покрытия, рекомендуемые к использованию в ручной дуговой сварке и проволока для аргонодуговой сварки [20] приводятся в таблице 4.1

Таблица 4.1 Рекомендуемые сварочные материалы

Метод сварки	Технические условия ГОСТ, AWS	Изготовитель, торговое наименование
Дуговая сварка вольфрамовым электродом	A5.28, ER90S-G	Böhler-Thyssen, 1CrMo910
Дуговая сварка покрытым электродом	ГОСТ 9467; A5.5, E9015-B3	H-10 тип Э-05X2М; Thyssen, SH Chromo 2 KS

4.1.4 «Сварочная проволока должна храниться в сухих закрытых помещениях, условия содержания должны предотвращать появление ржавчины, либо других повреждений на основании ГОСТ 2246-70» [31].

4.1.5 Аргон также должен быть подтвержден сертификатом качества по ГОСТ 10157-73. Документ подтверждения качества аргона должен находиться в маховичке вентиля баллона [31].

4.1.6 Требуется заточка на конус для каждого неплавящегося электрода. Конус должен иметь угол (γ) в пределах 28 - 30°, коническая часть иметь длину (L_1), равную 5-6 диаметрам электрода (D_1). Окончание конуса после заточки притупляется, диаметр притупления (d_n) от 0,2 до 0,5 мм (рис.4.1)». [31]

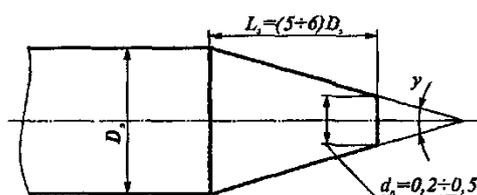


Рисунок 4.1 - Схема заточки вольфрамового электрода

4.2 «Требования к оборудованию для предварительного и сопутствующего (межслойного) подогрева и термической обработки» [31].

4.2.1 «При проведении предварительных и сопутствующих (межслойный) прогревов кромок свариваемого соединения, а также термических обработок соединения после сварки, разрешено использование следующих видов нагрева» [31]:

- индукционными токами с частотой от 400 до 10000 Гц (преимущественно 2500 Гц);

- «радиационный (электрическим сопротивлением, газопламенный)» [31];

- «применение электронагревателей с комбинированным действием (электрическое сопротивление в сочетании с индукционным током промышленной частоты 50 Гц)» [31].

4.2.2 Разрешено использование специального оборудования во всех вышеперечисленных видах подогрева:

- «установки индукционного нагрева» [31];
- «установки с применением электронагревателей сопротивления» [31];
- «установки с применением электронагревателей комбинированного действия» [31];
- «газопламенные нагревательные устройства» [31].

4.3 Оборудованию для регистрации данных сварочной дуги

Совершенно новый мини регистратор (MALIII) от TVC - один из самых мало затратных сварочных регистраторов в мире. Поставляется в износостойком корпусе. Данный портативный блок весит менее 9 кг и его настройка занимает считанные минуты, снижая время простоя на площадке. Проверенные на практике сенсорные датчики и приборы управления с классом IP защиты позволяют использовать MAL III в суровых условиях при минимальной ежедневной потребности в обслуживании.

Датчиками мониторинга тока сварки до 2000 ампер и напряжения до 100 вольт, прибор работает со всеми процессами дуговой сварки, включая FCAW, GMAW, SMAW, SAW и AC/DC GTAW и оснащен защитой от высокой частоты дуги зажигания.

TFT экран 5.7 дюймов дает четкое изображение всех контролируемых параметров сварки. Герметичная батарея работает до 8 часов без подзарядки в режиме контроля процесса.

Данные сварки записываются на съемный накопитель 4GB, позволяя интегрировать сохраненные параметры в отчет Excel в форме таблицы на внешнем ПК. Программное обеспечение для генерации отчетов

идет в комплекте с каждым прибором, вместе с руководством в электронном виде на USB носителе. Прибор также поставляется с гибкой клавиатурой QWERTY для программирования контролируемых параметров (заголовков) и регулировки настройки MALIII.



Рисунок 4.2 - Мини регистратор данных сварочной дуги

Стандартный базовый прибор замеряет и регистрирует ток сварки, напряжение дуги и время дуги. Прибор также подсчитывает и записывает энергию дуги и тепловложение.

Дополнительные опции для MAL III включают датчики для измерения скорости подачи проволоки и вычисления общего расхода проволоки, скорость движения сварки для автоматического процесса, расход газа и потребление с термопарой К-типа для измерения температур предварительного нагрева и промежуточного прохода.

Имеется дополнительный вспомогательный ввод. Он может быть настроен на заводе для работы с другими датчиками, такими как сенсоры O₂ для регистрации обратной продувки во время сварки. Для более детальной информации свяжитесь с TVC.

Прибор поставляется с зарядным устройством 90-240V AC и за дополнительную плату поставляется с внешним, переносным принтером для распечатки параметров данных сварки во время или после завершения сварочного процесса. Таким образом MALIII полностью отслеживает процесс сварки на площадке.

4.5 Требования к герметизированной обитаемой камере

Назначение герметизированной обитаемой камеры – создание физического барьера во избежание проникновения углеводородов за счет того, что давление внутри камеры превышает наружное, атмосферное. В этом разделе мы рассмотрим первичные операции сборки основного варианта обитаемой камеры размером 2 м x 2 м x 2 м до состояния, когда крыша камеры будет готова к установке стеновых панелей. Чтобы убедиться в правильности выбора места и ориентации каждой панели, необходимо сначала выставить их все, и только затем приступать к сборке. К этому моменту должна быть известна расстановка панелей и выбрано место двери (шлюзовой камеры). При установке панели крыши в течение некоторого времени не следует затягивать ремни с кулачковыми застежками, чтобы было удобнее устанавливать боковые панели.

Сборка и демонтаж обитаемых камер должны проводиться техниками SHH или под руководством специалистов по индивидуальным средствам защиты. Соответствующие инструкции для пользователей установки и оборудования прилагаются. При выставленном оборудовании следует соблюдать осторожность в отношении опасностей, связанных со спотыканием. Следует также быть внимательными, стараясь не споткнуться о раму. Не допускаются положения, которые могут привести к потере равновесия, при попытках дотянуться до ремней с кулачковыми застежками или панелей. Следует быть внимательными и стараться не перекрывать доступ к средствам безопасности.

Для удобства сборки необходимо разложить панели на земле. Определить место панели с аварийным выходом (по возможности с не загроможденным подходом/выходом).

Избыточное давление создается путем подачи большего количества воздуха. Избыточное давление служит барьером от проникновения внутрь углеводородных газов. Гибкий воздуховод фиксируется герметизирующей

лентой. Для крепления его к устройству ограничения вакуума следует воспользоваться ремнем с кулачковой застежкой. Воздуховоды вытяжки и местной вытяжной вентиляции крепятся таким же образом. После создания давления в камере, следует отрегулировать заслонки, установив необходимое превышение внутреннего давления над наружным.



Рисунок 4.3 - Герметизированная обитаемая камера

4.6 Общие требования

4.6.1 Выполнение первого (корневого) шва не должно иметь наличие дефектных включений в виде утяжин, провисов, непроваров, несплавлений. Пределы усиления обратного валика 0,5 - 3,0 мм.

4.6.2 Заполняющий и облицовочный слои шва должны быть выполнены одним или несколькими проходами.

4.6.3 «В процессе создания заполняющего и облицовочного шва в любом последующем проходе валика должен перекрыть предшествующий от одной трети и более от ширины и необходимо соблюдение следующих условий» [31]:

- «усиление каждого валика облицовочного слоя шва не более 3,0 мм» [31];

- «усиление в каждой межваликовой канавке должно быть не менее 1,0 мм» [31];

- «глубина каждой межваликовой канавки должна быть не более 1,0 мм» [31];

4.6.4 Облицовочный слой шва должен иметь геометрические параметры согласно требований ГОСТ 5264-80[17] и ГОСТ 14771-76[30].

4.6.5 При выполнении работ должно использоваться комплектное оборудование регистрации параметров сварки в режиме реального времени. Оно должно быть в полном рабочем состоянии при сварке товарных стыков. В качестве оборудования контроля дуги должны использоваться блоки типа ALX (регистраторы дуги десятой модели производства «TVC Ltd.») или аналоги. Температуры подогрева и между проходами, последовательности проходов, напряжение, ток и скорость перемещения должны все регистрироваться при выполнении работ. При сборе данных должно контролироваться строгое соблюдение технических условий на сварочные процедуры.

4.6.6 Применение шлифовки позволяет усилить заводские швы, оставляя наружной шов от торца трубы 15 – 20 мм [30].

4.6.7 Возбуждать сварочную дугу необходимо лишь на кромочной поверхности соединяемых частей. Запрещено зажигание дуги на поверхности металла трубы.

4.6.8 «Если сварка многослойная, то проводят очистку валика и слоя шва от шлаков и выбрызгав металла до наложения следующего слоя шва. Наложение валиков и слоев производят таким образом, чтобы последние участки шва имели смещение от 20 до 30мм относительно друг друга» [32].

4.6.9 Возобновление сварки после замены электрода или в случае обрыва дуги следует производить, отойдя на 15-20 мм назад с обязательной очисткой этого места от шлаков и окалины [32]

4.6.10 Температура между проходами не должна превышать 315 °С.

4.6.11 Сварка корневого прохода не должна прерываться.

