Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(национальный исследовательский университет)
Факультет Материаловедения и металлургических технологий
Кафедра «Оборудование и технологии сварочного производства»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
_____ / Иванов М.А./
« 7 » июня 2016 г.

Модернизация технологии сборки и сварки корпуса теплообменника на ФГУП „ПСЗ"

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ–150700.2016.132. 00 ПЗ ВКР

Руководитель работы
Айметов Ф.Г. /
« 3 » 06 2016 г.

Автор работы
студент группы МиМТ - 485
Токарева Д.А.
« 03 » июня 2016 г.

Нормоконтролер
Безганс Ю.В. /
« 07 » 06 2016 г.

Челябинск, 2016

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Факультет материаловедения и металлургических технологий
Кафедра оборудования и технологии сварочного производства
Направление подготовки бакалавра 150700 «Машиностроение»
Профиль «Сварка, родственные процессы и технологии»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ М.А. Иванов
«18» 02 2016 г.

ЗАДАНИЕ
на выпускную квалификационную работу студента
Токарева Дарья Александровна
фамилия, имя, отчество полностью

Группа МиМТ-485

1 Тема работы Модернизация технологии сборки и сварки корпуса теплообменника на ФГУП „ПСЗ"

тверждена приказом по университету от «15» 04 2016 г. № 661.

2 Срок сдачи студентом законченной работы 7.06.2016г

3 Исходные данные к работе
Материалы полученные при прохождении практики:
Рабочие чертежи,
Материал прежние.

4 Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов)

Анализ и совершенствование конструкции изделия;
Анализ базового технологического процесса сварки корпуса теплообменника;
Технологический процесс сборки и сварки корпуса теплообменника;
Конструкторский раздел;
Исследовательская часть.

5 Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей, плакатов в листах формата А1)

Сборочный чертеж сборочных деталей ф.А1
Чертеж приспособления для сварки ф.А1
Плакат режимы сварки ф.А1
Плакат операционный ф.А1
Плакат контроль качества ф.А1
Планировка участка ф.А1

Всего 6 листов

6 Консультанты по работе, с указанием относящихся к ним разделов работы

Раздел	Консультант	Подпись, дата	
		Задание выдал (консультант)	Задание принял (студент)
Расчет режима сварки	Зайцев Н.Л.	18.02.2016	18.02.2016
Контроль качества сварных соединений	Безганс Ю.В.	18.02.2016	18.02.2016

7 Дата выдачи задания 18.02.2016

Руководитель Ёнасов Ф.Г. (И.О.Ф.) (подпись)

Задание принял к исполнению (подпись студента)

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Наименование этапов выпускной квалификационной работы	Срок выполнения этапов работы	Отм. о вып. (руко.
Анализ и совершенствование конструкции изделия	9.03.2016	
Технологический раздел	24.03.2016	
Расчет режима сварки	7.04.2016	
Выбор и обоснование технологического оборудования	21.04.2016	
Контроль качества	29.05.2016	
Исследовательская часть	30.05.2016	

Заведующий кафедрой _____ М.А. Иванов
И.О. Фамилия

Руководитель работы _____ Витов Ф.Р.
И.О. Фамилия

Студент _____ Лукарева Д.А.
И.О. Фамилия

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……5
1 АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ ИЗДЕЛИЯ
1.1 Описание изделия……...…7
1.2 Материал изделия и его свариваемость……...….8
1.2.1 Оценка свариваемости стали……...….8
2 АНАЛИЗ БАЗОВОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ КОРПУСА ТЕПЛООБМЕННИКА
2.1 Базовый вариант технологического процесса……11
2.2 Проектируемый вариант технологического процесса……...11
3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС СВАРКИ КОРПУСА ТЕПЛООБМЕННИКА
3.1 Выбор способа сварки……...12
3.2 Расчет режимов сварки…….....13
3.3 Выбор сварочных материалов……..13
3.3.1 Выбор защитного газа ……..14
3.3.2 Выбор сварочной проволоки……...15
3.3.3 Выбор оборудования для автоматической сварки……16
3.3.4 Выбор сварочной головки……...18
3.3.5 Выбор приспособлений для сварки……18
3.4 Источник питания…….....20
3.5 Контроль качества…….....22
4 КОНСТРУКИОННЫЙ РАЗДЕЛ……38
5 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ……39
ЗАКЛЮЧЕНИЕ……46
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК……43
ПРИЛОЖЕНИЯ
Приложение А ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА…….....45

ВВЕДЕНИЕ

Бурное развитие промышленности, неразрывно связанное с научно-технической революцией второй половины 20 века, привело к появлению новых и совершенствованию уже существующих систем и установок для преобразования первичных энергоресурсов в требуемые для населения формы энергии, а также распределения и передачи этой энергии от источников ее производства до объектов использования. Теплота низкого и среднего потенциала и электроэнергия – это наиболее широко используемые формы энергии. Практически любое производство связано с процессами выделения или поглощения тепловой энергии. Поэтому от вида и конструкции теплообменников (аппаратов для передачи тепла от греющей среды (теплоносителя) к нагреваемой среде) зависит производительность и работоспособность оборудования в самых различных сферах человеческой деятельности: металлургической, химической, пищевой и других отраслях промышленности, работа бытовых кондиционеров и обогревателей, радиаторов охлаждения в автомобилях и т. д.

Высокая стоимость энергетических ресурсов привела к необходимости создания энергосберегающих технологий, позволяющих не только рационально и с максимальной эффективностью использовать существующие ресурсы, но и сохранять окружающую среду. Замена устаревшего теплотехнического оборудования, в частности секционных кожухотрубных подогревателей, является на сегодняшний день назревшей проблемой. Эффективность, надежность, экономичность и простота обслуживания – основные критерии, которым должны отвечать современные теплообменники.

Теплообменник – это устройство для передачи тепловой энергии от одного теплоносителя к другому. В качестве теплоносителя могут быть использованы газообразные, жидкие или парожидкостные среды. В зависимости от назначения теплообменные аппараты используют как нагреватели, охладители, испарители и конденсаторы. Теплообменники применяются в технологических процессах различных отраслей промышленности.

При проектировании и конструировании теплообменных аппаратов необходимо в максимально возможной степени удовлетворить многосторонние и часто противоречивые требования, предъявляемые к теплообменникам.

Основные из них:

- соблюдение условий протекания технологического процесса;
- возможно более высокий коэффициент теплопередачи; низкое гидравлическое сопротивление аппарата;
- устойчивость теплообменных поверхностей против коррозии;
- доступность поверхности теплопередачи для чистки;
- технологичность конструкции с точки зрения ее изготовления;
- экономное использование материалов.

Теплообменные аппараты подразделяются в зависимости от формы поверхности, вида теплоносителей, способа передачи теплоты. По способу передачи теплоты их можно классифицировать на поверхностные (рекуперативные), смесительные (контактные) и регенеративные.

Поверхностные теплообменники представляют собой наиболее значительную и важную группу теплообменных аппаратов, используемых в настоящее время в различных отраслях промышленности.

В поверхностных теплообменниках теплоносители разделены стенкой, через которую происходит передача теплоты. Поверхности теплообмена в таких аппаратах могут формироваться из труб (кожухотрубчатые теплообменники) или плоских металлических листов (пластинчатые и спиральные теплообменники).

В смесительных (контактных) теплообменниках теплообмен происходит при непосредственном соприкосновении теплоносителей. Примером таких теплообменников являются градирни.

В регенеративных теплообменниках процесс переноса теплоты от горячего теплоносителя к холодному, разделяются во времени на два периода, и происходит при попеременном нагревании и охлаждении насадки. Теплообменники этого типа часто применяют для регенерации теплоты отходящих газов.

1 АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ ИЗДЕЛИЯ

1.1 Описание изделия

Данное изделие представляет корпус теплообменника (рисунок 1). Материал - нержавеющая сталь 12Х18Н10Т. Давление в корпусе 0,6 Мпа, рабочая среда в корпусе - аргон.

