

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

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

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент

Должность, место работы

Подпись

И.О. Фамилия

« ____ » _____ 2018 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

_____ М.А. Иванов

« ____ » _____ 2018 г.

Технология сборки и сварки малогабаритных спирально-щелевых теплообменников

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ)**

Руководитель ВКР

Тиньгаев А.К

Подпись

И.О., Фамилия

« ____ » _____ 2018 г.

Автор ВКР

магистрант группы П-246 Федотов
Владимир Юрьевич

« ____ » _____ 2018 г.

Нормоконтролёр
преподаватель

_____ Ю.В. Безганс

« ____ » _____ 2018 г.

Челябинск, 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 КОНСТРУКТОРСКИЙ РАЗДЕЛ	
1.1 Анализ конструкции изделия.....	7
1.2 Материал изделия и его свариваемость	13
1.3 Условия эксплуатации изделия.....	14
2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	
2.1 Вариант технологического процесса.....	15
2.2 Выбор способа сварки	16
2.3 Выбор сварочных материалов.....	20
2.4 Расчет режимов сварки.....	21
2.4.1 Выбор диаметра электрода	21
2.4.2 Расчет времени сварки	22
2.4.3 Расчет силы сварочного тока	23
2.5 Выбор сварочного оборудования.....	26
3 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ	
3.1 Актуальность	28
3.2 Состояние вопроса исследования	30
3.3 Цель и задачи исследования.....	34
3.4 План эксперимента	35
3.5 Методика обработки эксперимента	36
3.6 Результаты проведенных исследований.....	37
3.7 Работа в системах инженерного анализа.....	40
3.7.1 План проведения численного моделирования	40
3.7.2 Алгоритм выполнения работы по моделированию	41
3.7.3 Результаты эксперимента	61
3.8 Сравнительный анализ результатов моделирования и натуральных экспериментов.....	67
3.9 Выводы по разделу	68
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	69
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	70
ПРИЛОЖЕНИЕ	71

									Лист
									5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.04.01.2018.215.00 ПЗ				

ВВЕДЕНИЕ

В данной работе рассмотрен малогабаритный спирально-щелевой теплообменник.

Теплообменник — техническое устройство, в котором осуществляется теплообмен между двумя средами, имеющими различные температуры.

Теплообменники применяются в технологических процессах нефтеперерабатывающей, нефтехимической, химической, атомной, холодильной, газовой и других отраслях промышленности, в энергетике и коммунальном хозяйстве.

Спиральный теплообменник представляет собой два спиральных канала, навитых из рулонного материала вокруг центральной разделительной перегородки — керна, среды движутся по каналам. Назначение спиральных теплообменников — нагревание и охлаждение высоковязких жидкостей.

					15.04.01.2018.215.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

1 КОНСТРУКТОРСКИЙ РАЗДЕЛ

1.1 Анализ конструкции изделия

Изобретение относится к теплотехнике, а именно к спиральным теплообменникам и способу их изготовления, и может быть использовано в химической, пищевой, нефтеперерабатывающей и других отраслях промышленности. В спиральном теплообменнике, содержащем корпус с подводными и отводящими патрубками, двухканальную спираль из листов, детали, фиксирующие расстояние между листами спирали, упоры, уложенные в каналы с двух сторон спирали, уплотнения торцов каналов, крышки с прокладками по торцам спирали, детали, фиксирующие расстояние между листами спирали, выполнены в виде зигзагообразных проставок, размещаемых вдоль всей спирали.

Способ изготовления спирального теплообменника согласно изобретению, заключается в том, что зигзагообразные проставки размещают между листами в процессе навивки спирали, затем на боковые кромки крайних рядов зигзагообразных проставок укладывают упоры, после чего пространство в каналах между торцами спирали и упорами заполняют уплотняющей массой. Корпус теплообменника предварительно изготавливают из двух полуцилиндров, затем предварительно навитую спираль охватывают полуцилиндрами и скрепляют их между собой по всей длине корпуса. Техническим результатом является упрощение конструкции теплообменника, упрощение технологии изготовления спиральных теплообменников и сокращение затрат на их изготовление.

Изобретение относится к устройствам для проведения теплообменных процессов и может быть использовано в химической, пищевой и нефтеперерабатывающей и других отраслях промышленности. В различных отраслях промышленности широкое применение нашли теплообменники, служащие для передачи тепла от одной среды к другой через стенку из теплопроводного материала, разграничивающую эти среды. Среди них кожухотрубные, пластинчатые, спиральные, змеевиковые и т.п. теплообменники, которые различаются между собой конструктивным исполнением поверхности теплообмена.

Однако этот спиральный теплообменник имеет ряд недостатков: в нем в качестве деталей, фиксирующих расстояние между листами спирали и для создания жесткости листов, использованы штифты, приваренные к одному из листов. Уплотнение спирали производится с использованием упоров, выполненных из вставленной в канал ленты, приваренной к кромкам листов. [1]

										Лист
										7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.04.01.2018.215.00 ПЗ					

Сущность изобретения поясняется чертежами, где:
на рисунке 1.1 - продольный разрез теплообменника,
на рисунке 1.2 - выносной элемент Б на рисунке 1.1;
на рисунке 1.3 - сечение АА по рисунку 1.1;
на рисунке 1.4 - выносной элемент В на рисунке 1.2;
на рисунке 1.5 - зигзагообразные проставки;
на рисунке 1.6 - корпус теплообменника в сборе.

Спиральный теплообменник состоит из корпуса 1, спирали 2, навитой из двух листов 3 и 4 на сердечник 5. Корпус 1 состоит из двух полуцилиндров 1.1 и 1.2 и фланцев 1.3. Между листами 3 и 4 спирали 2 установлены зигзагообразные проставки 6 (рисунок 1.2).

Зигзагообразные проставки 6 применяют двух видов - рядовые проставки 6.1 (рисунок 1.5 «а») и проставки с турбулизаторами 6.2. (рисунок 1.5 «б»). Зигзагообразные проставки 6 изготавливают путем гибки полосовой стали, причем горизонтальные полочки 6.1.1. и 6.2.1. соответствуют расстоянию между листами 3 и 4 спирали 2 (рисунки 1.2, 1.5).