4.6.12 Окончание сварки следует выполнить при метеорологических осадках или при температуре менее +5°С. Свариваемые соединения накрывают влагостойким и теплоизоляционным покрытием до полного

остывания. Рядом со сварочным швом влагостойкой краской наносится клеймо сварщика или бригады сварщиков, или операторов. [32]

4.7 Подогрев кромок свариваемых труб

4.7.1 Для прогрева кромок свариваемых соединений используем установку РТ75/6.

4.7.2 Минимальная температура подогрева независимо от толщины составляет 177 °С для всех сварных швов. Подогрев должен поддерживаться до завершения сварного шва.

4.8 Ручная аргодуговая сварка неплавящимся электродом корневого слоя шва. [31]

4.8.1 Создавая технологические трубопроводы, стыки делают в поворотном и неповоротном исполнении.

4.8.2 «Направление и порядок сварки корневого слоя вертикального и горизонтального неповоротных стыков должны соответствовать рис. 4.4, 4.5» [32].

4.8.3 Сварку следует вести обратноступенчатым способом [32].

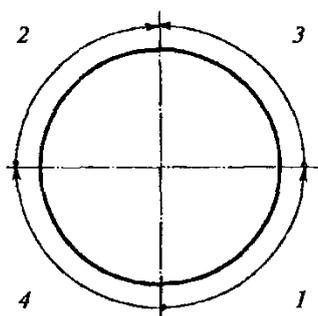


Рисунок 4.4 - Порядок сварки корневого слоя шва неповоротного стыка

1 - 4 - последовательность наложения швов при сварке стыка

4.8.3 Стыки трубопроводов необходимо сваривать двумя сварщиками одновременно. Очередность наложения валиков первого слоя шва должен соответствовать рис. 4.5.

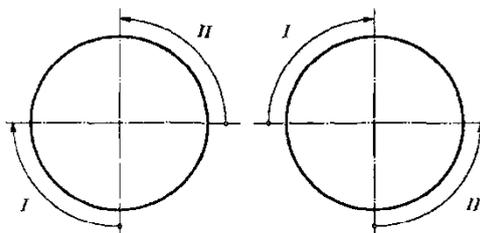


Рисунок 4.5 - Порядок наложения корневого слоя шва при сварке вертикального неповоротного стыка двумя сварщиками
I - первый сварщик; II - второй сварщик

4.8.4 Процесс сварки горизонтального стыка проводят в соответствии с рис. 4.6[32].

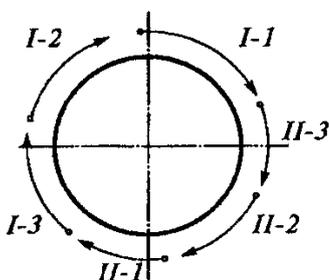


Рисунок 4.6 – Порядок наложения корневого шва горизонтального стыка при сварке двумя сварщиками

«I - первый сварщик; II - второй сварщик; 1, 2, 3 - последовательность выполнения сварки первым и вторым сварщиками» [31].

4.8.5 «Ручная аргодуговая сварка должна выполняться при самой малой дуге (длина от 1,0 до 2,0 мм) на постоянном токе прямой полярности» [31].

4.8.6 «Зажигать и гасить дугу необходимо на поверхности свариваемой кромке или на уже полученном шве, отступив 20 - 25 мм назад от кратера» [31].

4.8.7 При зажигании дуги аргон подается н 15 секунд раньше, а при гашении выключается на 15 секунд позже [31].

4.8.8 Рекомендуемые режимы сварки корневого слоя шва приведены в таблице 4.8

Таблица 4.1 Рекомендуемые режимы сварки корневого слоя шва

Диаметр проволоки, мм	Сварочный ток, А	Напряжение на дуге, В	Расход аргона, л/мин	Диапазон скорости перемещения мм/мин	Тепл.выход кДж/мм
2.4	105-120	12-13	10-12	40-70	1.1-2.4

4.9 «Ручная дуговая сварка электродами с основным видом покрытия заполняющих и облицовочного слоев шва» [31].

4.9.1 «Рекомендуемые режимы ручной дуговой сварки электродами с основным видом покрытия на подъем приведены в таблице 4.2» [31].

Таблица 4.2 - Рекомендуемые режимы ручной дуговой сварки электродами с основным видом покрытия

Слои шва	Диаметр электрода, мм	Сварочный ток (А) в положении при сварке		
		нижнее	вертикальное	потолочное
Заполняющие: - первый	3,0-3,25	90-120	90-110	80-110

- последующие	3,0-3,25	100-120	90-110	80-110
	4,0	130-180	110-170	110-150
Облицовочные	3,0-3,25	100-120	90-110	80-110
	4,0	130-180	110-170	110-150

4.9.2 «Сварка вертикального неповоротного стыка необходимо проводить снизу-вверх в соответствии с рис. 4.7» [32].

4.9.3 Если сваривается потолочный стык, то сварка начинается на расстоянии 20 мм от нижней точки, в соответствии с рис. 4.7 [32].

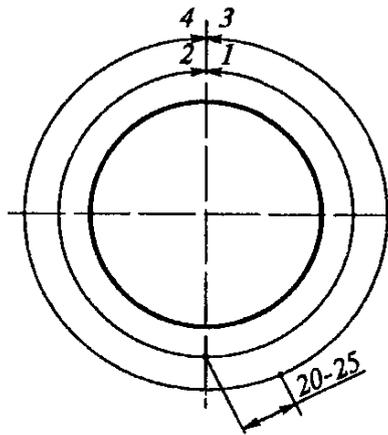


Рисунок 4.7 - Порядок сварки неповоротного стыка труб

1 - 4 - порядок наложения слоев

4.9.4 Выполнение сварки вертикальных неповоротных стыков группой из двух сварщиков порядок наложения валиков должен соответствовать рис. 4.8.

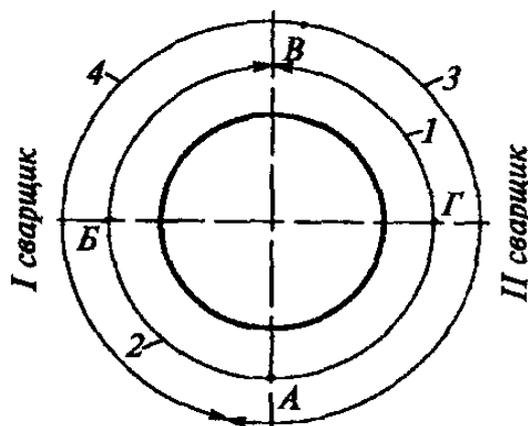


Рисунок 4.8 - Порядок наложения слоев шва при сварке вертикального неповоротного стыка труб двумя сварщиками.

1 - 5 - порядок наложения слоев

4.10 Термообработка сварных соединений

4.10.1 Используем установку для термообработки сварных соединений мощностью 75кВА, модель РТ75/6. при подогреве кромок свариваемого соединения и для термообработки соединений после сварки.

Установка предназначена для проведения местной термообработки сварных швов, и может работать как в ручном, так и в автоматическом режиме. В автоматическом режиме обеспечивает заданную скорость нагрева, температуру выдержки и скорость охлаждения, выполняя заданную программу. Установка рассчитана на работу при температуре окружающей среды от 10 до 50°С при относительной влажности до 90% при температуре 25°С и обеспечивает жесткую вольтамперную характеристику для питания различных типов нагревательных элементов.

4.10.2 Высокий отпуск является видом термической обработки сварного соединения для выполнения дуговых способов сварки. «Перечисление режимов термообработки приведено в таблице 4.2. Термическую обработку можно проводить при наличии положительного результата контроля качества сварного соединения. По завершению термообработки сварного соединения выполняется неразрушающий контрольный метод качества с использованием ультразвука, и контролируют твердость шва и ЗТВ» [20].

Таблица 4.2 - Режимы термообработки сварных соединений трубопроводов

Стали	Режимы термообработки				Условия охлаждения
	Температура нагр., $T_n, ^\circ\text{C}$	Скорость нагрева $V_n, ^\circ\text{C/ч}$	Выдержка $t_b, \text{мин}$	Скорость охлад $V_{охл.}, ^\circ\text{C/ч}$	
10X2M (ASTM A182 F22)	$690 \pm 10^\circ\text{C}$	$222 ^\circ\text{C/ч}$	Не менее 300 мин.	$55 ^\circ\text{C/ч}$	До 400°C под слоем теплоизоляции, далее в неподвижном воздухе до T окружающего воздуха

Перепад температуры должен быть таким, чтобы длина материала на каждой стороне сварного шва при температуре, равной половине температуры термообработки ($345 \pm 10 ^\circ\text{C}$), была не менее $2,5rt^{1/2}$, где r - внутренний радиус трубы, а t - толщина трубы у сварного шва (рис. 4.9).

Термопары должны устанавливаться в соответствующих местах вокруг зоны нагрева для регистрации температур на краю нагреваемой полосы. Термопары должны находиться в металлическом контакте с трубой и крепиться подходящим способом (например, методом конденсаторного разряда).

Должны использоваться многоканальные регистрирующие приборы с распечаткой. Графики должны быть обозначены с указанием конкретных сварных швов и дат.