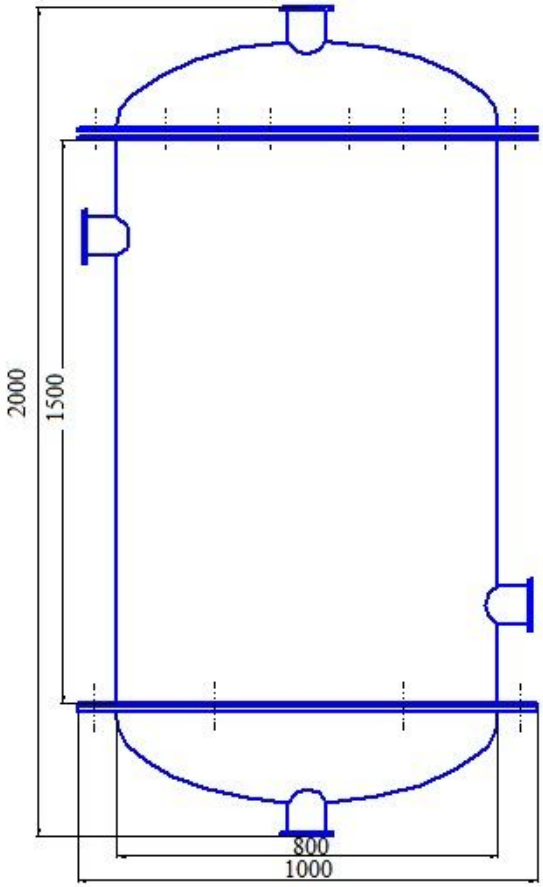

Рисунок 1.1 – Корпус теплообменника

Таблица 1.1 – Сведения об основных элементах сосуда

В миллиметрах

п/п	Наименование частей	Размеры, мм			Марка стали	Способ изготовления
		ø внутр	Толщина стенки	Длина,		
1	Обечайка	800	6	1500	12Х18Н10Т	Аргонно-дуговая сварка
2	Днище	800	8	488		
3	Днище	800	8	488		
4	Фланец (4 шт)	1000	6	6		

1.2 Материал изделия и его свариваемость

Сталь 12Х18Н10Т – это сталь высоколегированая, коррозионно-стойкая, обыкновенная. Характеристика стали приведена в табл. 1.2, 1.3.

Таблица 1.2 – Химический состав стали 12Х18Н10Т

В процентах

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	Прочее
до 0,12	до 0,8	до 2	9-11	до 0,02	до 0,035	17-19	до 0,3	(5 C - 0.8) Ti, остальное Fe

Таблица 1.3 – Механические свойства стали при T=20°C 12Х18Н10Т

σ_B	σ_T	$\delta 5$	ψ	KCU	Термообр.
МПа	МПа	%	%	кДж/м^2	
510	196	35	40		Закалка 1000-1100 °C, вода

Обозначения

σ_B – Предел кратковременной прочности, МПа

σ_T – Предел текучести для остаточной деформации, МПа

$\delta 5$ – Относительное удлинение при разрыве, %

Ψ – Относительное сужение, %

KCU – Ударная вязкость, кДж/м^2

1.2.1 Оценка свариваемости стали 12Х18Н10Т

Сталь 12Х18Н10Т относится к хорошо свариваемым. Характерной особенностью сварки этой стали является возникновение межкристаллитной коррозии. Она развивается в зоне термического влияния при температуре 500-800°C. При пребы-

вании металла в таком критическом интервале температур по границам зерен аустенита выпадают карбиды хрома. Все это может иметь опасные последствия - хрупкие разрушения конструкции в процессе эксплуатации.

Чтобы добиться стойкости стали нужно исключить или ослабить эффект выпадения карбидов и стабилизировать свойства стали в месте сварного шва.

При сварке высоколегированных сталей используют электроды с защитно-легирующим покрытием основного вида в сочетании с высоколегированным электродным стержнем. Применение электродов с покрытием основного вида позволяет обеспечить формирование наплавленного металла необходимого химического состава, а также других свойств путём использования высоколегированной электродной проволоки и долегирования через покрытие.

Сочетание легирования через электродную проволоку и покрытие позволяет обеспечить не только гарантированный химический состав в пределах паспортных данных, но и некоторые другие свойства, предназначенные для сварки аустенитных сталей 12Х18Н10Т, 12Х18Н9Т, 12Х18Н12Т и им подобных.

Содержащийся в электродных стержнях титан при сварке практически полностью окисляется. По этой причине при сварке покрытыми электродами в качестве элемента-стабилизатора используют ниобий. Коэффициент перехода ниобия из стержня при сварке покрытыми электродами составляет 60-65%.

Сварку высоколегированных сталей для снижения вероятности формирования структуры перегрева, как правило, выполняют на режимах, характеризующихся малой величиной погонной энергии. При этом предпочтение отдают швам малого сечения, получаемым при использовании электродной проволоки небольшого диаметра (2-3мм). Поскольку высоколегированные стали обладают повышенным электросопротивлением и пониженной электропроводностью, то при сварке вылет электрода из высоколегированной стали уменьшают в 1,5-2 раза по сравнению с вылетом электрода из углеродистой стали.

При дуговой сварке в качестве защитных газов используют аргон, гелий (реже).

Аргонодуговую сварку выполняют плавящимися и неплавящимися вольфрамовыми электродами. Плавящимся электродом сваривают на постоянном токе обратной полярности, используя режимы, обеспечивающие струйный перенос электродного металла.

Сварку неплавящимся вольфрамовым электродом в основном осуществляют на постоянном токе прямой полярности. В некоторых случаях при наличии в сталях значительного количества алюминия используют переменный ток для обеспечения катодного разрушения оксидной плёнки.

При сварке сталей с малым содержанием углерода (ниже 0,07-0,08%) возможно науглероживание наплавленного металла. Переход углерода в сварочную ванну усиливается при наличии в электродной проволоке алюминия, титана, кремния. В случае сварки глубокоаустенитных сталей некоторое науглероживание металла сварочной ванны в сочетании с окислением кремния снижает вероятность образования горячих трещин. Однако науглероживание может изменить свойства металла шва и, в частности, снизить коррозийные свойства. Кроме того наблюдается повышенное разбрызгивание электродного металла. Наличие брызг на поверхности металла снижает коррозийную стойкость.

Технологии сварки нержавеющих высоколегированных сталей постоянно совершенствуются. На данном этапе при строгом соблюдении технологического процесса качество сварного шва нержавейки практически не уступает по своим свойствам металлу соединяемых деталей и гарантирует высочайшую надежность сварного соединения.

2 АНАЛИЗ БАЗОВОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ КОРПУСА ТЕПЛООБМЕННИКА

2.1 Базовый вариант технологического процесса

1. Сварка обечайки. Прихватывается деталь: длина прихваток 25мм, шаг между прихватками 200 мм, прихватывание выполняется ручной дуговой сваркой, электрод марки ЦЛ 11, затем сваривается, сварка механизированная, односторонняя, заполнение сварного шва происходит механизированной

сваркой полуавтоматом ПДГ-500 в среде аргона, проволокой диаметром 1,2 мм.

2. Привариваются фланцы к обечайке ручной дуговой сваркой, затем механизированной.

Недостатками данного технологического процесса является:

1. Низкая производительность;
2. Требуется высокая квалификация рабочего;
3. Высокая себестоимость;
4. Недостаток автоматизации сборочно-сварочных операций;
5. Вредные условия труда.

2.2 Проектируемый вариант технологического процесса

В данной квалификационной работе предлагается автоматизировать сборочно-сварочные операции корпуса теплообменника, использование специальных приспособлений.

Преимуществами данного технологического процесса являются:

1. Автоматизация процессов сборки и сварки корпуса теплообменника. Как следствие этого снижение доли ручного труда и улучшение условий труда сварщиков.
2. Повышение производительности;
3. Улучшение качества сварки;
4. Повышение производительности труда за счет автоматизации процессов сварки.

3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС СВАРКИ КОРПУСА ТЕПЛООБМЕННИКА

3.1 Выбор способа сварки

В качестве способа сварки корпуса теплообменника предлагается автоматическая сварка в среде защитных газов.

Сварка в среде защитных газов является одним из способов электродуговой сварки. При этом способе в зону дуги подается защитный газ, струя которого, обтекая электрическую дугу и сварочную ванну, предохраняет расплавленный металл от воздействия атмосферного воздуха, окисления и азотирования. Аргонодуговая сварка осуществляется в струе аргона, который является инертным газом, не вступает во взаимодействие с расплавленным металлом сварочной ванны и предохраняет его от воздействия кислорода и азота воздуха.

Преимущество сварки в среде защитных газов заключается в следующем:

– хорошая защита зоны сварки от воздействия кислорода и азота воздуха;

– хорошие механические качества сварного шва;

– высокая производительность процесса сварки, достигающая при ручной сварке до 50 – 60 м/ч, а при автоматической сварке – до 200 м/ч и более;

– отсутствие необходимости применения флюсов и другой очистки шва от шлаков;

– возможность наблюдения за процессом формирования сварного шва;

– малая зона термического влияния;

– возможность полной механизации и автоматизации процесса сварки.