Сердечник 5 разделен на две полости 5.1 и 5.2 (рисунки 1.1, 1.3). К продольной цилиндрической стенке полости сердечника 5.1 приварена внутренняя кромка листа 3, а к продольной цилиндрической стенке полости сердечника 5.2 приварена внутренняя кромка листа 4, при этом в спирали образуются два канала 7 и 8. Наружная кромка листа 3 приварена к продольной кромке полуцилиндра 1.1, а наружная кромка листа 4 приварена к продольной кромке полуцилиндра 1.2. При этом образуются выходы из каналов 7 и 8 (рисунок 1.3), к которым привариваются подводящий и отводящий патрубки 9 и 10 корпуса 1 (рисунок 1.4).

По мере сворачивания спирали 2 (рисунок 1.2) между листами спирали 3 и 4 устанавливаются зигзагообразные проставки 6, причем проставки 6.3, ближние к кромкам листов, устанавливают одну над другой, остальные проставки целесообразно размещать в смежных витках каналов в шахматном порядке. Таким образом устанавливается ширина каналов.

Навитую на сердечник 5 спираль 2 охватывают полуцилиндрами 1.1 и 1.2 (рис.1, 3, 6), скрепляют их между собой по всей длине и приваривают фланцы 1.3, создавая единый сборочный узел корпуса 1 и спирали 2.

На боковые кромки крайних рядов зигзагообразных проставок 6.3 (рисунок 1.2) в каналы 7 и 8 укладывают упоры 11, например, в виде проволоки. Каналы, ближние к торцам спирали (кромкам листов), заполнены уплотняющей массой 12, причем глубину заложения упоров 11 и заполнения торцов каналов уплотняющей массой 12 выбирают из обязательного условия исключения перетока теплоносителя из одного канала в другой. На торцы спирали 2 уложена прокладка 13 в виде листового уплотняющего материала, прижимаемая фланцами 14 к торцам спирали 2 и к уплотняющей массе 12, заполняющей каналы 7 и 8. Под действием прижима фланцем 14 прокладка 13 и уплотняющая масса 12 в каналах 7 и 8 образуют однородное уплотнение.

В качестве уплотняющей массы для теплообменников, работающих в условиях агрессивных или коррозионных сред и/или высоких температур, применяют терморасширенный графит или изделия из графитизированного асбеста или другие материалы с аналогичными свойствами.

Для соединения с полостями сердечника 5.1 и 5.2 (рисунок 1.1) в центральной части фланцев 14 выполнены отверстия. К фланцам 14 присоединены подводящие и отводящие патрубки 15 и 16.

Благодаря такому исполнению теплообменника обеспечивается надежное разделение каналов, благодаря чему исключается переток теплоносителя из одного канала в другой.

В теплообменниках, работающих на загрязненных рабочих средах, в каналы, по которым подается загрязненная среда, для уменьшения оседания взвешенных частиц на стенках каналов в спираль 2 установлены зигзагообразные проставки 6.2, снабженные турбулизаторами 6.2.2, выполненными в виде коротких выступов для создания в канале турбулентного потока.

Расстояние между проставками 6 следует выбирать в зависимости от прочностных характеристик металла, из которого изготовлены листы, и перепада давления теплоносителей в каналах.

Для очистки каналов от возможных отложений следует извлечь из торцов каналов уплотняющую массу 12 и упоры 11 с двух торцов спирали 2 и узкими скребками прочистить каналы. [2]