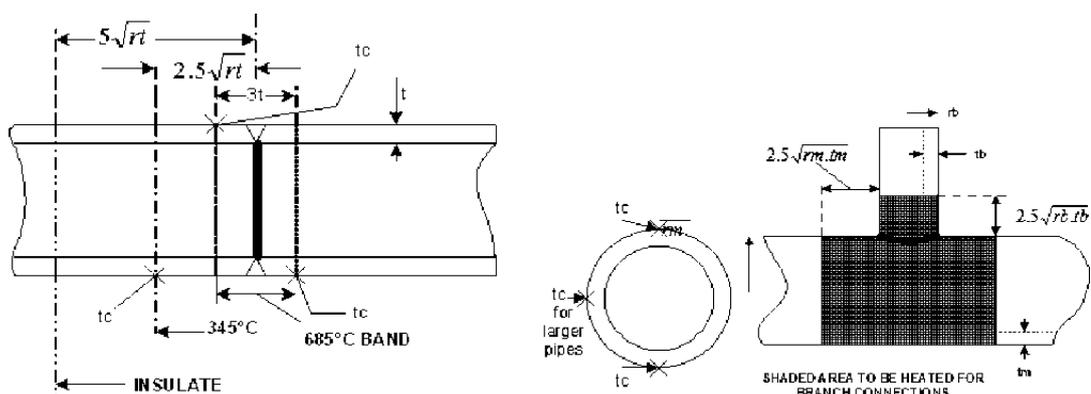


Рисунок 4.9 – Схема регистрации температур

4.11 Контроль качества сварных соединений

4.11.1 Соответствие геометрических параметров торцов труб, СДТ, ЗРА, имеющих заводскую разделку кромок, или обработку механическими способами должно быть по рис. 4.10, ГОСТ 14771-76[30], ГОСТ 5264-80[17] и операционным технологическим картам сборки и сварки. Используются универсальные шаблоны типа УШС для контроля размеров подготовленных кромок труб под сварку.

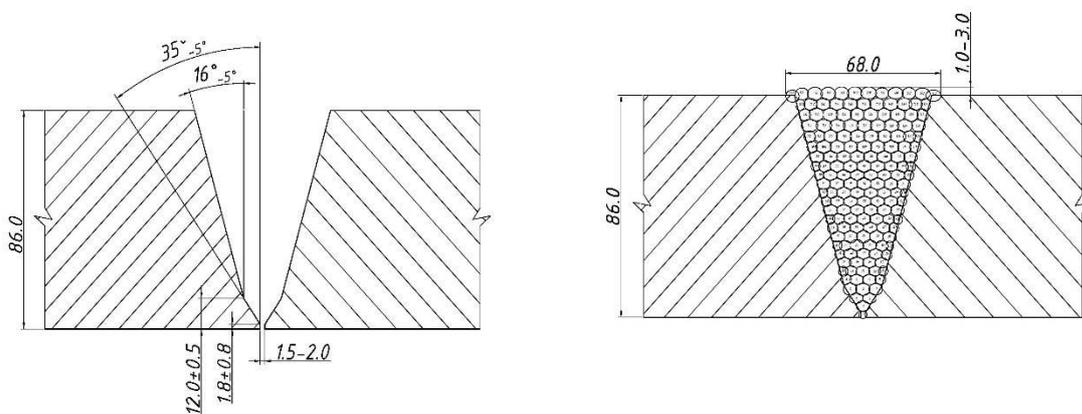


Рисунок 4.10 – Конструкция соединения и конструктивные элементы сварного шва

4.11.2 Проведение неразрушающего контроля качества соединений (физический, визуальный и измерительный методы контроля), свариваемых технологических трубопроводов основного назначения осуществляется сотрудниками лаборатории (группы) контроля качества. Лаборатория должна иметь аттестацию в соответствии с ПБ 03-372-00.

4.11.3 Все сварные швы подлежат 100% объемному контролю и поверхностной дефектоскопии.

4.11.4 Объемный контроль сварных швов толщиной более 20 мм должен осуществляться с использованием утвержденной с заказчиком процедуры автоматической дифракции времени пролета (ДВП) и автоматического ультразвукового контроля на поперечных волнах (УЗКПВ) с исследованием внутреннего и наружного диаметра. ДВП сама по себе не допускается. Угол акустических приемников волны сдвига должен быть достаточным для обеспечения обнаружения дефектов в зонах рядом с поверхностью корневого и верхнего слоя шва. Эхо-импульсный контроль и ДВП должны проводиться одновременно. Допускается использование нескольких сканеров в зависимости от диаметра и толщины трубы. Ручной эхоимпульсный метод должен использоваться для определения размера любого признака дефекта, обнаруженного в первой четверти толщины ($t/4$), и любого признака дефекта, обнаруженного по каналам эхо-импульсного контроля наружного диаметра (верхнего слоя сварного шва) автоматической системы УЗК[20].

Данный метод должен использоваться только для обнаружения нарушений непрерывности. Все потенциально неприемлемые нарушения непрерывности должны быть подтверждены и определены по размеру с помощью ручного УЗК. Для определения размеров признаков дефектов от первой четверти толщины ($t/4$) вплоть до поперечной волны может использоваться ДВП. Признаки дефектов, размер которых был определен с помощью ДВП, должны быть отсканированы параллельным способом для определения любой возможной взаимосвязи между дефектами и вертикальной плоскости, в которой расположен дефект.

4.11.5 Автоматическая ультразвуковая система эхо-импульсного контроля должна быть настроена надлежащим образом для обнаружения нарушений непрерывности в пределах 3 мм от края сварного шва на участках корневого и верхнего слоя.

4.11.6 Процедуры радиографического контроля должны соответствовать требованиям ASME, раздел V, статьи 2 и 22. Должна использоваться пленка типа 1 (№ SE-1815, коммерческий тип D4).

4.11.7 Для толщины стенки более 20 мм участки корневого слоя сварного шва должны быть дополнительно просканированы ручным УЗК с использованием эталона с квадратным надрезом 0,5 мм.

4.11.8 Сварные швы, не имеющие доступа для автоматической ДВП, должны подвергаться ручному УЗК.

4.11.9 Сканирование должно проводиться на 100% объема сварного шва и ЗТВ. Должны использоваться, как минимум, 2 наклонных преобразователя. Использование преобразователей с наклоном, отличающимся от 45°, 60° и 70°, допускается, если при этом может быть продемонстрирована повышенная чувствительность. Все сварные швы по возможности должны контролироваться с 2 сторон. Предпочтительнее использовать преобразователи 4-5 МГц. Использование других частот допускается, если продемонстрировано, что при этом может быть получена требуемая чувствительность[20].

4.11.10 Сканирование без наклона должно проводиться до сканирования наклонным преобразователем. Любые участки, обнаруженные сканированием без наклона, которые будут ограничивать сканирование наклонным преобразователем, должны быть отмечены в отчете УЗК.

4.11.11 Сварной шов должен быть отбракован, если он содержит несплавления, трещины или непровары.

5 Проект рекомендаций по сварке технологических трубопроводов из стали 10X2М диаметром 426 мм и толщиной стенки от 54 до 86 мм

5.1 Область применения

5.1.1 «Настоящие рекомендации распространяется на сварку кольцевых соединений толстостенных цельнокованых труб, соединительных деталей трубопроводов, трубопроводной арматуры и узлов трубопроводов при монтаже и ремонте технологических трубопроводов давлением свыше 10 МПа, изготовленных из сталей 10X2М (ASTM A182 F22), диаметром 426 с толщиной стенки от 54 до 86 мм включительно» [18].

5.1.2 Рекомендациями установлен порядок проведения подготовительного, сборочного и сварочного этапа работ; определено использование материалов и оборудования для сварки; установлены требования параметров сварных соединений; прописаны технологии ручной аргонодуговой сварки неплавящимися электродами и ручной дуговой сварки покрытыми электродами; при монтаже и ремонте технических устройств, упомянутых в п. 5.1.1, и содержит сведения, необходимые для разработки операционных карт и аттестации технологического процесса сварки [18].

5.1.3 Рекомендациями установлены порядок, методы и объемы неразрушающего контроля; приведены нормы оценивания качества сварного соединения, выполненного дуговыми способами сварки.

5.1.4 Сварочные работы на технических устройствах, упомянутых в п. 5.1.1, имеют право выполнять сварщики, прошедшие аттестацию по технологиям с использованием аттестованного сварочного материала и аттестованного сварочного оборудования. Пройденную аттестацию подтверждают документально.

5.2 Нормативные ссылки

Настоящая инструкция использует нормативные ссылки на стандарты:

«ГОСТ 6996-66 Сварные соединения. Методы определения механических свойств» [12];

«ГОСТ 7512-82 Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод» [13];

«ГОСТ 9940-81 Трубы бесшовные горячедеформированные из коррозионностойкой стали. Технические условия» [14];

«ГОСТ 9941-81 Трубы бесшовные холодно- и теплодеформированные из коррозионностойкой стали. Технические условия» [15];

«ГОСТ 52079-2003 Трубы стальные для магистральных трубопроводов, нефтепроводов и нефтепродуктопроводов. Технические условия» [16];

«ГОСТ 9467-75 Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей. Типы» [17];

«ГОСТ 16037-80 Соединения сварные стальных трубопроводов. Основные типы, конструктивные элементы и размеры» [18];

«ГОСТ 5264-80 Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры»;

«ГОСТ 32569-2013 Трубопроводы технологические стальные. Требования к устройству и эксплуатации на взрывопожароопасных и химически опасных производствах»;

ASME B31.3 Технологические трубопроводы;

NACE MR0175/ISO 15156-2 Промышленность нефтяная и газовая. Материалы для применения в средах, содержащих сероводород при нефте- и газодобыче.