К недостаткам способа относятся:

– необходимость применения защитных мер против световой и тепловой радиации дуги;

– возможность нарушения газовой защиты при сдувании струи газа движением воздуха или при разбрызгивании сопла;

– потери металла на разбрызгивание, при котором брызги прочно соединяются с поверхностями шва и изделия;

– наличие газовой аппаратуры и в некоторых случаях необходимость водяного охлаждения горелок.

3.2 Расчет режимов сварки

Ориентировочные режимы сварки плавящимся электродом в защитных газах высоколегированных сталей СТО 00220368-013-2009 (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Режимы сварки

Толщина металла, мм	Кол-во проходов	Диаметр сварочной проволоки, мм	Защитная среда	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Расход защитного газа, л/мин
2-3	2	1,0	Ar, Ar + CO_2 Ar + CO_2 + O_2, Ar + O_2	220 - 280	22 - 26	30-40	10-12
3-4	2	1,2-1,6	Ar, Ar + CO_2 Ar + CO_2 + O_2, Ar + O_2	120-190	20-24	25-30	12-18
5-6	2	1,2-1,6	Ar, Ar + CO_2 Ar + CO_2 + O_2, Ar + O_2	140-200	22-26	25-30	12-18

Продолжение таблицы

Тол-щина метал-ла, мм	Кол-во прохо-дов	Диаметр сварочной проволоки, мм	Защитная среда	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Расход защитного газа, л/мин
7-8	2-3	1,2-1,6	Ar, Ar + CO_2 Ar + CO_2 + O_2, Ar + O_2	180-220	24-28	25-30	12-18
9-12	3-4	1,6-2,0	Ar, Ar + CO_2 Ar + CO_2 + O_2, Ar + O_2	260-300	26-30	20-30	12-18
14-20	6-10	1,6-2,0	Ar	280-340	26-30	20-30	18-20

3.3 Выбор сварочных материалов

3.3.1 Выбор защитного газа

В проектируемом технологическом процессе изготовления корпуса теплообменника предлагается использовать защитный газ – аргон.

Сварка в среде аргона представляет собой высотехнологический процесс, благодаря которому стало возможным получать высококачественные сварные швы. При использовании аргоновой ванны создается защита от попадания кислорода, который препятствует окислению металла.

Сварка аргоном позволяет выполнять тонкую работу с металлом и добиваться великолепного внешнего вида изделий. Для нее не требуются электродные покрытия и флюсы, при этом швы получаются самого высокого качества и не требуют зачистки от различных шлаков. Главное соблюдать точность при поддержании степени проплавления, необходимую при сварке тонкого металла.

Аргоновая сварка в результате развития технологий стала почти универсальной и одинаково хорошо подходит для соединения мелких деталей и крупногабаритных конструкций.

Сварка в среде аргона обладает следующими преимуществами:

– надежная изоляция от окружающей среды, повышение качества и отсутствие нарушений кристаллической решетки в соединенной поверхности;

– аргонодуговая сварка позволяет соединять разнородные металлы;

– уменьшается количество прилипания брызг в месте сварного шва;

– повышается стабильность процесса;

– сокращается потребление электроэнергии.

– улучшение качества сварного шва: снижение пористости и неметаллических включений;

– уменьшение зоны термического влияния, вследствие этого - уменьшение коробления конструкции;

К недостаткам относятся:

– защита аргоном от окружающего воздуха может быть нарушена при работе на ветру или сквозняке, так как газ может попросту «сдувать»;

– горелку необходимо периодически охлаждать при сварке дугой большой силы тока;

– сильное излучение ультрафиолета, особенно при использовании гелия в качестве инертного газа.

3.3.2 Выбор сварочной проволоки

Проектом предлагается для автоматической сварки нержавеющей стали 12Х18Н10Т использовать сварочную проволоку Св-06Х19Н9Т (таблица 3.2) диаметром 1,6 мм.

Коррозионностойкая хромоникелевая сварочная проволока для сварки аустенитных нержавеющих сталей с содержанием хрома 18% типа 03Х17Н14М2, 03Х18Н11, 06Х18Н11, 08Х18Н10Т, 12Х18Н10Т и т.п. в среде защитных газов (Ar).

Наплавленный металл обладает высокой коррозионной стойкостью. Незначительное содержание углерода снижает риск возникновения межкристаллической коррозии, а наличие кремния обеспечивает высокое качество шва. Проволока применяется в пищевой промышленности, нефтехиммашиностроении для изготовления трубопроводов, емкостей, бойлеров и т.п.

Таблица 3.2 – Химический состав проволоки

В процентах

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Ti
Не более 0,08	0,40-1,0	1,0-2,0	18,0-20,0	8,0-10,0	Не более 0,25	0,50-1,0

3.3.3 Выбор оборудования для автоматической сварки

Проектом предлагается использовать для автоматической сварки в среде защитных газов сварочную головку подвесного типа. Выбор буду производить из нескольких марок путем сравнения их технологических параметров.

1. Сварочная головка NA-5 марки Lincoln (таблица 3.3).

Рисунок 3.1 – Сварочная головка Lincoln

Таблица 3.3 – Технические характеристики

Наименование	Скорость подачи (м/мин)	Диаметр проволоки (мм) Сплошная	Диаметр проволоки (мм) Порошковая
NA-5	0,6-16,5	0,9-5,6	1,2-4,0

Преимущества:

– система управления позволяет точно контролировать сварочный процесс, характеристики дуги, также как размер и внешний вид шва.

– быстрая настройка под широкий диапазон сварочных процессов, скоростей подачи и диаметров проволоки.

– компактные элементы с отличной возможностью компоноваться в простые комбинации наиболее сложных автоматизированных производственных линий.

– прочная надежная конструкция минимизирует простои и издержки на ремонт.

– соответствует требованиям стандартов IEC974-1, CE и ГОСТ-Р.

1. Сварочная головка ESAB A6 S Arc Master (таблица 3.4).

Рисунок 3.2 – Сварочная головка ESAB

Таблица 3.4 – Технические характеристики

Наименование	Сварка под флюсом одной проволокой (бол. мощ.)	Сварка под флюсом расщепленной дугой (бол. мощ.)	Сварка под флюсом одной проволокой (мал. мощ.)	Сварка под флюсом расщепленной дугой (мал. мощ.)	MIG/MAG одной проволокой
Макс, ток при ПВ100%, А	1500	1500	1500	1500	600

Продолжение таблицы 3.4

Наименование	Сварка под флюсом одной проволокой (бол. мощ.)	Сварка под флюсом расщепленной дугой (бол. мощ.)	Сварка под флюсом одной проволокой (мал. мощ.)	Сварка под флюсом расщепленной дугой (мал. мощ.)	MIG/MAG одной проволокой
Диаметр проволоки, мм	3-6	2/2,0-3,0	1,6-4,0	2/1,2-2,5	0,8/3,2
Скорость подачи проволоки, м/мин	0,2-4,0	0,2-4,0	0,4-4,0	0,4-8,0	0,8-16,6

A6 S Arc Master – комплектная система, предназначенная для высокопроизводительной сварки. Она универсальна, прочна и надежна в работе. A6 S Arc Master является базой программы автоматизации сварки ЭСАБ и может быть доукомплектована дополнительными модулями и компонентами системы. Поставляется в виде различных стандартных моделей, отвечающих конкретным требованиям заказчика.

Из стандартной базовой модели A6 S, добавляя необходимые модули (систему позиционирования, систему слежения по стыку, систему подачи флюса и т.п.), можно собрать сварочную систему для выполнения конкретных работ с заданной степенью автоматизации.

3.3.4 Выбор сварочной головки

Сравнив две сварочные головки разных фирм-производителей, можно сказать, что они практически не отличаются своими техническими характеристиками, поэтому выбор произведу по личным предпочтениям.

Для проектируемого технологического процесса изготовления корпуса теплообменника выбрана автоматическая подвесная сварочная головка фирмы ESAB.

3.3.5 Выбор приспособлений для сварки

Проектом предлагается использовать сварочный вращатель WPG-PSE - Вращатель с подвижной задней бабкой на общей раме. Вращатели сварочные универ-

сальные предназначены для установки изделий в удобное для сварки положение и вращение их со сварочной скоростью при автоматической сварке кольцевых швов под флюсом, в среде защитных газов и при наплавочных работах.

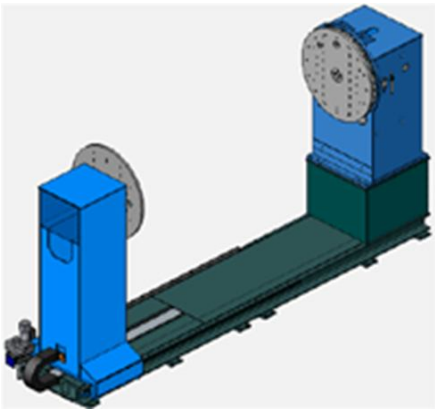

Рисунок 3.3 – Сварочный вращатель

Технические характеристики:

- Макс. нагрузка до 1 т. Макс. радиус свободного вращения 739-1185 мм;
- Расстояние между планшайбами 1500-11000 мм;
- Электропривод перемещения задней бабки;
- Диапазон вращения 720°. Макс. скорость вращения 8,5-75°/сек.