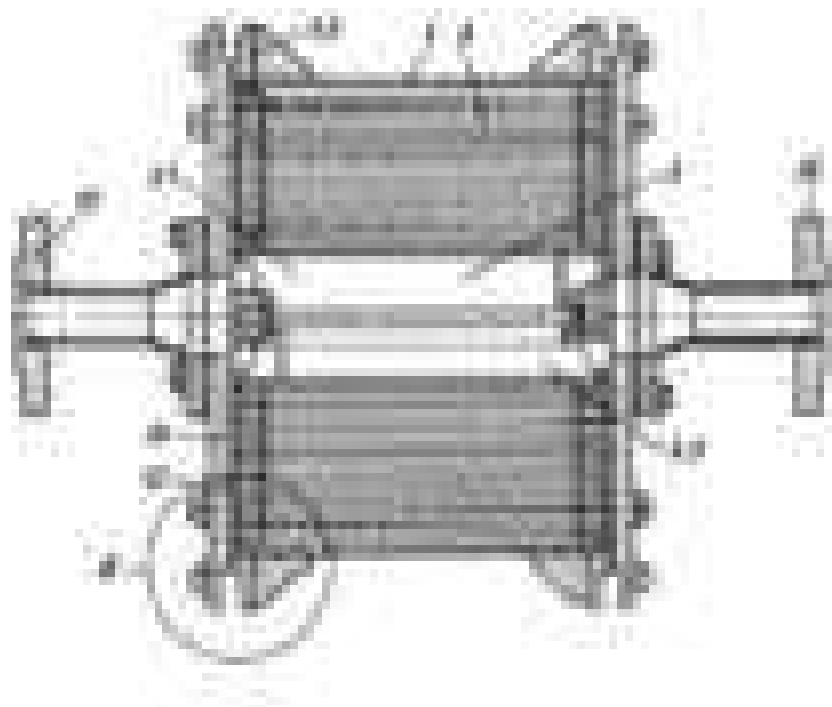


Рисунок 1.1 – Продольный разрез теплообменника

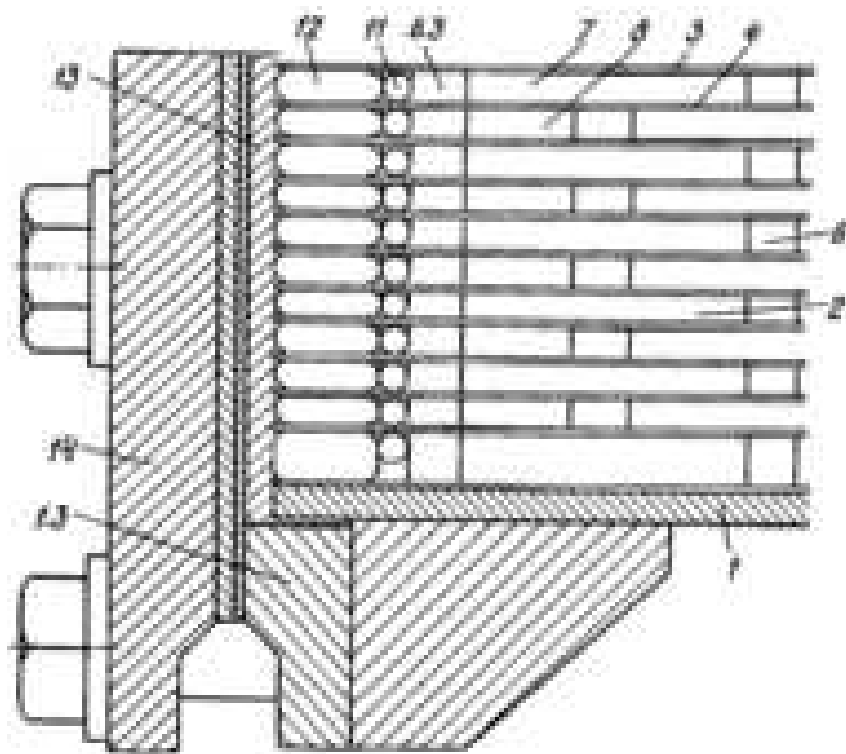


Рисунок 1.2 – Выносной элемент Б на рисунке 1.1

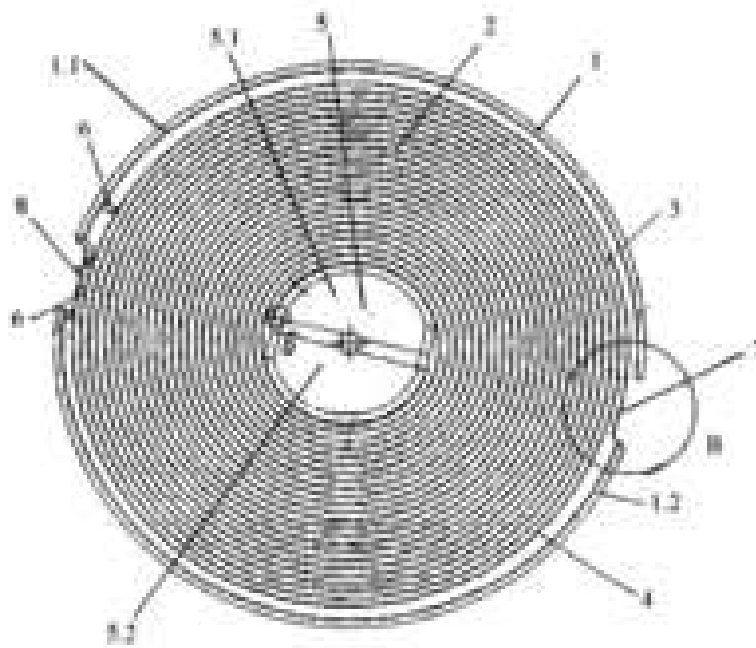


Рисунок 1.3 – Сечение А-А по рисунке 1.1

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15.04.01.2018.215.00 ПЗ

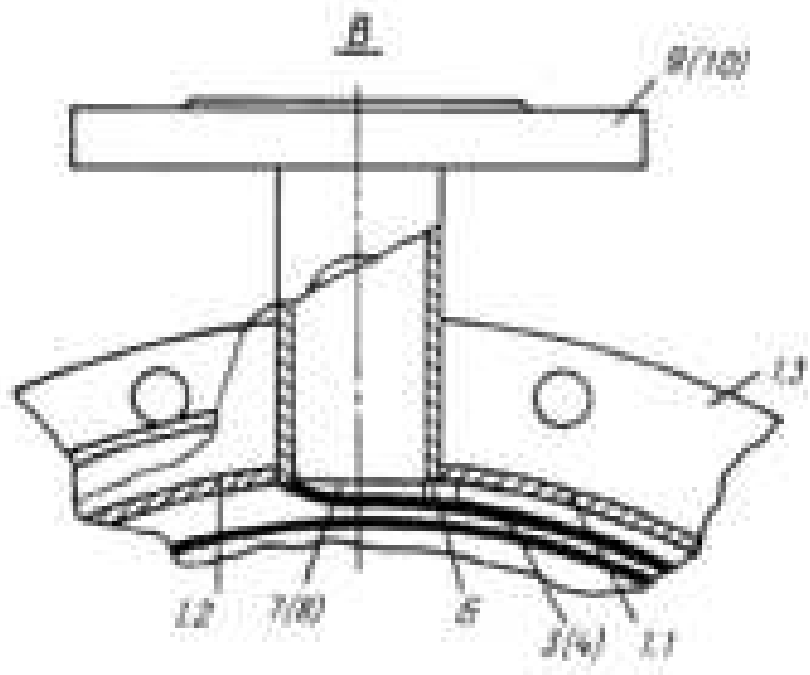


Рисунок 1.4 – Выносной элемент В на рисунке 1.2

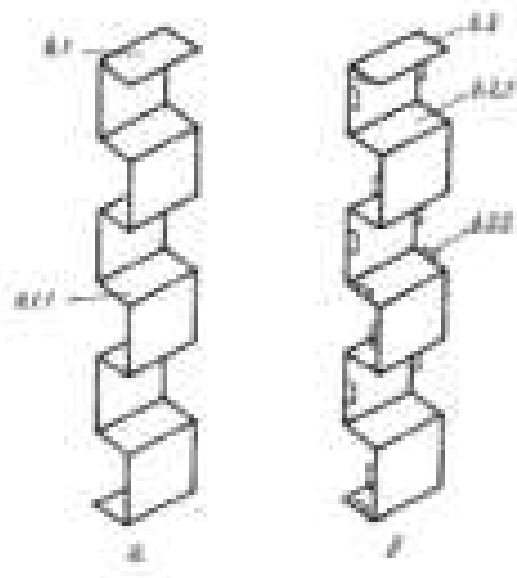


Рисунок 1.5 – Зигзагообразные проставки

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15.04.01.2018.215.00 ПЗ

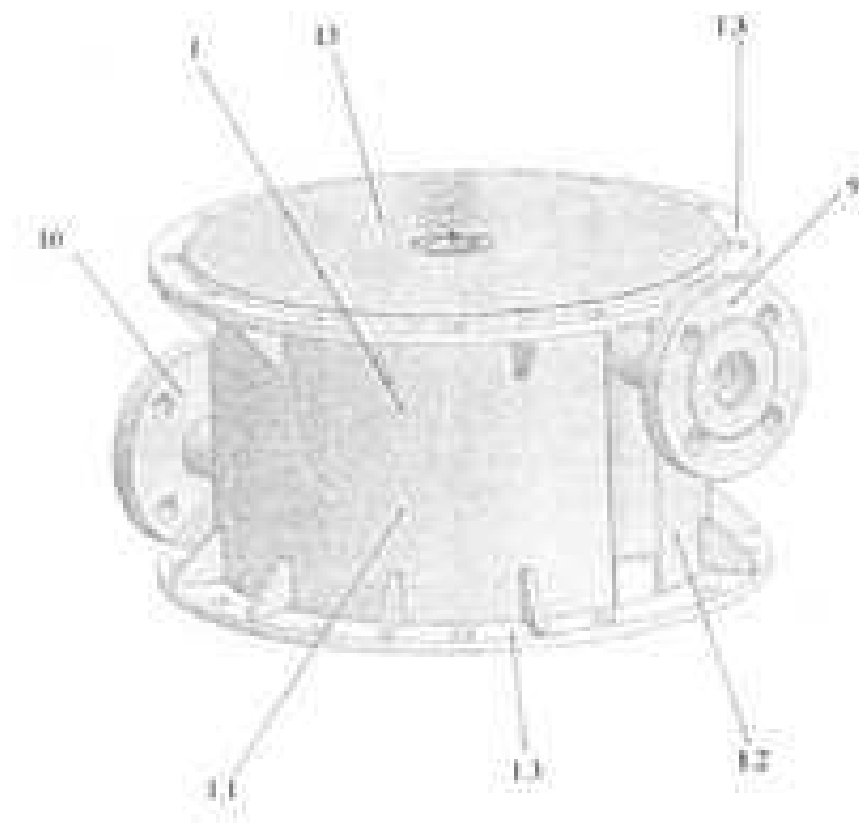


Рисунок 1.6 – Корпус теплообменника в сборе

1.2 Материал изделия и его свариваемость

При изготовлении теплообменника используется сталь марки 12Х18Н10Т.
Класс: Сталь конструкционная криогенная

Химический состав стали 12Х18Н10Т представлен в таблице 1.1

Таблица 1.1 – Химический состав стали

В процентах

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	Ti	Fe
До 0,12	До 0,8	До 2	9 – 11	До 0,02	До 0,035	17 – 19	До 0,3	0,4 – 1	~ 67

Механические свойства стали 12Х18Н10Т представлены в таблице 1.2

Таблица 1.2 – Механические свойства стали

Температура испытаний, °С	$\sigma_{0,2}$ (МПа)	σ_B (МПа)	δ_5 (%)	ψ %	KCU (кДж / см ²)
20	225 – 315	550 – 650	46 – 74	66 – 80	215 – 372
500	135 – 205	390 – 440	30 – 42	60 – 70	196 – 353
550	135 – 205	380 – 450	31 – 41	61 – 68	215 – 353
600	120 – 205	340 – 410	28 – 38	51 – 74	196 – 358
650	120 – 195	270 – 390	27 – 37	52 – 73	245 – 353
700	120 – 195	265 – 360	20 – 38	40 – 70	255 – 353

Сталь марки 12Х18Н10Т относится к хорошо свариваемым сталям. Характерной особенностью сварки этой стали является возникновение межкристаллитной коррозии. Она развивается в зоне термического влияния при температуре 500-800 °С. При пребывании металла в таком критическом интервале температур по границам зерен аустенита выпадают карбиды хрома.

										Лист