5.3 Общие требования

5.3.1 Аттестация технологии сварки

Производство сварочных работ допускается только в границах применения технологии, имеющей аттестацию на основании с РД 03-615-03 сварки, указанной в свидетельстве НАКС.

Проведение производственной аттестации технологии сварки осуществляют сваркой КСС, при создании условий, аналогичных производственным условиям.

Применение групп одинаковых по типу сварных соединений происходит на основании требований РД 03-615-03.

Сварка КСС должна выполняться аттестованными сварщиками (основание ПБ 03-273-99, РД 03-495-02) той организации, которая выполняет сварочные работы.

КСС, исполненные в рамках производственной аттестации технологий сварки, оцениваются с применением контролирующих методов визуального, измерительного и неразрушающего физического вида и должны соответствовать требованиям ГОСТ 32569-2013.

«КСС, исполненные в ходе проведения производственной аттестации технологий сварки, имеющие положительные результаты неразрушающего контроля качества, проходят испытания на выявление соответствий их механических свойств и требований стандарта» [18].

Производственная аттестация оформляется специализированным центром. Выдается заключение, которое позволяет проводить организации работы по сварке в пределах своей компетенции. При установлении границ применения аттестованных технологий по сварке учитываются параметры КСС (Приложение В). Выданное заключение позволяет получить свидетельство НАКС на основе требований РД 03-615-03 [18].

5.3.2 Требования к персоналу

К руководству работами по сварке допускаются специалисты, прошедшие аттестацию в системе Национального Агентства Контроля Сварки (НАКС) в соответствии с ПБ 03-273-99 в качестве специалистов сварочного производства, имеющие аттестационное удостоверение с допуском к руководству и контролю за выполнением сварочных работ на

технических устройствах, относящихся к группам НГДО (4) или ОХНВП (16), работающих под давлением на опасных производственных объектах.

К выполнению сварочно-монтажных работ допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинский осмотр, целевое обучение по безопасным методам производства работ и сдавшие экзамен по технике безопасности. К сварке допускаются сварщики, прошедшие специальную подготовку в профессионально-техническом училище или на курсах сварщиков, проработавшие по данной специальности не менее 12 месяцев и аттестованные в соответствии с ПБ 03-273-99 на ручную дуговую сварку покрытыми электродами сварных соединений технических устройств, относящихся к группам ОТУ НГДО (4) или ОХНВП (16). Аттестация подтверждается аттестационным удостоверением НАКС.

Электросварщики должны иметь квалификационную группу по электробезопасности не ниже II согласно «Правилам технической эксплуатации электроустановок потребителей» 2003 г., п. 3.1.15.

5.3.3 Требования к сварочному оборудованию

Сварочное оборудование допустимо применять при проведении работ по ручной дуговой сварке, если используются специальные ТУ, а также если электрод обладает:

- «паспортами и руководствами по эксплуатации, сварочное оборудование зарубежного производства - дубликаты паспортов, руководства по эксплуатации на русском языке» [16];
- «сертификатами соответствий ГОСТ Р по безопасности» [16];
- «одобрениями в виде транспортных средств ГОСТ Р, передвижные сварочные агрегаты, передвижные и самоходные сварочные установки» [16];
- «свидетельствами НАКС аттестованного сварочного оборудования согласно РД 03-614-03 с областью применения для производства сварочных работ на технических устройствах, относящихся к группам НГДО или ОХНВП» [16].

Для проведения сварочных работ в опасных (наличие токопроводящих конструкций, железобетонные полы, высокая влажность воздуха) и особо опасных условиях (траншеи, обводненные котлованы и т.п.), сварочные установки должны быть укомплектованы устройствами снижения напряжения холостого хода до 12В.[18]

Сварщик должен провести осмотр сварочного оборудования до начала работ для выявления видимых нарушений, доложить руководителю сварочных работ о найденных неисправностях.

5.3.4 Требования к сварочным материалам[18]

При покрытии электродов целлюлозой и сварке ими трубопроводов, необходимо соответствие ГОСТ 9467, ГОСТ 9466 (отечественного производства), AWS A5.5, EN 499, EN 757 (зарубежного производства), специальным ТУ и сертификатам качества [18].

Сертификаты изготовителя необходимы для электродов. В данных характеристиках указывают тип, марку, механические свойства, химический состав наплавляемого металла [18].

Проводится на основании ГОСТ 9466-75 проверка качества покрытия электродов и их технологические свойства.

«Проведение входного контроля для сварочных материалов проводится по требованиям, принятым организацией, проводящей сварочные монтажные и ремонтные работы на трубопроводах. Выполняя входной контроль, проверяют» [18]:

- «наличие сертификатов качества (для сварочного материала зарубежного производства - дубликаты сертификата качества на русском языке)» [18];

- целостность упаковки;

- внешний вид;

- сварочно-технологические свойства.

Используют сухие помещения складов для хранения электродов до их применения.

Требуется обязательное прокаливание всех электродов до процесса сварки, на основании требований паспортов, ТУ, или рекомендаций изготовителя. Если рекомендации изготовителя отсутствуют, прокаливание электродов проводят при температуре +430 - +450 °С на протяжении двух часов. Повторных прокалок должно быть не более трех. Прокаленные электроды должны храниться в пеналах.

Прокаленные электроды сохраняют работоспособность около пяти дней, при условии соблюдения условий хранения.

В таблице 5.1. приведен список электродов с основным видом покрытия, рекомендуемых к использованию ручной дуговой сваркой для соединения труб, труб с СДТ, ЗРА

Таблица 5.1 Рекомендуемые сварочные материалы

Метод сварки	Технические условия AWS	Изготовитель, Торговое наименование
Дуговая сварка вольфрамовым электродом	A5.28, ER90S-G	Böhler-Thyssen, 1CrMo910
Дуговая сварка покрытым электродом	A5.5, E9015-B3	Thyssen, SH Chromo 2 KS

Применение расходных материалов других производителей допустимо, если результаты аттестационных испытаний метода сварки и расходных материалов окажутся положительными.

Химический состав сварочных материалов должен соответствовать следующим требованиям:

Cu = 0,20% макс.

Ni = 0,30% макс.

$$\%Mn + \%Si < 1,1\%$$

$X < 12$ ч/млн, где X – коэффициент Брускато, определяемый следующим образом:

$$X = \frac{10P + 5Sb + 4Sn + As}{100}$$

Для ручной дуговой сварки покрытыми электродами должны использоваться только электроды с низким содержанием водорода.

Наличие сертификата со сведениями об изготовителе, о марке проволоки, диаметре, о химическом составе проволоки и номере партии обязательны для любой партии сварочной проволоки. Каждый моток проволоки должен иметь бирку со сведениями: обозначение проволоки, номер плавки, завод-изготовитель.[19]

«Сварочная проволока должна храниться в сухих закрытых помещениях, условия содержания должны предотвращать появление ржавчины, загрязнений и механических повреждений на основании ГОСТ 2246-70» [19].

Для проверки качества аргона наплавляется на пластине валик в длину от 100 до 150 мм, применяя техосмотр по ГОСТ 3242-79 этого наплавления, определяется степень газовой защиты. При обнаружении дефектов в наплавлении (поры), баллон с газом бракуется.

Требуется заточка на конус для каждого неплавящегося электрода. Конус должен иметь угол (γ) в пределах 28 - 30°, коническая часть иметь длину (L_1), равную 5-6 диаметрам электрода (D_1). Окончание конуса после заточки притупляется, диаметр притупления (d_n) от 0,2 до 0,5 мм (рис.5.1).[31]

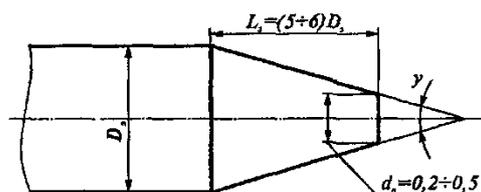


Рисунок 5.1 - Схема заточки вольфрамового электрода

5.3.4 «Требования к основным материалам»[18]

«Трубы (каждая партия) должны быть обеспечены сертификатами качества. До начала сварочных работ трубы, СДТ, ЗРА должны пройти входной контроль в порядке, установленном в организации выполняющей сварочные работы» [18].

Свариваемые материалы трубопроводов будут включать цельнокованные трубы, фитинги и фланцы из стали марки 10X2M (ASTMA182 F22).

Таблица 5.2 – «Химический состав в % материала 10X2M ГОСТ 5520 – 79»[33]

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo
0.08 - 0.12	0.17 - 0.37	0.4 - 0.7	до 0.3	до 0.02	до 0.02	2 - 2.5	0.6 - 0.8

Примечание: По ТУ 14--159-297-2006 для 10X2M-ВД содержание С =0.08-0.1%

Таблица 5.3 - Механические свойства при T=20°C материала 10X2M

Сортамент	Размер	Напр.					КСУ
-	мм	-	МПа	МПа	%	%	кДж / м²
труба			390-590	295	20		980

Таблица 5.4 - Зарубежные аналоги материала 10X2M

США	Германия	Япония	Франция	Англия	Евросоюз
-	DIN, WNr	JIS	AFNOR	BS	EN
F22	10CrMo9-10	SFVAF22A	10CD9-10	622-490	1.7380
	GS-12CrMo9-10		11CrMo9-10		10CrMo9-10

Концы труб должны обрабатываться шлифовальными машинками и зачищаться от механических повреждений, необходимо предотвратить попадание внутрь труб влаги, снега и иных загрязнений. Во время транспортирования концы труб закрывают инвентарными заглушками.