Также для передвижения сварочной головки предлагается каретка для перемещения сварочных головок по балке ESAB BTC.

Рисунок 3.4 – Каретка для перемещения сварочных головок

Описание:

BTC – идеальное решение когда необходимо обеспечить механизированное перемещение сварочных голов A2 или A6 для сварки под слоем флюса или в среде защитных газов.

Каретка линейного перемещения состоит из монолитного каркаса с консолью для установки на ней сварочных голов ESAB A2 Minimaster или A6 ArcMaster и электродвигателя с фрикционной передачей. Каретка предназначена для движения по стандартным двутавровым балкам 300-го сечения, или если требования к точности выше, на специально обработанной двутавровой балке поставляемой фирмой ESAB. Привод каретки можно легко отключить и переместить в нужное положение относительно стыка вручную.

Все сварочные параметры, в том числе и скорость сварки (движения каретки) задаются с пульта управления сварочной головой PEK. Параметры двигателя каретки уже заложены в памяти блока и нет необходимости подбирать скорость. Благодаря эффективной обратной связи по скорости движения обеспечивается высокая стабильность сварки от начала и до конца шва. Блок управления сваркой PEK является стандартной частью сварочных голов A2 или A6.

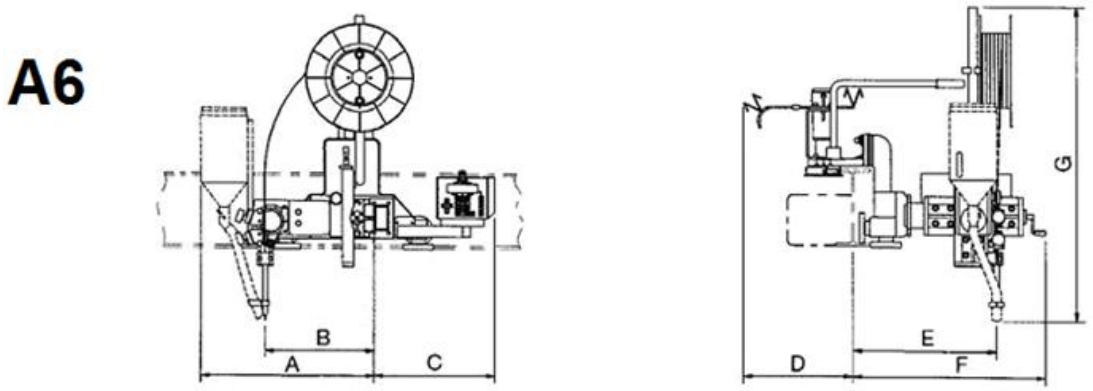

Рисунок 3.5 – Схема установки сварочной головки

3.4 Источник питания

В данном проекте предлагается источник постоянного сварочного тока ESAB LAF 631 (таблица 3.5).

Рисунок 3.6 – Источник питания ESAB

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

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

Источники серии LAF обладают отличными сварочными характеристиками во всем диапазоне регулировок тока и напряжения, что особенно важно при поджиге дуги или её повторном возбуждении. Источники демонстрируют хорошую стабильность дуги как на высоких, так на низких токах.

При необходимости получить больший сварочный ток, источники можно подключить параллельно использую дополнительный блок.

Источники не имеют свою собственную панель управления сварочными параметрами, поэтому для управления необходимо использовать сварочные головы с полностью цифровыми блоками управления сваркой PEK - контроллер с максимальными возможностями управления или PEI - с базовыми функциями для менее требовательных областей применения.

Таблица 3.5 – Технические характеристики

Характеристика	LAF 631
Питающее напряжение, В 3ф 50 Гц	380
Потребляемый ток, А при ПВ 100%	52
Сечение питающего кабеля мм²	4x16
Плавкий предохранитель, А	63
Максимальный ток/напряжение, А/В:	
При ПВ 100%	630/44
При ПВ 60%	800/44
Диапазон регулирования при MIG/MAG, А/В	50/17-630/44
Диапазон регулирования под флюсом, А/В	30/21-800/44

Продолжение таблицы 3.5

Характеристика	LAF 631
Напряжение ХХ, В	54
Мощность ХХ, Вт	150
КПД	0,84
Коэффициент мощности	0,90
Класс пыле/влаго защиты	IP23
Габариты ДхШхВ, мм	670x490x930
Масса, кг	260
Класс электробезопасности	S
Рекомендуемое сечение сварочного кабеля, мм	1x120

3.5 Контроль качества

В данной выпускной квалификационной работе предлагаются следующий контроль качества сварных соединений корпуса теплообменника:

- Визуально-измерительный контроль
- Рентген продольного сварного шва
- Контроль проникающими веществами
- Рентген или ультразвуковой контроль после сборки

Визуально - измерительный контроль (ВИК) сварных швов - это внешний осмотр достаточно крупных сварных конструкций, как невооруженным глазом, так и при помощи различных технических приспособлений для выявления более мелких дефектов, не поддающихся первоначальной визуализации, а также с использованием преобразователей визуальной информации в телеметрическую. ВИК относится к органолептическим (проводится органами чувств) методам контроля и осуществляется в видимом спектре излучений. Визуальное обследование в поисках теоретических дефектов производят с внешней стороны сварного шва, где при их обнаружении можно выполнить минимальные измерения с помощью оптических приборов и инструментов, заключить акт визуального осмотра.

Визуальный метод контроля позволяет обнаруживать несплошности, отклонения размера и формы от заданных более 0,1 мм при использовании приборов с

увеличением до 10 х. Визуальный контроль, как правило, производится невооруженным глазом или с использованием увеличительных луп до 7 х. В сомнительных случаях и при техническом диагностировании допускается применение луп с увеличением до 20 х.

Перед проведением визуального контроля поверхность в зоне контроля должна быть очищена от ржавчины, окалины, грязи, краски, масла, брызг металла, и других загрязнений, препятствующих осмотру.

При Визуально-Измерительном Контроле сварных швов зоной контроля является сварной шов и прилегающие к нему участки основного металла на ширине не менее 20 мм в каждую сторону от шва с двух поверхностей, если обе они доступны для осмотра.

Визуальный контроль выполняется до проведения других методов контроля. Дефекты, обнаруженные при визуальном контроле, должны быть устранены до проведения контроля другими методами.

Измерения производятся с использованием приборов и инструментов:

Рисунок 3.7 – Измерительные приборы и инструменты

– лупы измерительные;

– штангенциркули;

– линейки измерительные металлические;

– угломеры;

– угольники;

– щупы;

– шаблоны и др.

Визуальный контроль и измерения производятся:

– на стадии входного контроля материала для выявления поверхностных дефектов (трещин, расслоений, забоин, закатов, раковин, шлаковых включений и др.), а также отклонений геометрических размеров заготовок от проектных;

– на стадии подготовки деталей под сборку и сварку для подтверждения соответствия установленным требованиям конструктивных элементов разделки и чистоты кромок, и прилегающих поверхностей, отсутствия углового и поверхностного смещения, величины зазоров, количества, расположения и качества прихваток;

– по окончании сварки, либо на отдельных её этапах - для выявления в сварном соединении поверхностных дефектов и несплошностей (трещин, раковин, пор, свищей, подрезов, прожогов, наплывов, грубой чешуйчатости и западаний между валиками, непроваров и др.); а также отклонений геометрических размеров сварного шва от требований, установленных стандартами.

– на стадии технического диагностирования - для выявления отклонений размеров и формы конструкции от проектных; эксплуатационных дефектов основного металла и сварного шва (усталостных трещин, коррозионных язв, питтингов и др.).

Радиографический метод контроля (РК). Данный вид контроля широко используется для проверки качества технологических трубопроводов, металлоконструкций, технологического оборудования, композитных материалов в различных отраслях промышленности и строительного комплекса.

Радиографический контроль сварных соединений позволяет выявлять наличие в них пор, непроваров, шлаковых, вольфрамовых окисных и других включений, подрезов, трещин. Кроме того, радиографический контроль позволяет производить оценку величины выпуклости и вогнутости корня шва в недоступных для внешнего осмотра местах, например с противоположной стороны сварного шва.

Проектом предлагается использовать рентгеновский аппарат АРИНА-7 (таблица 3.6).