										13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.04.01.2018.215.00 ПЗ					

1.3 Условия эксплуатации изделия

Теплообменники применяются в следующих отраслях промышленности: нефтехимия, химия, пищевая и фармацевтическая промышленность, производство растительного масла, водоподготовка и водоочистка, целлюлозно-бумажная, металлургическая и горнодобывающая промышленность.

Применяются в следующих средах: Жидкости, суспензии, жидкости, содержащие волокна и твердые частицы, вязкие жидкости, неньютоновские жидкости, включая различные гидросмеси, растворы полимеров и сточные воды, пары с инертными газами и без них.

Задачи теплообменников: охлаждение, нагрев, рекуперация тепла, (вакуумная) конденсация, испарение, термосифон, ребойлер.

Из всех компактных теплообменников эта конструкция является наиболее уникальной. Типичная область их применения — это теплообмен между загрязненными потоками (пульпы, взвеси), содержащих различные механические примеси, волокна. Они с успехом используются в тех случаях, когда пространство для размещения ограничено. Основная отличительная черта спирального теплообменника заключается в его гидравлике. Постоянное изменение направления движения потока создает значительную турбулентность, более высокую, чем в кожухотрубных теплообменниках, что ограничивает количество и скорость образования отложений и накипи. При этом в спиральных аппаратах оба канала для жидкости, сваренные отдельно друг от друга, легкодоступны для очистки после снятия крышек и извлечения спирали.

Применяются спиральные теплообменники и как конденсаторы. В этом качестве их работа весьма эффективна при установке аппарата непосредственно наверху колонны, что обеспечивает использование сил гравитации в процессе конденсации. В данном случае исключается необходимость установки сливного барабана и насоса, системы напорных и сливных линий, фундамента для основания. Снижение затрат на вспомогательное оборудование позволяет в несколько раз сократить стоимость конденсатора.