«Не допустимы любые вмятины торцов труб, СДТ, ЗРА с механическими повреждениями поверхности металла. Наружная и внутренняя поверхность на окончании трубы не должны иметь в пределах менее 40 мм от торца различные трещины, расслоения и пр. Наличие царапин, продиров, незначительных механических дефектов допускается и регламентируется ТУ, ГОСТ» [18].

«Устраняют такие поверхностные дефекты на концах труб, СДТ, ЗРА шлифовальными машинками, с имеющими наборами абразивных приспособлений в виде диска, щетки. По завершению механической обработки не допускается уменьшение толщины стенок концов труб, СДТ за границы разрешенных допусков» [18].

«При сварке трубопроводов применяются толстостенные цельнокованные трубы диаметром 426 с толщиной стенки от 54 до 86 мм включительно» [18].

5.3.5 Требования к оборудованию для предварительного и сопутствующего (межслойного) подогрева и термической обработки

При проведении прогревов кромок свариваемого соединения, а также термических обработок соединения после сварки, разрешено использование следующих видов нагрева:

- «индукционными токами с частотой от 400 до 10000 Гц (преимущественно 2500 Гц)» [18];
- «радиационный (электрическим сопротивлением, газопламенный)» [18];

- «применение электронагревателей с комбинированным действием (электрическое сопротивление в сочетании с индукционным током промышленной частоты 50 Гц)» [18].

Разрешено использование следующего специального оборудования во всех вышеперечисленных видах подогрева:

- «установки индукционного нагрева» [18];
- «установки с применением электронагревателей сопротивления» [18];
- «установки с применением электронагревателей комбинированного действия» [18];
- «газопламенные нагревательные устройства» [18]

5.4 Технология сварки

5.4.1 Монтажная сварка

В качестве технологии монтажной сварки предпочтительнее использовать механизированную орбитальную дуговую сварку вольфрамовым электродом. Монтажная сварка не допускается без применения соответствующей защиты от атмосферных воздействий. Монтажная сварка не должна выполняться, когда скорость ветра превышает 5 км/ч.

Сварочное оборудование для механизированной дуговой сварки вольфрамовым электродом должно быть современным, полностью механизированным, использовать сварочную головку, генерирующую орбитальную импульсную дугу, и обеспечивать возможность регистрации всех параметров сварки. Система должна быть программируемой и проверенной ранее на трубопроводных системах с аналогичными размерами и материалами.

Если практическая возможность применения механизированной орбитальной дуговой сварки вольфрамовым электродом отсутствует, можно использовать ручную дуговую сварку вольфрамовым электродом для

корневого слоя и ручную дуговую сварку плавящимся электродом для заполняющего и облицовочных слоев шва.

5.4.2 Цеховая сварка

Технологии сварки должны выбираться в следующем порядке предпочтений:

- Ручная дуговая сварка вольфрамовым электродом для корневого слоя с механизированной дуговой сваркой под флюсом для заполняющего слоя - данная технология является предпочтительной и должны использоваться в максимально возможном объеме.

- Механизированная (орбитальная) дуговая сварка вольфрамовым электродом с роликовым электродом 1G или 5G.

- Ручная дуговая сварка вольфрамовым электродом для корневого шва и ручная дуговая сварка плавящимися электродами для заполняющего слоя.

Не допустимо использование дуговой сварки порошковой проволокой в защитном газе.

5.5 Ручная аргонодуговая сварка неплавящимся электродом корневого слоя шва, ручная дуговая сварка покрытыми электродами заполняющих и облицовочного слоёв шва при монтаже технологических толстостенных трубопроводов

5.5.1 Общие требования по подготовке, сборке и сварке

Настоящий стандарт регламентирует технологии дуговых сварок для выполнения стыковых, угловых соединений, соединений внахлест. Для таких соединений шов сварки должен быть многослойным, не иметь непроваров.

[18]

Перед сваркой закладывать присадки в разделанные кромки соединяемых частей запрещается.

«Операционно-технологические карты сварок по аттестованным технологиям, содержат требования к внешнему виду и геометрическим параметрам сварных швов, выполняемых односторонней и двухсторонней дуговой сваркой для поворотного и неповоротного положения» [18]. При этом:

а) выполнение первого (корневого) шва не должно иметь наличие дефектных включений в виде утяжин, провисов, непроваров, несплавлений. Пределы усиления обратного валика 0,5 - 3,0 мм;

б) «подварочный слой корневого слоя шва выполняется плавно к переходу на основной металл, не образуя подрезов по кромкам и шириной от 8,0 до 10,0 мм, с усилением 1,0 - 3,0 мм» [18];

в) «заполняющий и облицовочный слои шва должны быть выполнены одним или несколькими проходами» [18];

г) «в процессе создания заполняющего и облицовочного шва в любом последующем проходе валик должен перекрыть предшествующий от одной трети и более от ширины и необходимо соблюдение следующих условий» [18]:

- «усиление каждого валика облицовочного слоя шва не должно превышать 3,0 мм» [18];

- «усиление в каждой межваликовой канавке должно быть не менее 1,0 мм» [18];

- «глубина каждой межваликовой канавки должна быть не более 1,0 мм» [18];

д) «облицовочный слой шва выполняется плавно к переходу на основной металл, не образуя подрезов по кромкам, должен перекрыть основной металл в каждую сторону на 2,5 - 3,0 мм» [18];

е) облицовочный слой шва должен иметь геометрические параметры согласно требований ГОСТ 16037-80 и ГОСТ 5264-80;

ж) «проводят обработку шлифованием участков в облицовочном слое имеющих чешуйчатость, если гребень превышает впадину более чем на 1,0

мм; участков, имеющих превышение усиления шва более 3,0 мм; участков, не имеющих плавного перехода от усиления на основной металл» [18];

з) катет углового шва усиливающих накладок для прямой врезки (нахлесточное соединение) должен иметь значение не менее толщины стенки основной трубы;

и) зачищают шлифованием до устранения шлака и набрызгав металла около шовную зону в пределах 20 мм и наружную поверхность сварного шва. [18]

Требуется соответствие методов, объемов и норм оценивания качества сварных соединений разделу 12.3 ГОСТ 35269-2013 и настоящей инструкции.

Механические свойства сварных соединений должны определяться при производственной аттестации технологий сварки.

При выполнении работ должно использоваться комплектное оборудование регистрации параметров сварки в режиме реального времени. Оно должно быть в полном рабочем состоянии при сварке товарных стыков. В качестве оборудования контроля дуги должны использоваться блоки типа ALX (регистраторы дуги десятой модели производства «TVC Ltd.») или аналоги. Температуры подогрева и между проходами, последовательности проходов, напряжение, ток и скорость перемещения должны все регистрироваться при выполнении работ. При сборе данных должно контролироваться строгое соблюдение технических условий на сварочные процедуры.

Операционно-технологические карты определяют этапы подготовки, сборки, сварки соединений труб, труб с СДТ, ЗРА. Главный сварщик несет ответственность за их согласование и контроль работ по ним [18].

Устраняются шлифованием механические дефекты на внешней поверхности конца трубы, СДТ, если их размеры больше предельно допустимых по требованиям ТУ, ГОСТ. «Шероховатости на поверхности после шлифования не превышают R_z40 от толщины стенки конца трубы, СДТ не должны выходить за минимальные пределы допусков» [18].

«Если на свариваемых участках кромок труб имеются забоины глубиной до 5 мм, разрешается проводить ремонт этого дефекта с помощью сварки, затем проводить зачистку шлифованием до нужного угла скоса кромки. Перед ремонтом выполняется обязательный прогрев участка с дефектом до температуры не менее 177°С и соблюдается соответствие типа электрода классу прочности основного металла» [18].

«Концы труб с рисками, задирами, царапинами глубиной более минусового допуска на толщину стенки, забоинами глубиной более 5,0 мм, наружными дефектами (риски, задиры, царапины) глубиной более 5,0 % от номинальной толщины стенки, плавными вмятинами глубиной более 3,5 % от номинального диаметра труб, а также любыми вмятинами, исправлению не подлежат и должны быть отрезаны» [18].

После того, как вырезан дефектный участок из трубы, или при разрезании трубы для выявления вероятного расслоения, проводится ультразвуковое исследование периметра участка шириной 40 мм и более от разреза. При выявлении расслоения отрезается торец трубы 300 мм и более и проводится повторное ультразвуковое исследование [20].

Применение процесса шлифовки разрешено при расточных операциях внутри трубы [18].

Соответствие геометрических параметров торцов труб, СДТ, ЗРА, имеющих заводскую разделку кромок, или обработку механическими способами должно соответствовать настоящему стандарту, ГОСТ 14771-76, ГОСТ 5264-80 и операционным технологическим картам сборки и сварки. Используются универсальные шаблоны типа УШС для контроля размеров подготовленных кромок труб под сварку.

До процесса сборки очищается полость внутри труб, СДТ и ЗРА от попавших загрязнений. Не допускается нарушать гладкостенное внутреннее покрытие при выполнении очищения.

«Зачищаются шлифованием кромки и поверхности соединений, прилегающие к кромкам, снаружи и внутри шириной 20 мм и более» [18]

Производят удаление шлифованием усиления заводских швов на наружной поверхности трубы, оставляя 0,5 – 1 мм в пределах 15 – 20 мм от торца трубы.