Рисунок 3.8 – Рентгеновский аппарат АРИНА – 7

Рентгеновский аппарат АРИНА – 7 предназначен для дефектоскопии промышленных изделий, методом радиографического неразрушающего контроля. Аппарат АРИНА – 7 применяют в промышленности для контроля качества сварных швов трубопроводов, металлических сварных конструкций, листовых и профильных изделий, а также отливок и паковок из цветных и черных металлов.

Импульсный рентгеновский аппарат Арина – 7 является одним из самых мощных приборов с рабочим напряжением анода на рентгеновской трубке не менее 250 кВ. Рентгеновский аппарат представляет собой компактную переносную модель, в которой учтены последние достижения и разработки в области радиографии. Импульсный аппарат АРИНА – 7 состоит из рентгеновского моноблока и ручного пульта управления, которые соединены между собой кабелем длинной 20 метров, что обеспечивает полную безопасность оператора.

Рентгеновский аппарат АРИНА – 7 является самым мощным диагностическим комплексом в линейке рентгеновских аппаратов серии АРИНА. Благодаря высокой мощности АРИНА – 7 позволяет контролировать объекты толщиной стали до 80 мм, что дает этому аппарату широкие спектр применения в области радиографии.

Аппарат имеет угол излучения, близкий к 180°, и, следовательно, может использоваться как для панорамного, так и для направленного просвечивания.

Таблица 3.6 – Технические характеристики

	АРИНА – 7	
Экспозиционная доза рентгеновского излучения на расстоянии (500±20) мм от торца рентгеновского блока в прямом пучке за 1,5 мин, не менее	387 (1500)	мкКл/кг (мР)
Толщина стали, доступная для рентгенографирования с помощью рентгеновских пленок с флуоресцентными усиливающими экранами	80	мм
Толщина стали, доступная для рентгенографирования с помощью высококонтрастных рентгеновских пленок	40	мм
Напряжение питания:	автономно	однофазная сеть переменного тока (220±22)В (50±1) Гц, батарея аккумуляторов 24 В

Контроль проникающими веществами

Капиллярная дефектоскопия – является одним из основных методов неразрушающего контроля и предназначена для обнаружения поверхностных и сквозных дефектов в объектах контроля, определения их расположения, протяженности (для протяженных дефектов типа непроваров, трещин) и их ориентации на поверхности. Капиллярный метод неразрушающего контроля основан на капиллярном проникновении внутрь дефекта индикаторных жидкостей, хорошо смачивающих материал объекта – поверхность контроля и последующей регистрации индикаторных следов (благодаря чему так же носит название цветная дефектоскопия).

В соответствии с техническими требованиями в большинстве случаев необходимо выявлять настолько малые дефекты, что заметить их при визуальном осмотре невооруженным глазом практически невозможно. В то же время, применение оптических приборов, например лупы или микроскопа, не позволяет выявить поверхностные дефекты из-за недостаточной контрастности изображения дефекта на фоне металла и малого поля зрения при больших увеличениях. В таких случаях наиболее применим - капиллярный метод контроля.

Капиллярная дефектоскопия позволяет контролировать объекты любых размеров и форм, изготовленные из различных материалов: черных и цветных металлов, сплавов, пластмасс, стекла, керамики и т.п. Капиллярный контроль широко востребован при дефектоскопии сварных швов.

При контроле красящий пенетрант наносится на контролируемую поверхность и благодаря своим особым качествам под действием капиллярных сил проникает в мельчайшие дефекты, имеющие выход на поверхность объекта контроля. Проявитель, наносимый на поверхность объекта контроля через некоторое время после осторожного удаления с поверхности пенетранта, растворяет находящийся внутри дефекта краситель и за счет диффузии “вытягивает” оставшийся в дефекте пенетрант на поверхность объекта контроля. Имеющиеся дефекты видны достаточно контрастно. Индикаторные следы в виде линий указывают на трещины или царапины, отдельные точки - на поры.

Процесс капиллярного контроля состоит из 5 этапов:

1 – предварительная очистка поверхности.

Рисунок 3.9 – Очистка поверхности

Чтобы краситель мог проникнуть в дефекты на поверхности, ее предварительно следует очистить водой или органическим очистителем. Все загрязняющие

вещества (масла, ржавчина, и т.п.) любые покрытия (ЛКП, металлизация) должны быть удалены с контролируемого участка. После этого поверхность высушивается, чтобы внутри дефекта не оставалось воды или очистителя.

2 – нанесение пенетранта.

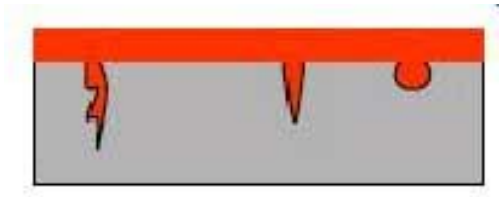

Рисунок 3.10 – Нанесение пенетранта

Пенетрант, обычно красного цвета, наносится на поверхность путем распыления, кистью или погружением объекта контроля в ванну, для хорошей пропитки и полного покрытия пенетрантом. Как правило, при температуре 5…50°С, на время 5…30 мин.

3 - удаление излишков пенетранта.

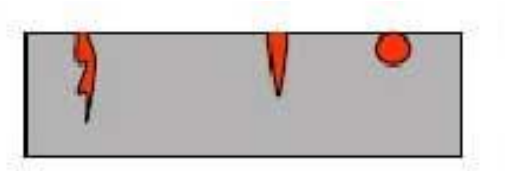

Рисунок 3.11 – Удаление излишков пенетранта

Избыток пенетранта удаляется протиркой салфеткой, промыванием водой, или тем же очистителем, что и на стадии предварительной очистки. При этом пенетрант должен быть удален только с поверхности контроля, но никак не из полости дефекта. Затем поверхность высушивается салфеткой без ворса или струей воздуха.

4 – нанесение проявителя.

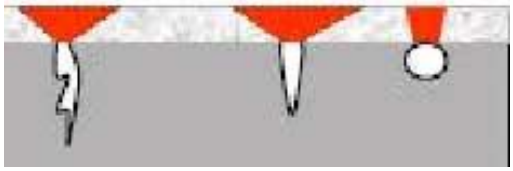

Рисунок 3.12 – Нанесение проявителя

После просушки сразу же на поверхность контроля тонким ровным слоем наносится проявитель (обычно белого цвета).

4 – контроль.

Рисунок 3.13 – Контроль

Выявление имеющихся дефектов начинается непосредственно после окончания процесса проявки. При контроле выявляются и регистрируются индикаторные следы. Интенсивность окраски которых говорит о глубине и ширине раскрытия дефекта, чем бледнее окраска, тем дефект мельче. Интенсивную окраску имеют глубокие трещины. После проведения контроля проявитель удаляется водой или очистителем.

ГОСТ 18442-80 установлено 5 классов чувствительности (по нижнему порогу) в зависимости от размеров дефектов (таблица 3.7).

Таблица 3.7 – Зависимость чувствительности от размеров дефектов

В микрометрах

Класс чувствительности	Ширина раскрытия дефекта, мкм
I	Менее 1
II	От 1 до 10
III	От 10 до 100
IV	От 100 до 500
технологический	Не нормируется

Ультразвуковой контроль (УЗК)

Ультразвуковые волны, направленные на изделие, проникают глубоко в металл. Встречая на своем пути различные препятствия в виде пустот, вложений,

шлака, неровностей и прочих неоднородностей металла, волны преломляются и отражаются от них.

Ультразвуковой контроль качества сварных швов имеет следующую последовательность. Пьезоэлектрический щуп преобразует электрические колебания в ультразвуковые волны, направляя их на поверхность изделия. Щуп воспринимает отраженные сигналы и отображает их на мониторе. Таким образом, щуп работает как передатчик и как приемник. Если дефекты в шве отсутствуют, то сигнал отразится от нижней поверхности изделия и возвратится к щупу. Если волна на своем пути встретит дефект, то определенная часть волн отразится от поверхности дефекта раньше. Эта разница будет зафиксирована на мониторе. Так определяют размеры и глубину залегания дефекта.

Методы контроля качества

В промышленности применяют несколько различных способов проведения ультразвукового исследования.

Контроль сварных швов металлоконструкций проводится следующими методами:

- Теневой метод. Используется сравнение амплитуд направленного к изделию и отраженному от его нижней поверхности импульсов.
- Эхо-метод. Учитывается отраженный от дефекта импульс.
- Эхо-зеркальный метод. Показания снимаются с двух приборов, направляющих сигналы под разными углами к поверхности изделия.
- Зеркально-теневой метод. Дефекты определяются с учетом коэффициента затухания отраженного сигнала.
- Дельта-метод. Предметом внимания является ультразвуковая энергия, отраженная от поверхности дефекта.