										Лист
										14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.04.01.2018.215.00 ПЗ					

2.2 Выбор способа сварки

Данный теплообменник выполнен тремя видами сварки: лазерной, точечной и шовной.

Пример одного из сварных швов теплообменника (рисунок 2.1).

1. Лазерная сварка – сварка с использованием лазера в качестве энергетического источника. Лазерная сварка применяется для сварки одинаковых и разнородных металлов в различных отраслях техники, радиоэлектронике и электронной технике. [8]

Достоинство лазерного излучения - высокая концентрация энергии. Лазерная сварка проводится на плотностях мощности лазерного излучения $E = 10^6 - 10^7$ Вт/см², что позволяет сваривать разные материалы с толщинами от нескольких микрометров до десятков миллиметров.

Сущность лазерного процесса сварки состоит в следующем: лазерное излучение направляется в фокусирующую систему, где фокусируется в пучок меньшего сечения и попадает на свариваемые детали, где частично отражается, частично проникает внутрь материала, где поглощается, нагревает и расплавляет металл, формируя сварной шов.

Лазерную сварку производят сквозным и частичным проплавлением в любом пространственном положении. Сварка проводится непрерывным или импульсным излучением. При сварке изделий малых толщин от 0,05 до 1,0 мм сварка проходит с расфокусировкой лазерного луча.



Рисунок 2.1 – Сварной шов теплообменника

При импульсном лазерном излучении сварной шов образуется сварными точками, с перекрытием на 30 - 90%. Современные сварочные установки с твердотельными лазерами проводят шовную сварку со скоростью до 5 мм/с с частотой импульсов около 20 Гц. Сварку проводится с использованием присадочных материалов (проволока диаметром около 1,5 мм, лента или порошок). Присадка увеличивает объем наплавленного металла.

Лазерная сварка разделяется на три вида: микросварка (толщина или глубина проплавления до 100 мкм), мини-сварка (глубина проплавления от 0,1 до 1 мм), макросварка (глубина проплавления более 1 мм).

Недостатки лазерной сварки:

- высока стоимость лазерных установок;
- низкий КПД (0,01 - 2,0%).

Преимущества лазерной сварки:

- возможность сварки высокоточных конструкций;
- сварка без правок или механической обработки;
- высока скорость сварки и производительность работ (стальной лист толщиной 20 мм электрической дугой сваривают со скоростью 15 м/ч за 5 - 8 проходов, при сварке непрерывным лазерным лучом лист сваривается со скоростью 100 м/ч за 1);
- высокая экологическая безопасность по сравнению с традиционной сваркой.

В состав оборудования для лазерной сварки входит лазер, системы фокусировки излучения, газовая защиты изделия, перемещения луча и изделия.

2. Шовная сварка является разновидностью контактной сварки давлением, поэтому в основу её технологии заложены тепловое воздействие электрического тока по закону Джоуля — Ленца и усилие сжатия свариваемых деталей.

Существует три способа выполнения шовной сварки: непрерывная, прерывистая и шаговая.

Непрерывная шовная сварка осуществляется при непрерывном движении деталей и непрерывном протекании сварочного тока. Толщина свариваемых листов, как правило, не превышает 1 мм. Используется для сварки ответственных изделий из малоуглеродистых сталей.

Прерывистая шовная сварка осуществляется при непрерывном движении деталей и импульсном включении сварочного тока. Герметичность швов, обеспечиваемая перекрытием литых ядер сварных точек, достигается сбалансированным соотношением скорости вращения роликов и частоты импульсов тока. Толщина свариваемых листов – до 3 мм. Способ прерывистой шовной сварки получил наибольшее распространение благодаря меньшему перегреву роликов и заготовок.

Шаговая шовная сварка осуществляется в ходе прерывистого движения деталей (на шаг), с помощью больших величин сварочного тока, включаемого в момент остановки роликов. Характеризуется наименьшим перегревом роликов и заготовок. Толщина свариваемых листов – до 3 мм. Применяется для сварки алюминиевых сплавов и плакированных металлов.

Желательный диаметр электродов 150 – 200 мм, так как при меньшем диаметре увеличивается их износ. При сварке металлов толщиной менее 0,5 мм применяют электроды диаметром 40 – 50 мм. Для изготовления электродов для точечной и роликовой сварки используется медь марки М1, кадмиевая, хромистая, бериллиевая бронзы и другие сплавы

3. Точечная сварка является разновидностью контактной сварки, поэтому в основу её технологии заложены тепловое воздействие электрического тока по закону Джоуля – Ленца и усилие сжатия свариваемых деталей. В процессе сварки ток проходит от одного электрода к другому через металл заготовок. Электроды для контактной точечной сварки изготавливаются из сплавов меди с высокой электропроводностью, чтобы сопротивление в контакте электрод-деталь было минимальным. Поэтому в местах контактов деталь-деталь происходит наибольший нагрев за счет наибольшей величины электрического сопротивления. Разогрев и расплавление металла под действием электрического тока приводит к образованию литого ядра сварной точки, диаметр которой обычно составляет 1 – 16 мм.

Различают мягкий и жесткий режимы точечной сварки.

Мягкий режим характеризуется большей продолжительностью времени сварки и плавным нагревом заготовок умеренными силами тока, с плотностью тока на рабочей поверхности электрода обычно не превышающей 100 А/мм². Время протекания тока обычно 0,5 – 3 секунды. Преимуществами мягких режимов являются меньшие потребляемые мощности, по сравнению с жесткими режимами; меньшие нагрузки сети; менее мощные и более дешевые сварочные машины, необходимые для производства точечной сварки; уменьшение закалки зоны сварки. Мягкие режимы применяют для сварки сталей, склонных к закалке.

Жесткий режим точечной сварки характеризуется малой продолжительностью времени сварки 0,1 – 0,5 секунды, т.е. большими, чем при мягком режиме, значениями силы тока и значительным сжимающим давлением электродов. Плотности тока достигают 120 – 300 А/мм² при сварке стали. Время протекания тока обычно 0,1—1,5 секунды. Давление электродов обычно принимают в пределах 3 – 8 кг/мм². К недостаткам жестких режимов относятся повышенная мощность, потребляемая при сварке; значительные нагрузки сети; мощные сварочные машины. [3]

					15.04.01.2018.215.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

Преимущества – уменьшение времени сварки и повышение производительности. Жесткие режимы применяют при сварке алюминиевых и медных сплавов, с высокой теплопроводностью, деталей неравной толщины и разноименных деталей, а также высоколегированных сталей с целью сохранения коррозионной стойкости.