«Применяются специальные наружные центраторы для сборки прямых вставок, соединения трубы с патрубками, труб с СДТ, ЗРА» [18]. Центраторы могут быть ручные многозвеньевые, с гидромеханическим приводом, корректоры-центраторы.

На наружных или внутренних поверхностях свариваемого соединения не должно оставаться загрязнений или дефектных включений от применения наружных центраторов.[18]

«Приводятся требования геометрических параметров разделок кромки и сборки стыкового и углового сварного соединения труб, труб с СДТ, ЗРА в разделе технологий сварки данного стандарта» [18]

«Допустимо смещение кромок в сборке стыкового соединения:

- наружное смещение стыкуемых кромок с номинальной толщиной стенки не должно превышать 20 % толщины стенки, но не более 3,0 мм» [18]

«Измеряют величину смещения кромок при сборке с помощью универсального шаблона типа УШС по наружной поверхности или специальным шаблоном по внутренней поверхности свариваемых элементов» [18].

«При сборке заводские швы свариваемых труб, СДТ, ЗРА рекомендуется располагать в верхней половине периметра, при этом их следует смещать друг относительно друга на расстояние не менее 75 мм» [18].

«Запрещено использование ударного инструмента для установки требуемых значений зазора, смещения кромок в сборке соединений труб, труб с СДТ, ЗРА с использованием центратора» [18].

Участки в начале и в конце прихватки обрабатывают шлифованием для обеспечения плавности перехода к корневому слою шва.

До процесса сварки (и прихваток) обязателен прогрев свариваемых кромок, а также примыкающих участков.

Возбуждать сварочную дугу необходимо лишь на кромочной поверхности соединяемых частей. Запрещено зажигание дуги на поверхности металла трубы, СДТ и ЗРА.

«Зачищаются шлифованием дисковой проволочной щеткой трубы внутри для осуществления визуального и измерительного контроля сварочных соединений труб DN (D_y) 1000 и более» [18].

«Провариваются по внутреннему периметру трубы, имеющие разную толщину для соединений труб с СДТ, ЗРА DN (D_y) 1000 и более» [18].

«На определение числа слоев сварного шва, проходов (валиков) для каждого слоя сварного шва в многопроходной (многоваликовой) сварке оказывает влияние толщина кромок труб, СДТ, ЗРА, выбор способов сварки, параметры процесса сварки, режимы сварки. Эти данные указываются технологической картой сварки и сборки» [18].

«Очищаются от шлаков и набрызгов металла каждый слой шва и валик до наложения следующего слоя в многослойной сварке. Наложение некоторых слоев и валиков необходимо производить на замыкающих участках швов со смещением в 20 – 30 мм друг от друга» [18].

Возобновление сварки после замены электрода или в случае обрыва дуги следует производить, отойдя на 15-20 мм назад с обязательной очисткой этого места от шлаков и окалин.

Проведение внешнего контролирующего осмотра для выявления дефектов в сварном шве должно выполняться на каждой операции. Найденные дефекты должны быть устранены. За проведение внешнего контролирующего осмотра несет ответственность непосредственный руководитель сварочных работ (мастер, прораб), который должен иметь второй уровень и выше профессиональной подготовки в соответствии с ПБ 03-273-99 [4].

Проводят очищение от шлаков каждого слоя швов и свариваемых кромок. По окончании сварочных работ проводят зачистку шлифованием от шлаков и набрызгав металла облицовочного слоя и прилегающей поверхности трубы в пределах 20 мм и более.

Выполнение специальных соединений прямой вставки (катушка), соединений труб разной толщины, ремонтных сварных соединений проводится одним циклом до окончания работ, не используя перерывы. При выполнении стыкового соединения, при возникновении необходимости во временном перерыве, работу необходимо выполнить со следующими требованиями:

- «соединение выполняется на 2/3 и более от толщины стенок;
- неоконченное соединение накрывается влагостойким и теплоизоляционным поясом, обеспечивающего равномерность и медленность остывания;
- соединение необходимо полностью завершить за 24 часа после окончания сварки» [18].

Температура между проходами не должна превышать 315 °С.

Сварка корневого прохода не должна прерываться.

Окончание сварки следует выполнить при метеорологических осадках или/и при температуре менее +5°С. Свариваемые соединения накрывают влагостойким и теплоизоляционным покрытием до полного остывания. Рядом со сварочным швом влагостойкой краской наносится клеймо сварщика или бригады сварщиков, или операторов.

5.5.2 Предварительный, сопутствующий (межслойный) подогрев

Предварительное, сопутствующее (межслойное) подогревание кромок сварных соединений необходимо проводить установками индукционного нагрева.

Работники, проводящие сварочные работы подбирает правильное оборудование, которое понадобится для подогрева. Свариваемые соединения

должны быть прогреты по толщине стенки по 75 см в каждую сторону от места сварки [18].

Подогрев требуется для всех трубопроводов. Минимальная температура подогрева независимо от толщины составляет 177 °С для всех сварных швов. Подогрев должен поддерживаться до завершения сварного шва.

Подогрев не должен нарушать целостность изоляции.

5.5.3 Ручная аргодуговая сварка неплавящимся электродом корневого и первого заполняющего слоев шва

Выполнение прихваток собираемых стыков осуществляют ручной аргодуговой сваркой симметрично по окружности стыка трубопровода.

«Для выполнения прихваток используется присадочная проволока той же марки, что в сварке корневого шва. Качество прихваток должно обладать соответствующим качеством самого сварного соединения. Дефекты удаляются абразивным инструментом [18].

Стыки на технологических трубопроводах свариваются с поворотным и неповоротным исполнением.

Направление и порядок сварки корневого слоя вертикального и горизонтального неповоротного стыка должен соответствовать рис.5.2.

Сварку следует вести обратноступенчатым способом. [31]

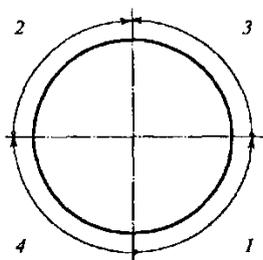


Рисунок 5.2 - Порядок сварки корневого слоя шва неповоротного стыка

1 - 4 - последовательность наложения швов при сварке стыка

Двумя сварщиками одновременно проводится сварка стыков трубопроводов. Для поддержания необходимой температуры возможна попеременная работа. Наложение первого валика шва и всех последующих проводится согласно рисунку 5.3 [18].

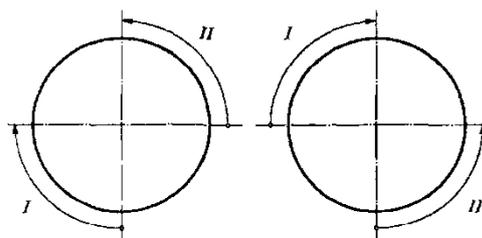


Рисунок 5.3 - Порядок наложения корневого слоя шва при сварке вертикального неповоротного стыка двумя сварщиками

I - первый сварщик; II - второй сварщик;

Сварку горизонтальных стыков следует производить в соответствии с рис.5.4.

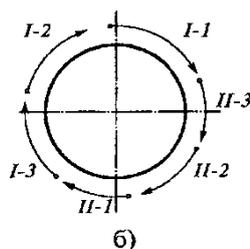


Рисунок 5.4 - Порядок наложения корневого шва горизонтального стыка при сварке двумя сварщиками

«I - первый сварщик; II - второй сварщик; 1, 2, 3 - последовательность выполнения сварки первым и вторым сварщиками» [18].

«Ручная аргодуговая сварка должна выполняться при самой короткой дуге. Длина дуги составляет от 1 до 2 мм, ток постоянный с прямой полярностью» [31].

5.5.4 Ручная дуговая сварка электродами с основным видом покрытия заполняющих и облицовочного слоев шва

Рекомендовано сварку всех слоев шва неповоротного кольцевого соединения трубы диаметром 426 мм проводить ручной дуговой сваркой с основным видом покрытий электродов.

Сварочные устройства должны обладать требуемыми эксплуатационными свойствами [31].

В таблице 5.5. перечислены «рекомендованные режимы ручной дуговой сварки электродами с основным видом покрытия на подъем» [31].

Таблица 5.5 - Рекомендуемые режимы ручной дуговой сварки электродами с основным видом покрытия на подъем

Слои шва	Диаметр электрода, мм	Сварочный ток (А) в положении при сварке		
		нижнее	вертикальное	потолочное
Заполняющие: - первый - последующие	3,0-3,25	90-120	90-110	80-110
	4,0	130-180	110-170	110-150
	5,0	160-240	150-200	150-200
Облицовочные	4,0	130-180	110-170	110-150

Сварка вертикального неповоротного стыка должна выполняться снизу вверх в соответствии с рис. 5.5.

5.4.6 Сварку последующих слоев в потолочной части стыка следует начинать, отступив на 20 - 25 мм от нижней точки, в соответствии с рис. 5.5.