Приборы для ультразвукового контроля:

Все приборы, которыми производится ультразвуковая диагностика, имеют схожий принцип работы. Основной элемент каждого прибора — кварцевый пьезодатчик. Он находится в пьезоэлектрическом щупе. Такие приборы называют ультразвуковыми дефектоскопами.

По конструкции дефектоскопы бывают:

- Однощуповые.
- Двухщуповые.

В первом случае посыл и прием сигнала осуществляется одним щупом, а во втором случае – двумя отдельными щупами.

Проектом предлагается использовать Ультразвуковой дефектоскоп УД2 – 70 (таблица 3.8).

Рисунок 3.14 – Ультразвуковой дефектоскоп УД2 – 70

Ультразвуковой дефектоскоп УД2-70 предназначен для контроля продукции на наличие дефектов типа нарушения сплошности и однородности материалов, полуфабрикатов, готовых изделий и сварных соединений, для измерения глубины и координат их залегания, измерения отношений амплитуд сигналов от дефектов. Также имеются специальные меню, которые применяются для выявления дефектов в деталях и узлах локомотивов и МВПС и в деталях элементов колесных пар вагонов, в которых записаны типовые настройки прибора.

Особенности ультразвукового дефектоскопа:

– малые габариты;

– построение АРД диаграмм;

– два независимых строба АСД;

– автоматическая регулировка усиления;

– иммерсионный режим работы;

возможность синхронизации с внешними устройствами;

– возможность обновления программного обеспечения Потребителем;

– B – Скан;

– большой цветной дисплей с высокой контрастностью и разрешающей способностью;

– встроенные часы и календарь;

– прочный алюминиевый корпус для тяжелых условий эксплуатации;

– возможность подключения внешних USB устройств (клавиатура, мышь, внешние накопители информации);

– встроенные типовые настройки для деталей подвижного состава ОАО "РЖД" и метрополитена;

– специальная комплектация для ОАО "РЖД" и метрополитена.

Таблица 3.8 – Технические характеристики дефектоскопа УД2-70

Рабочие частоты	0,4; 1,25; 1,8; 2,5; 5,0; 10,0 МГц
Диапазон регулировки усиления	от 0-100 дБ с дискретностью 0,5; 1,0 дБ
Отсечка	Линейная, компенсированная, от 0 до 100% высоты экрана
Развёртка	тип А, В
Диапазон задержки развёртки	от -30 до 5000 мм
Погрешность измерения глубины залегания дефектов	±(0,5 + 0,02H) мм
Дискретность измерения расстояний	0,1 мм
Погрешность измерения отношений амплитуд сигналов	±(0,2 + 0,03 N) дБ
Диапазон регулировки ВРЧ	от 0 до 80 дБ
Память - настроек - изображения развёртки типа А - значений глубиномера	 400 400 4000

Продолжение таблицы 3.8

Интерфейс связи с компьютером	USB
Размер рабочей части экрана	111,4 х 83,5 мм
Диапазон рабочих температур	-10...+50 °С
Электрическое питание: - аккумуляторное - сеть переменного тока	 12 В; 220 В 50 Гц
Время непрерывной работы	не менее 14 ч
Степень защиты корпуса	IP 64
Габаритные размеры (без ручки для переноса)	не более 245х77х145 мм
Масса электронного блока	не более 2,2 кг

Дефекты сварных соединений из высоколегированных сталей, выполненных аргонодуговой сваркой плавящимся и неплавящимся электродами ОСТ 95 1487-86 (таблица 3.9 – 3.10).

Таблица 3.9 – Дефекты сварных соединений

Наименование дефекта	Норма ограничения дефекта, допускаемого	
	без исправления	к исправлению
Продольные трещины (вдоль оси шва, отрывы, отколы). Суммарная длина трещин от длины шва, %, не более	Не допускаются	5
Поперечные трещины на участке шва длиной 1000 мм, шт., не более		1

Продолжение таблицы 3.9

Наименование дефекта	Норма ограничения дефекта, допускаемого	
	без исправления	к исправлению
Непровары всех видов. Суммарная длина непроваров от длины шва, %, не более	Не допускаются	20
Поверхностное окисление шва. Длина дефектных участков от длины шва, %, не более	Не допускаются	15
	Не допускается исправление поверхностного окисления шва в виде налета серого и белого цветов в зоне шва и околошовной зоне	
Прожоги на участке шва длиной 1000 мм, шт., не более	Не допускаются	2, длиной до 15 мм каждый
Подрезы. Суммарная длина дефектных участков от длины шва, %, не более	10, глубиной до 5% от толщины основного металла, но не более 0,3 мм	20
Кратеры	Без исправления не допускаются	
Единичные поры, вольфрамовые и шлаковые включения. Суммарная длина дефектных участков от длины шва, %, не более	См. табл. 3.10	20

Продолжение таблицы 3.9

Нарушение формы швов в виде отклонения их размеров. Суммарная длина дефектных участков от длины шва, %, не более	20
Суммарная длина подваренных участков шва от длины шва, %, не более	

Таблица 3.10 – Размеры и площадь пор, вольфрамовых и шлаковых включений, допускаемых без исправления

Толщина материала	Максимальный диаметр пор	Суммарная площадь дефектов, $мм^2$
1,0	0,5	1
1,5	0,6	2
2,0	0,8	
3,0	1,0	3
4,0		4
5,0	1,5	5
6,0		6
10,0	2,0	10
25,0		15

4 КОНСТРУКЦИОННЫЙ РАЗДЕЛ

В данной выпускной квалификационной работе был разработан сборочно-сварочный стенд для сварки корпуса теплообменника.

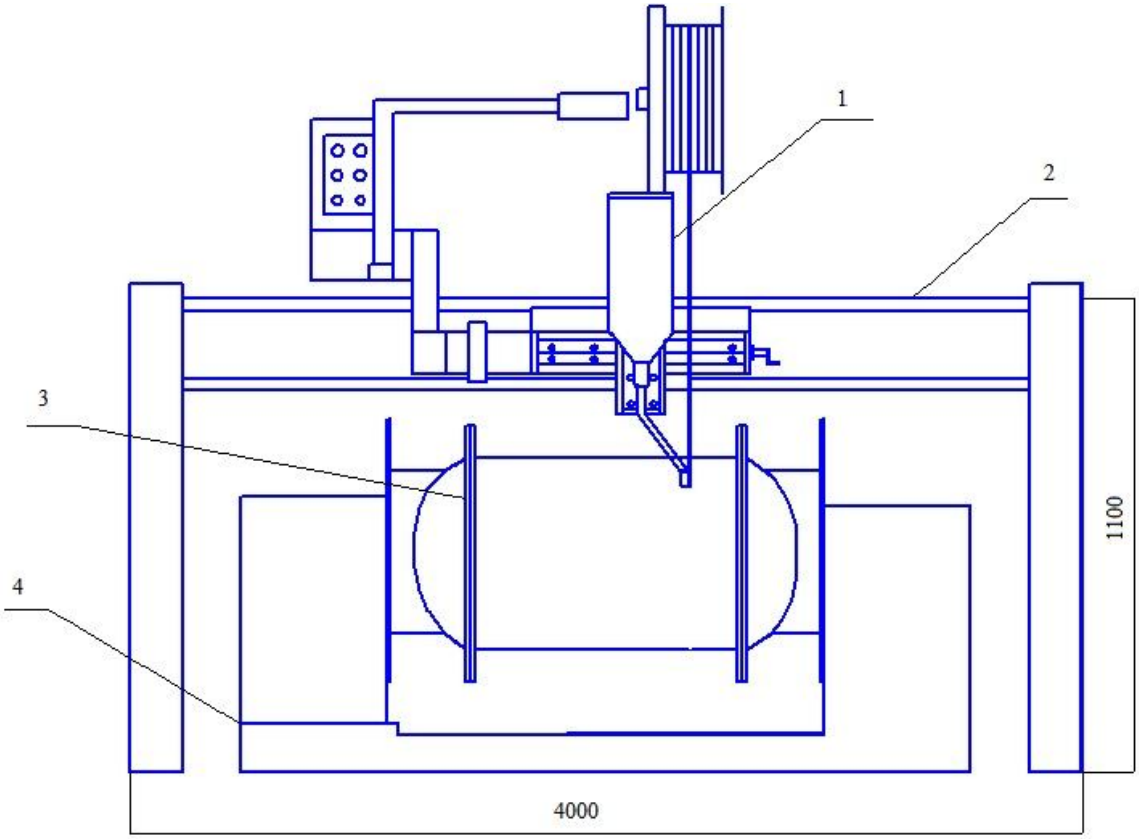

Рисунок 4.1 – Сборочно сварочный стенд

1 – Автоматическая сварочная головка;

2 – Двутавровая балка для перемещения сварочной головки;

3 – Корпус теплообменника;

4 – Сварочный вращатель.