					15.04.01.2018.215.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

2.3 Выбор сварочных материалов

Для сварки стали 12Х18Н10Т использованы электроды с плоской рабочей поверхностью.

Таким образом, расходные материалы для точечной сварки должны:

1. Иметь определенную форму и размеры поверхности, контактирующей с деталями, чтобы исправно проводить ток и оказывать необходимое давление;
2. Быть устойчивыми к механическим и химическим воздействиям;
3. Максимально эффективно отводить тепло от места сварки.

Таким строгим требованиям наиболее соответствует сплав практически чистой меди с добавлением 0,7% хрома и 0,4% цинка.

Наиболее важным параметром, определяющим качество соединения, является размер сварного ядра. Он напрямую зависит от диаметра рабочей части электрода, который должен быть примерно в 2-3 раза больше толщины самой тонкой свариваемой детали.

По всем стандартам ГОСТ 14111—69, электродные материалы, относящиеся к контактными точечным машинам, должны иметь высокую износостойкость и электропроводность. В первую очередь это объясняется тем, что электроды осуществляют свой рабочий процесс при высоких температурных показателях, а также значительных нагрузках. Кроме того, они используются в качестве токоподвода.

Исследовательские мероприятия вместе с практикой эксплуатации электродов показывают, что их бесперебойный режим работы напрямую зависит от того, как была проделана контактная сварка, а также характера и толщины материалов соединения и общих характеристик металла электродов. Также стоит отметить, что не остается в стороне и их конструкция и условия охлаждения.

					15.04.01.2018.215.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

2.4 Расчет режимов сварки

2.4.1 Выбор диаметра электрода

Расчёты начинают с определения диаметра контактной поверхности электрода $d_э$, который зависит от толщины свариваемого металла S (мм) [11] (1):

$$d_э = 2 \cdot S + 3, \text{ при } S \leq 3 \quad (1)$$

$$d_э = 2 \cdot 1.5 + 3 = 6 \text{ мм}$$

Величина плоской контактной поверхности электрода оказывает влияние на прочность сварной точки. Если контактная поверхность мала, то и точка мала, а малая точка имеет недостаточную прочность. Увеличение контактной поверхности сверх некоторой оптимальной величины при определенной мощности сварочной машины также нежелательно, так как приводит к уменьшению плотности тока, в связи с чем размеры ядра и прочность точки понижаются вначале медленно, а затем быстро. Чрезмерное же увеличение контактной поверхности приводит к опасности появления выплесков.

Диаметр контактной поверхности плоскоконической рабочей части электрода при сварке малоуглеродистой стали выбирается в зависимости от толщины свариваемого материала. При различной толщине свариваемых листов выбор диаметра осуществляется по толщине тонкого листа.

Форма рабочей части электрода выбирается в зависимости от химического состава и толщины свариваемого материала, а также от размеров изделия.

При сварке материала большой толщины форма электрода имеет большое значение, но не оказывает решающего влияния на его стойкость, а также на процесс сварки и её производительность. Это объясняется тем, что непродолжительный нагрев электрода при относительно небольшом удельном давлении ($5 \dots 8 \text{ кг/мм}^2$) на его контактную поверхность не вызывает рекристаллизации материала на большую глубину и, как следствие, не приводит к значительному уменьшению твёрдости и изменению формы. [11]

					15.04.01.2018.215.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

2.4.2 Расчет времени сварки

Время сварки рассчитывается по формуле [12] (2):

$$t_{св} = K_t \cdot S, \text{ где} \quad (2)$$

$S = 1,5$ мм – толщина свариваемого металла;

$K_t = 660$ – коэффициент сварки, выбираемы в зависимости от материала и толщины

$$t_{св} = 660 \cdot 0,0015 = 1 \text{ сек}$$

Время сварки зависит от марки, свариваемой стали. Благодаря низкому содержанию углерода, сталь имеет относительно высокое электросопротивление (в 8-10 раз превышающего сопротивление меди), что и влияет на время сварки.

					15.04.01.2018.215.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

2.4.3 Расчет силы сварочного тока

Величина сварочного тока $I_{св}$ определяется по закону Джоуля-Ленса [11] (3):

$$I_{св} = \sqrt{\frac{Q_{ээ}}{k_3 \cdot R_{д.кон} \cdot t_{св}}}, \text{ где} \quad (3)$$

$k_3 = 1,2$ – коэффициент учитывающий изменение сопротивления во время сварки;

$R_{д.кон} = 32 \times 10^{-5}$ Ом – сопротивление детали к концу нагрева;

$t_{св} = 1$ сек – время сварки;

$Q_{ээ}$ – теплота выделяемая на участке. Она находится по формуле:

$Q_{ээ} = Q_1 + Q_2 + Q_3$, где:

Q_1 – энергия, расходуемая на нагрев металла до температуры плавления;

Q_2 – энергия, расходуемая на нагрев кольца металла шириной x_2 ограничивающее литое ядро;

Q_3 – потери тепла на теплоотвод в охлаждаемые электроды.