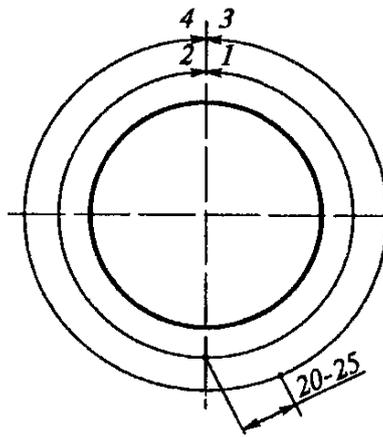


Рисунок 5.5 - Порядок сварки неповоротного стыка труб

1 - 4 - порядок наложения слоев

Использование двух сварщиков в сварке вертикального неповоротного стыка порядок наложения валиков должен соответствовать рис. 5.6.[32]

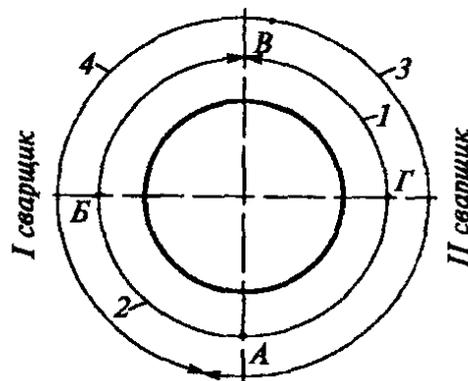


Рисунок 5.6 - Порядок наложения слоев шва при сварке вертикального неповоротного стыка труб двумя сварщиками.

1 - 5 - порядок наложения слоев

Сварку горизонтальных стыков трубопроводов двумя сварщиками необходимо выполнять обратноступенчатым способом участками 150 -200 мм.

5.6 Термическая обработка сварных соединений

Данный раздел и нормативные документы по термической обработке определяют «порядок проведения работ, выбор оборудования и режимов термообработки, требования к персоналу» [32].

Высокий отпуск это один из видов термообработки сварного соединения, выполненного дуговым способом сварки. Режимы термообработки приведены в таблице 5.5.

Проведение термообработки возможно при положительных результатах контроля качества сварного соединения.

По завершению термической обработки сварного соединения проводится неразрушающий метод контроля качества ультразвуком, контролируют твердость шва и ЗТВ.

Таблица 5.5 - Режимы термообработки сварных соединений трубопроводов

Стали	Режимы термообработки				Условия охлаждения
	Температура нагрева, $T_H, ^\circ\text{C}$	Скорость нагрева $V_H, ^\circ\text{C}/\text{ч}$	Выдержка $t_B, \text{мин}$	Скорость охлаждения $V_{охл.}, ^\circ\text{C}/\text{ч}$	

10X2M (ASTM A182 F22)	$690 \pm 10^{\circ}\text{C}$	222°C/ч	Не менее 300 мин.	55°C/ч	До 400°C под слоем теплоизоляции, далее в неподвижном воздухе до температуры окружающего воздуха
-----------------------------	------------------------------	-------------------------	----------------------	------------------------	--

Перепад температуры должен быть таким, чтобы длина материала на каждой стороне сварного шва при температуре, равной половине температуры термообработки ($345 \pm 10^{\circ}\text{C}$), была не менее $2,5rt^{1/2}$, где r - внутренний радиус трубы, а t - толщина трубы у сварного шва (рис. 5.7).

Термопары должны устанавливаться в соответствующих местах вокруг зоны нагрева для регистрации температур на краю нагреваемой полосы. Термопары должны находиться в металлическом контакте с трубой и крепиться подходящим способом (например, методом конденсаторного разряда).

Должны использоваться многоканальные регистрирующие приборы с распечаткой. Графики должны быть обозначены с указанием конкретных сварных швов и дат.

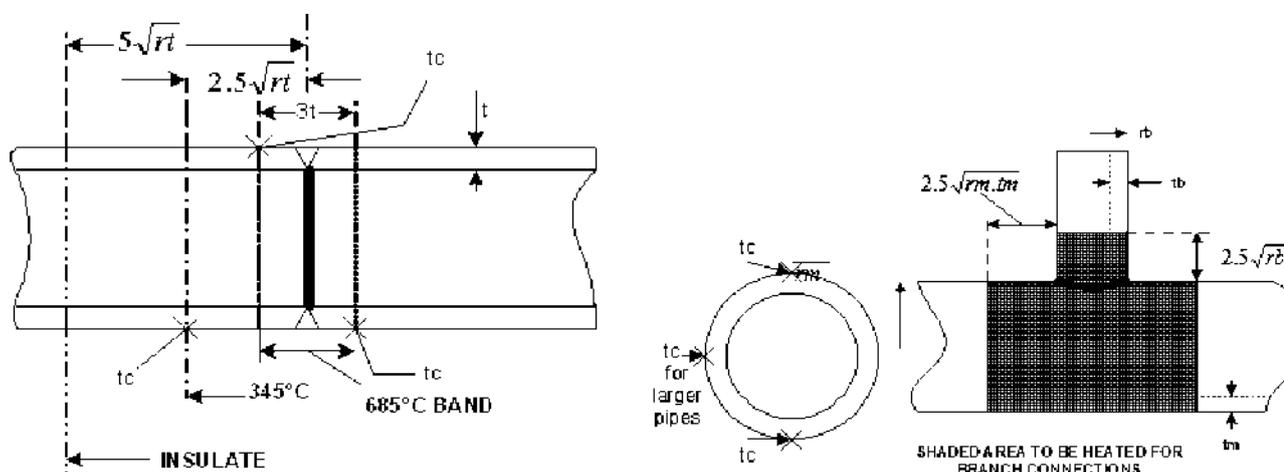


Рисунок 5.7 – Схема расположения термопар и выполнения термообработки

5.7 Контроль качества сварных соединений

Проведение неразрушающего контроля качества соединений (физический, визуальный и измерительный методы контроля), свариваемых технологических трубопроводов основного назначения осуществляется сотрудниками лаборатории (группы) контроля качества. Лаборатория должна иметь аттестацию в соответствии с ПБ 03-372-00

«К проведению неразрушающего контроля могут допускаться только сотрудники, имеющие аттестацию, прошедшие обучение, а также квалификационные испытания и получившие удостоверения установленной формы согласно ПБ 03-440-02» [7]

Для контроля применяются технологические карты, подготовленными сертифицированными специалистами организации.

Лаборатории, проводящие контроль качества сварных соединений, порядок его проведения, методики, объем контроля, нормы оценивания качества обязаны соответствовать требованиям ГОСТ 32569-2013.

Все сварные швы подлежат 100% объемному контролю и поверхностной дефектоскопии. Угловые сварные швы подлежат 100% визуальному осмотру и магнитопорошковому контролю.

Объемный контроль сварных швов толщиной более 20 мм должен осуществляться с использованием утвержденной с заказчиком процедуры автоматической дифракции времени пролета (ДВП) и автоматического ультразвукового контроля на поперечных волнах (УЗКПВ) с исследованием внутреннего и наружного диаметра. ДВП сама по себе не допускается. Угол акустических приемников волны сдвига должен быть достаточным для обеспечения обнаружения дефектов в зонах рядом с поверхностью корневого

и верхнего слоя шва. Эхо-импульсный контроль и ДВП должны проводиться одновременно. Допускается использование нескольких сканеров в зависимости от диаметра и толщины трубы. Ручной эхоимпульсный метод должен использоваться для определения размера любого признака дефекта, обнаруженного в первой четверти толщины ($t/4$), и любого признака дефекта, обнаруженного по каналам эхо-импульсного контроля наружного диаметра (верхнего слоя сварного шва) автоматической системы УЗК.[20]

Данный метод должен использоваться только для обнаружения нарушений непрерывности. Все потенциально неприемлемые нарушения непрерывности должны быть подтверждены и определены по размеру с помощью ручного УЗК. Для определения размеров признаков дефектов от первой четверти толщины ($t/4$) вплоть до поперечной волны может использоваться ДВП. Признаки дефектов, размер которых был определен с помощью ДВП, должны быть отсканированы параллельным способом для определения любой возможной взаимосвязи между дефектами и вертикальной плоскости, в которой расположен дефект.

Автоматическая ультразвуковая система эхо-импульсного контроля должна быть настроена надлежащим образом для обнаружения нарушений непрерывности в пределах 3 мм от края сварного шва на участках корневого и верхнего слоя.

Процедуры радиографического контроля должны соответствовать требованиям ASME, раздел V, статьи 2 и 22. Должна использоваться пленка типа 1 (№ SE-1815, коммерческий тип D4).

Для толщины стенки более 20 мм участки корневого слоя сварного шва должны быть дополнительно просканированы ручным УЗК с использованием эталона с квадратным надрезом 0,5 мм.

Сварные швы, не имеющие доступа для автоматической ДВП, должны подвергаться ручному УЗК.

Сканирование должно проводиться на 100% объема сварного шва и ЗТВ. Должны использоваться, как минимум, 2 наклонных преобразователя.

Использование преобразователей с наклоном, отличающимся от 45°, 60° и 70°, допускается, если при этом может быть продемонстрирована повышенная чувствительность. Все сварные швы по возможности должны контролироваться с 2 сторон. Предпочтительнее использовать преобразователи 4-5 МГц. Использование других частот допускается, если продемонстрировано, что при этом может быть получена требуемая чувствительность.[20]

Сканирование без наклона должно проводиться до сканирования наклонным преобразователем. Любые участки, обнаруженные сканированием без наклона, которые будут ограничивать сканирование наклонным преобразователем, должны быть отмечены в отчете УЗК.

Для сварных швов, имеющих ограниченный доступ или допускающих сканирование только с одной стороны из-за геометрических ограничений, например, фитинга, требуется удаление верхушки сварного шва. Сканирование сварного шва будет осуществляться в 2 направлениях наклонными преобразователями. Кроме этого, также будет осуществляться сканирование объема сварного шва и ЗТВ без наклона.

Сварной шов должен быть отбракован, если он содержит несплавления, трещины или непровары.