5 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

В данном разделе выпускной квалификационной работы произведу оценку влияния пор сварного стыкового соединения на несущую способность.

Задачи исследования:

1. Разработка 2D или 3D модели сварного соединения.
2. Экспорт и импорт модели в программах Kompas и Ansys.
3. Задание свойств материалов.
4. Задание нагрузок и закрепление.
5. Генерация сетки конечных элементов.
6. Решение задачи механики. Отыскать перемещение всех узлов.
7. Постпроцессорная обработка материалов, построение карт напряжений или полей.
8. Определение искомых характеристик, концентрация напряжений.
9. Выводы

1. Разработка 2D или 3D моделей сварного соединения.

Создаем чертеж сварного соединения в программе Kompas.

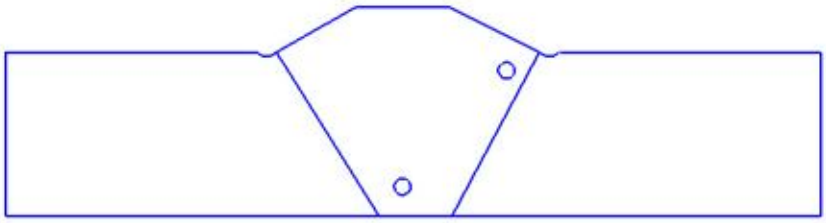

Рисунок 5.1 – Чертеж сварного соединения

2. Экспорт и импорт модели в программах Kompas и Ansys.

   После создания чертежа в программе Kompas сохраняем его в формате igs, для того чтобы потом открыть чертеж в программе Ansys.

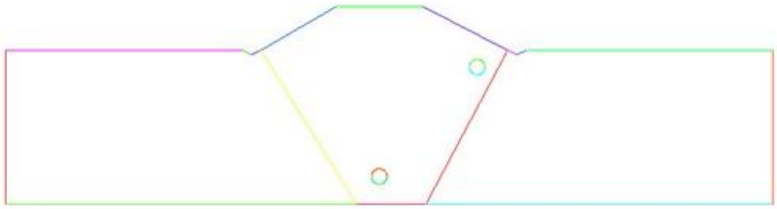

Рисунок 5.2 – Чертеж в программе Ansys

3. Задание свойств материалов.

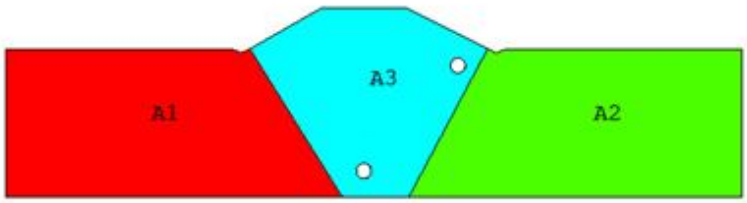

Рисунок 5.3 – Задание свойств материалов

4. Генерация сетки конечных элементов.

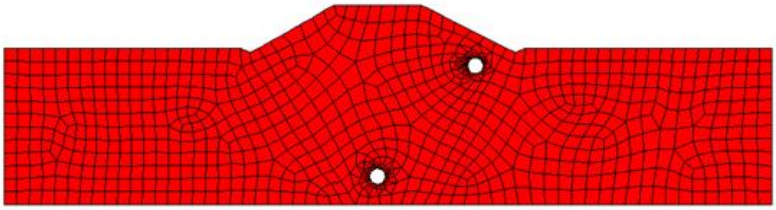

Рисунок 5.4 – Генерация сетки конечных элементов

5. Задание нагрузок и закрепления.

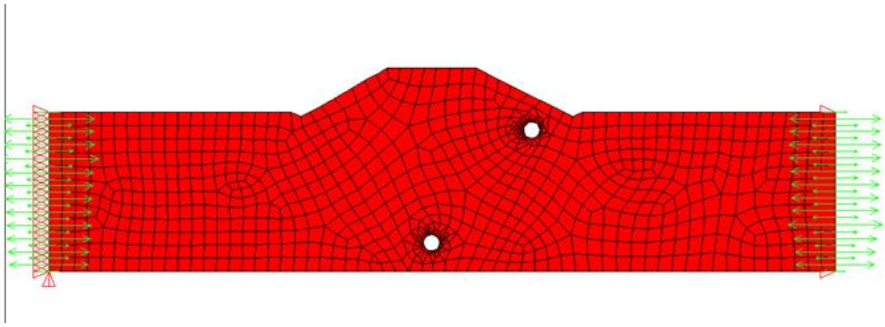

Рисунок 5.5 – Задание нагрузок и закрепления

6. Решение задачи механики. Отыскать перемещение всех узлов.

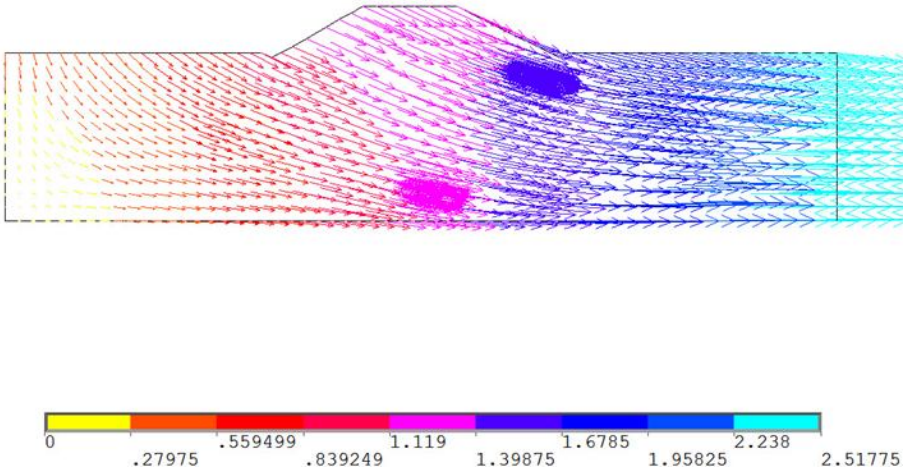

Рисунок 5.6 – Перемещение узлов

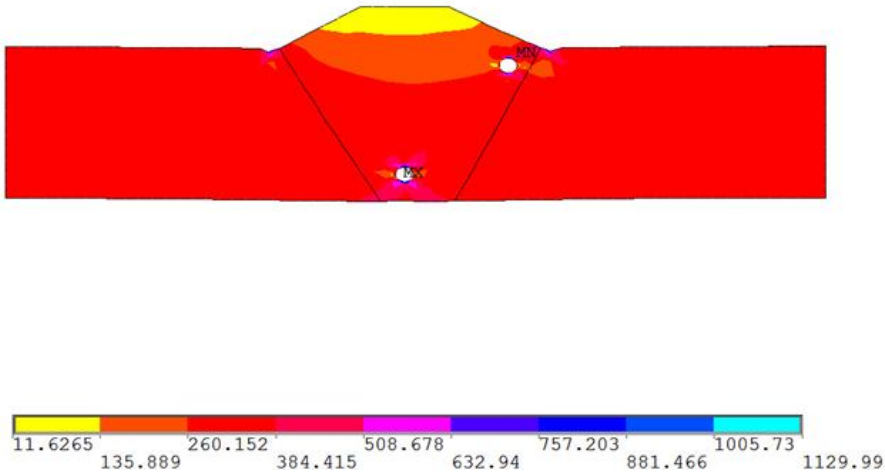

Рисунок 5.7 – Перемещение узлов

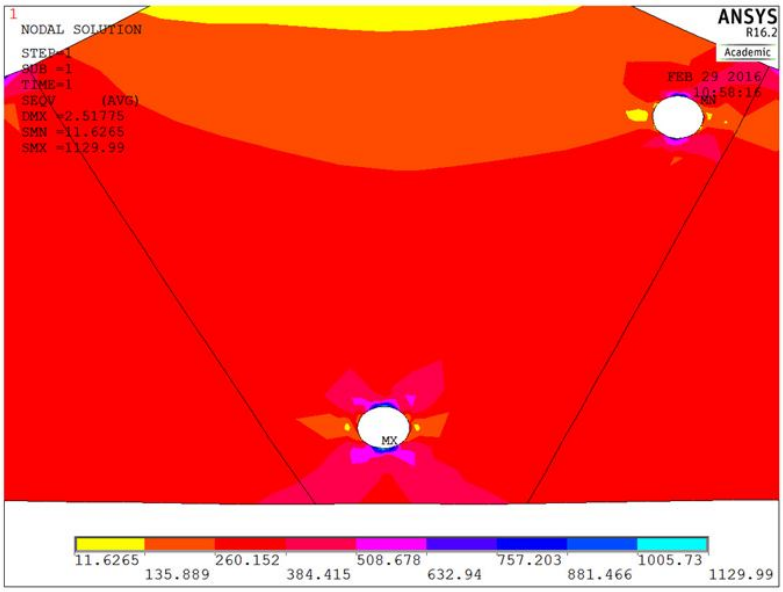

Рисунок 5.8 – Перемещение узлов

7. Постпроцессорная обработка материалов, построение карт напряжений или полей.