Таким образом, энергию, расходуемую на нагрев металла до температуры плавления Q_1 найдем по формуле (4):

$$Q_1 = \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} \cdot 2 \cdot \delta \cdot c \cdot \gamma \cdot T_{пл}, \text{ где} \quad (4)$$

$\delta = 1,3$ мм – наименьшая толщина деталей;

$d_3 = 6$ мм – диаметр электродов;

$c = 769$ Дж/кг $^\circ$ К – удельная теплоемкость металла;

$\gamma = 7920$ кг/м 3 – удельный вес металла;

$T_{пл} = 1713$ $^\circ$ К – температура плавления металла.

$$Q_1 = \frac{3,14 \cdot 0,006^2}{4} \cdot 2 \cdot 0,0013 \cdot 769 \cdot 7920 \cdot 893 = 766 \text{ Дж}$$

Энергия, расходуемая на нагрев кольца металла, диаметром x_2 , ограничивающее литое ядро, найдем по формуле (5):

$$Q_2 = k_1 \cdot \pi \cdot x_2 \cdot (d_я + x_2) \cdot 2 \cdot \delta \cdot c \cdot \gamma \cdot \frac{T_{пл}}{4}, \text{ где} \quad (5)$$

$\delta = 1,3$ мм – наименьшая толщина деталей;

$k_1 = 0,8$ – коэффициент учитывающий, что средняя температура кольца x_2

несколько ниже $\frac{T_{пл}}{4}$;

$d_{\text{я}} = 4$ мм – диаметр ядра;

$c = 769$ Дж/кг $^{\circ}$ К – удельная теплоемкость металла;

$\gamma = 7920$ кг/м 3 – удельный вес металла;

$T_{\text{пл}} = 1713$ $^{\circ}$ К – температура плавления металла;

x_2 – ширина кольца металла, ограничивающее литое ядро. Находится по формуле (6):

$$x_2 = 3,1\sqrt{t_{\text{св}}} \cdot 10^{-2}, \text{ где} \quad (6)$$

$t_{\text{св}} = 1$ с – время сварки.

$$x_2 = 3,1\sqrt{1} \cdot 10^{-2} = 0,031 \text{ м}$$

Отсюда найдем энергию, расходуемую на нагрев кольца металла Q_2 :

$$Q_2 = 0,8 \cdot 3,14 \cdot 0,031 \cdot (0,004 + 0,031) \cdot 2 \cdot 0,0013 \cdot 769 \cdot 7920 \cdot \frac{1713}{4} \\ = 18483 \text{ Дж}$$

Потери тепла на теплоотвод в охлаждаемые электроды, найдем по формуле (7):

$$Q_3 = 2 \cdot k_2 \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{я}}^2}{4} \cdot x_3 \cdot c_3 \cdot \gamma_3 \cdot \frac{T_{\text{пл}}}{8}, \text{ где} \quad (7)$$

$k_2 = 1$ – коэффициент, учитывающий форму электрода для цилиндра;

$d_{\text{я}} = 4$ мм – диаметр ядра;

$c_3 = 371$ Дж/кг $^{\circ}$ К – удельная теплоемкость меди, из которой изготовлены электроды;

$\gamma_3 = 8900$ кг/м 3 – удельный вес меди, из которой изготовлены электроды;

$T_{\text{пл}} = 1083$ $^{\circ}$ К – температура плавления металла;

x^3 – высота цилиндрика металла. Находится по формуле (8):

$$x_3 = 2,5\sqrt{t_{\text{св}}} \cdot 10^{-2}, \text{ где} \quad (8)$$

$t_{\text{св}} = 1$ с – время сварки.

					15.04.01.2018.215.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

$$x_3 = 2,5\sqrt{1} \cdot 10^{-2} = 0,025 \text{ м}$$

$$Q_3 = 2 \cdot 1 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,004^2}{4} \cdot 0,025 \cdot 371 \cdot 8900 \cdot \frac{1083}{8} = 280,7 \text{ Дж}$$

$$Q_{\Sigma} = 766 + 18483 + 280,7 = 19529,7 \text{ Дж}$$

Величина сварочного тока $I_{\text{св}}$ будет равна:

$$I_{\text{св}} = \sqrt{\frac{19529,7}{1,2 \cdot 32 \cdot 10^{-5} \cdot 1}} = 7131 \text{ А}$$

					15.04.01.2018.215.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

2.5 Выбор сварочного оборудования

Для проведения эксперимента была выбрана машина контактной сварки МТР-1201 УХЛ4 (рисунок 2.2).

Данная машина предназначена для электрической контактной точечной сварки деталей из листовой низкоуглеродистой стали при повторно-кратковременном режиме.

Технические характеристики машины:

1. Номинальное напряжение питающей сети380 В
2. Номинальная частота50 Гц
3. Число фаз 1
4. Наибольший вторичный ток короткого замыкания 12000 А
5. Номинальный длительный вторичный ток, не менее 3200 А
6. Коэффициент мощности 0.6
7. Наибольшая мощность при коротком замыкании, не более40 кВА
8. Номинальный режим работы (ПВ) 10 %
9. Мощность при ПВ=50%, не более 18 кВА
10. Номинальное усилие сжатия 380 Н
11. Наибольшее усилие сжатия (при давлении 0.5МПа), не менее 380 Н
12. Наименьшее усилие сжатия (при давлении 0.1МПа), не более 76 Н
13. Номинальное давление сжатого воздуха 0.5 МПа
14. Вылет номинальный 260 мм
15. Раствор номинальный 230 мм
16. Расход сжатого воздуха0.025 м³/100 ходов
17. Расход охлаждающей воды, не более 300 л/ч
18. Сечение кабеля подключения машины к питающей сети, не менее 10мм²
19. Комплектуется регулятором цикла сварки серия РКС
20. Рекомендуемая толщина свариваемых деталей, из низкоуглеродистых сталей:
жесткий режим от 0.2+0.2 до 1.4+1.4 мм;
мягкий режим до 3+3 мм.
21. Рекомендуемая толщина свариваемых деталей из нержавеющей сталей
..... от 0.5+0.5 до 1.4+1.4 мм
22. Наибольшая кратковременная производительность 170 св/мин
23. Габаритные размеры:
Ширина (по основанию) 300 мм
Длина (по основанию и хоботам) 900 мм
Высота (с РКС) 1310 мм
24. Масса машины 1310 кг