5.8 Требования к безопасности при проведении сварочных работ

Выполняя все виды работ по сварке, сборке, подогрева, термообработке необходимо строгое соблюдение требований ГОСТ 12.3.003-86 по безопасности, производственной санитарии.

«Организациями, выполняющими сварочные работы, должны разрабатываться и утверждаться по установленному порядку инструкции по ТБ и производственной санитарии» [18].

Сварщики допускаются к технологическим процессам только при наличии документа, удостоверяющими их знания в этой области, проведенного контроля их знаний, инструктажа по ТБ. Проведенный

инструктаж фиксируется в специальном журнале. Повторный инструктаж проводится через месяц. Сварщику выдается памятка по ТБ [18].

При расположении рабочего места выше уровня земли (пола) на 1 метр и более, оно в обязательном порядке ограждается. Рабочих обеспечивают страховочными поясами в случае неоправданного применения ограждающих устройств. Место для крепления карабинов страховочных поясов предварительно определяет мастер или руководитель работ, и оно должно быть окрашено в яркий цвет.

Для ограждения территории монтажных сварочных работ на трубопроводах используют ширмы, стальные или фанерные щиты (фанера обрабатывается огнестойким составом), занавеси из асбестового полотна, брезента. Высота ограждения 1,8 метров и более, должна иметь окраску желтого, серого, голубого цвета, тон матовый.

Для защиты сварщиков, работающих вместе на разной высоте одного вертикального направления, от брызг жидкого металла должны устанавливаться щиты и козырьки.

Монтажную площадку обеспечивают плакатами предупреждающего характера – вероятное получение ожогов глаз и кожного покрова.

При проведении процесса сварки внутри трубопровода с использованием напряжения на холостом ходу выше 42В, необходимо оснащение электросварочных установок автоматическими устройствами отключения напряжения холостого хода и имеющие временную выдержку не более 1 с.

Электросварщик, проводящий высотные работы, должен обеспечиваться пеналом или сумкой для электродов, несгораемой тарой для огарков электродов.

Заключение

В результате проведенных анализа исследований механических свойств стали 10X2М после длительной эксплуатации, проведенных Белоярской атомной электростанцией, мы пришли к выводу, что данная сталь актуальна для применения в нефтегазовой отрасли.

Изучив ряд нормативных документов, Российских и зарубежных стандартов по сварке технологических трубопроводов и, проанализировав особенности сварки стали 10X2М, мы разработали проект рекомендаций по сварке, контролю качества и термообработке сварных соединений технологического трубопровода из стали 10X2М диаметром от 426 мм и толщиной стенки свыше 54 мм до 86 мм включительно.

Список используемых источников

1. Порядок применения сварочных материалов при изготовлении, монтаже, ремонте и реконструкции технических устройств для опасных производственных объектов [Текст]: РД 03-613-03 – 2003 : утвержден постановлением №101 Госгортехнадзора России 19.06.03г. – М : НАКС, 2003. - 3-92 с.
2. Порядок применения сварочного оборудования при изготовлении, монтаже, ремонте и реконструкции технических устройств для опасных производственных объектов [Текст]: РД 03-614-03 – 2003 : утвержден постановлением № 102 Госгортехнадзора России от 19.06.03г. – М: НАКС, 2003. – 5-35с.
3. Порядок применения сварочных технологий при изготовлении, монтаже, ремонте и реконструкции технических устройств для опасных производственных объектов [Текст]: РД 03-615-03 – 2003 : утвержден постановлением №103 Госгортехнадзора России от 19.06.03 г. - М: НАКС, 2003. – 48с.
4. Правила аттестации сварщиков и специалистов сварочного производства [Текст]: ПБ 03-273-99 : утв. Госгортехнадзором России 30.10.02 г. – М. : Гостехнадзор, 1999. – 25-52с.
5. Технологический регламент проведения аттестации сварщиков и специалистов сварочного производства [Текст]: РД 03-495-02 – 2002 : утвержден постановлением №36 Госгортехнадзора России от 25.06.02 г. - М: НАКС, 2002. – 55с.
6. Правила аттестации и основные требования к лабораториям неразрушающего контроля [Текст]: ПБ 03-372-00 : утверждены постановлением №29 Госгортехнадзора России от 02.06.00 г. - М. : Гостехнадзор, 2000. - 52с.

7. Правила аттестации персонала в области неразрушающего контроля [Текст] : ПБ 03-440-02 - утверждены постановлением №3 Госгортехнадзора России от 23.01.02 г. – М. : Гостехнадзор, 2002. – 29с.
8. Инструкция по визуальному и измерительному контролю [Текст] : РД 03-606-03 - утверждена постановлением № 92 Госгортехнадзора России от 11.06.03 г. - М : НАКС, 2003. - 92 с.
9. Электроды покрытые для дуговой сварки углеродистых сталей [Текст] : AWS A 5.1-91 - Specification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding – 20-108с.
10. ГОСТ 6996-66 . Сварные соединения. Методы определения механических свойств [Текст]: М. : Госстандарт России : Изд-во стандартов, 1980.- 2-27с.
11. ГОСТ 7512-82. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод [Текст] : М. : Госстандарт России : Изд-во стандартов, 1982.- 22с.
12. ГОСТ 9940-81. Трубы бесшовные горячедеформированные из коррозионно-стойкой стали. Технические условия [Текст] : М. : Госстандарт России : Изд-во стандартов, 1981.- 36с
13. ГОСТ 9941-81. Трубы бесшовные холодно- и теплодеформированные из коррозионно-стойкой стали. Технические условия [Текст] : М. : Госстандарт России : Изд-во стандартов, 1981.- 36с
14. ГОСТ 52079-2003. Трубы стальные для магистральных трубопроводов, нефтепроводов и нефтепродуктопроводов. Технические условия [Текст] : М. : Госстандарт России : Изд-во стандартов, 2003.- 33с
15. ГОСТ 9467-75. Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей. Типы [Текст] : М. : Госстандарт России : Изд-во стандартов, 1975.- 2-42с
16. ГОСТ 16037-80. Соединения сварные стальных трубопроводов. Основные типы, конструктивные элементы и размеры [Текст] : М. :

Госстандарт России : Изд-во стандартов, 1980.- 15с.

17. ГОСТ 5264-80. Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры [Текст] : М. : Госстандарт России : Изд-во стандартов, 1980.- 12с

18. ГОСТ 32569-2013. Трубопроводы технологические стальные. Требования к устройству и эксплуатации на взрывопожароопасных и химически опасных производствах [Текст] : М. : Госстандарт России : Изд-во стандартов, 2013.- 3-79с

19. ASME B31.3 Process Piping Guide: Engineering Standards Manual PD342, 2002.- 3-383с.

20. NACE MR0175/ISO 15156-2 Petroleum and natural gas industries— Materials for use in H₂S-containing Environments in oil and gas production: International standard, 2001. – 5-149с.

21. Harvey R. Castner. Gas metal arc welding using pulsed fume generation current. WELDING RESEARCH SUPPLEMENT. – February, 1995. – P. 59–68.

22. Winifred G. Palmer, James C. Eaton. Effects of welding on health, XIII // American Welding Society. – 2007. – International Standard Book Number: 978-0-87171-067-3.

23. James M. Antonini. Health effects of welding // Critical reviews in toxicology. – 2003. – 33(1). – P. 61–103.

24. Егоров А.Г. Правила оформления выпускных квалификационных работ по программам подготовки бакалавра и специалиста [Текст] учеб. метод. пособие / А.Г. Егоров, В.Г. Виткалов, Г.Н. Уполовникова, И.А. Живоглядова – Тольятти, 2012, - 3-35с.

25. Петров Г.Л., Теория сварочных процессов (с основами физической химии)[Текст] / Петров Г.Л., Тумарев А.С. Учебник для вузов. М., Высшая школа, 1977. 392 с.

26. Марочник сталей и сплавов [Электронный ресурс] –Режим доступа: http://www.splav-kharkov.com/choose_type.php - для доступа к

информационным ресурсам авторизация не требуется. Дата обращения 11.09.2017.

27. Арзамасов Б.Н. Материаловедение. Учебник для высших учебных заведений [Текст] / Арзамасов Б.Н., Сидорин И.И., Косолапов Г.Ф.; 2-е изд., испр. и доп.-М.Машиностроение, 1986,-256-384с., ил.

28. Зубченко А.С Марочник сталей сплавов [Текст] / Зубченко А.С Колосков М.М. – М., Машиностроение, 2003.-136-780с.

29. ОКБ «Гидропресс» [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://www.gidropress.podolsk.ru/files/proceedings/kms2012/autorun/article4-4-ru.htm> для доступа к информационным ресурсам авторизация не требуется. Дата обращения с 1.10.2017 по 11.11.2017.

30. ГОСТ 14771-76. Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры [Текст] : М. : Госстандарт России : Изд-во стандартов, 1976.- 12с

31. ОСТ 36-57-81. Трубопроводы стальные технологические из углеродистых и легированных сталей на давление p_y до 9,81 мпа (100 кгс/см²). Ручная аргонодуговая сварка. Типовой технологический процесс [Текст] : М. : Госстандарт России : Изд-во стандартов, 1982.- 2-35с

32. ОСТ 36-39-80. Трубопроводы стальные технологические на давление p_y до 9,81 мпа (100 кгс/см²). Ручная дуговая сварка покрытыми металлическими электродами. Типовой технологический процесс [Текст] : М. : Госстандарт России : Изд-во стандартов, 1980.- 3-24с