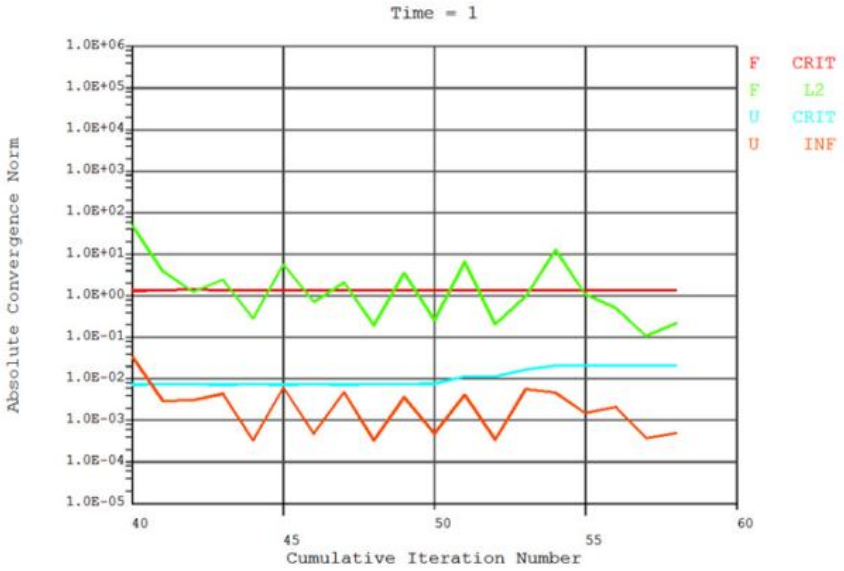

Рисунок 5.9 – Карта напряжений

8. Определение искомых характеристик, концентрация напряжений.

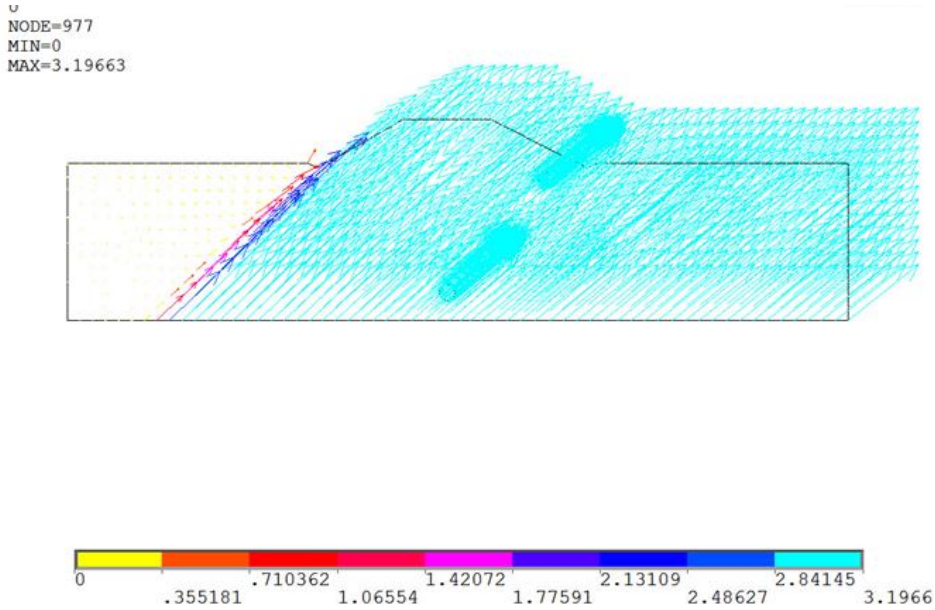

Рисунок 5.10 – Концентрация напряжений

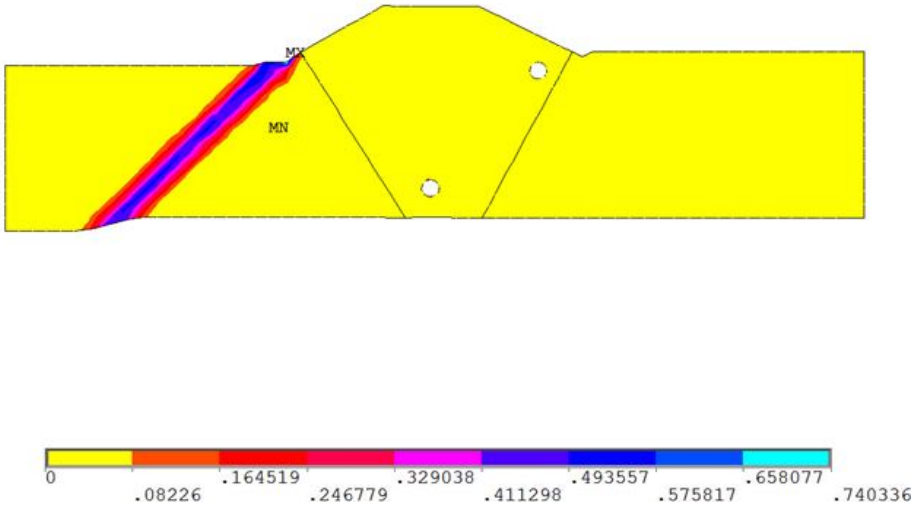

Рисунок 5.11 – Концентрация напряжений

9. Вывод.

Рассмотренные размеры пор сварного соединения не оказывают влияния на несущую способность. Разрушение сварного соединения произошло по подрезу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе было предложено автоматизировать технологический процесс сборки и сварки корпуса теплообменника с использование автоматической сварочной головки ESAB A6 S Master и сварочного вращателя. Это позволило повысить производительность и улучшить качество сварки за счет автоматизации процессов сварки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. В.Г. Геворкян, «Основы сварочного дела». – Москва: Издательство «Высшая школа», 1971.

2. В.П. Куликов, Технология сварки плавлением». – Минск: Издательство «Дизайн ПРО», 2001.

3. В.И. Маслов. «Сварочные работы». - Москва: Издательский центр «Академия», 1999. – 240 с.

4. Справочник по сварке: под ред. Е.В. Соколова, - 2 том. Москва: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1992. – 373 с.

5. СТО 00220368-013-2009. Стандарт организации. Сварка сосудов, аппаратов и трубопроводов из высоколегированных сталей. – Волгоград, 2009. – табл. 12.5.

6. ОСТ 95 1487-86. Отраслевой стандарт. Дефекты сварных соединений из высоколегированных сталей, выполненных аргонодуговой сваркой плавящимся и неплавящимся электродами.

7. История развития теплообменников. – http://osipovs.ru/index.php/istoria-razvitia-teploobmenikov.

8. Материал изделия – http://flange55.ru/steel_12h18n10t.php
http://www.avers-steel.ru/artcl/svarka.html.

9. Аргонодуговая сварка. – http://www.osvarke.com/argonodug.html.

10. Сварочная проволока. – http://www.metsteel.ru/catalog/metal/welding_wire/3.

11. Сварочные головки. – http://www.deltasvar.ru/katalog.
http://gazss.ru/catalog/196/1090.

12. Сварочный вращатель. – http://www.smart2tech.ru/svarochnye – pozitsionery/svarochnye-vrashchateli.

13. Каретка для перемещения сварочных головок. – http://gazss.ru/catalog/196/1316.

14. Источник питания. – http://gazss.ru/catalog/198/1146.

15. Контроль качества. – http://www.zaopkti.spb.ru/services07_47.html.
http://www.zaopkti.spb.ru/services07_49.html.

http://www.zaopkti.spb.ru/services07_48.html.
http://steelguide.ru/svarka/ultrazvukovoj-kontrol-kachestva-svarnyx-shvov.html.
16. Рентгеновский аппарат АРИНА – 7. - http://xn---7-6kca3b4at.xn--p1ai/#menu_0_4544.
17. Ультразвуковой дефектоскоп УД2-70. – http://luch.ru/product.php?article_id=1.