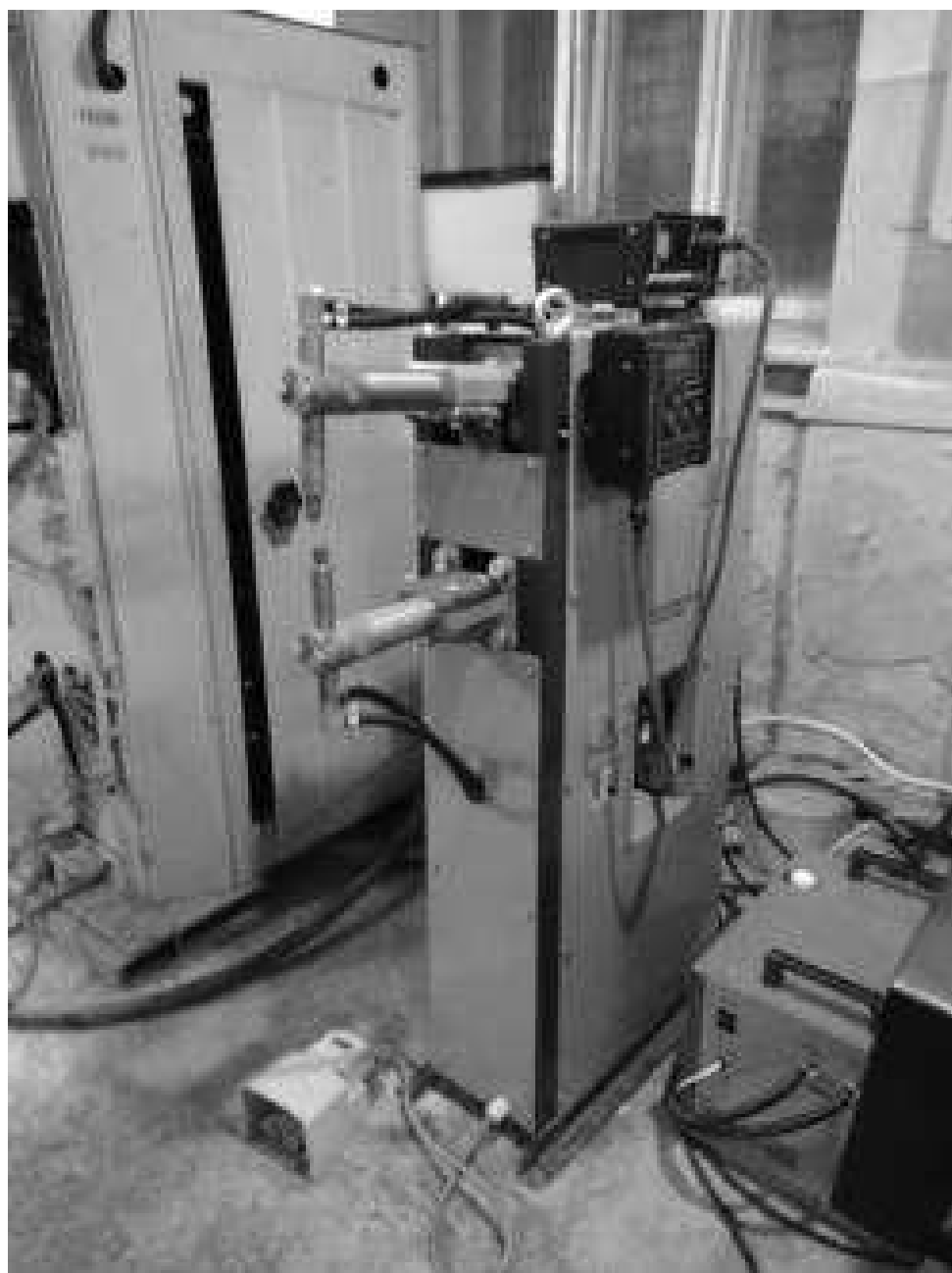


Рисунок 2.2 – Машина контактной сварки МТР-1201 УХЛ4

Машина контактной сварки МТР-1201 УХЛ4 предназначена для электрической контактной точечной сварки деталей из листовой низкоуглеродистой стали при повторно-кратковременном режиме.

МТР-1201 отличается универсальностью, компактностью, быстродействием, простотой в эксплуатации. Предназначена для интенсивной работы в условиях разнообразного производства.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15.04.01.2018.215.00 ПЗ

Лист

27

3 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

3.1 Актуальность

Теплообменники применяются в следующих отраслях промышленности: нефтехимия, химия, пищевая и фармацевтическая промышленность, производство растительного масла, водоподготовка и водоочистка, целлюлозно-бумажная, металлургическая и горнодобывающая промышленность.

Применяются в следующих средах: Жидкости, суспензии, жидкости, содержащие волокна и твердые частицы, вязкие жидкости, неньютоновские жидкости, включая различные гидросмеси, растворы полимеров и сточные воды, пары с инертными газами и без них.

Задачи теплообменников: охлаждение, нагрев, рекуперация тепла, (вакуумная) конденсация, испарение, термосифон, ребойлер.

Из всех компактных теплообменников эта конструкция является наиболее уникальной. Типичная область их применения — это теплообмен между загрязненными потоками (пульпы, взвеси), содержащих различные механические примеси, волокна. Они с успехом используются в тех случаях, когда пространство для размещения ограничено. Основная отличительная черта спирального теплообменника заключается в его гидравлике. Постоянное изменение направления движения потока создает значительную турбулентность, более высокую, чем в кожухотрубных теплообменниках, что ограничивает количество и скорость образования отложений и накипи. При этом в спиральных аппаратах оба канала для жидкости, сваренные отдельно друг от друга, легкодоступны для очистки после снятия крышек и извлечения спирали.

Применяются спиральные теплообменники и как конденсаторы. В этом качестве их работа весьма эффективна при установке аппарата непосредственно наверху колонны, что обеспечивает использование сил гравитации в процессе конденсации. В данном случае исключается необходимость установки сливного барабана и насоса, системы напорных и сливных линий, фундамента для основания. Снижение затрат на вспомогательное оборудование позволяет в несколько раз сократить стоимость конденсатора.

Основные применения данных теплообменников:

Конденсация и испарение. При использовании в качестве конденсаторов спиральные теплообменники демонстрируют свою универсальность. Они являются оптимальным решением особенно в случаях конденсации смешанных паров и парогазовых смесей с инертными газами. Идеальная для этих целей геометрия плоских концентрических однопроточных каналов обеспечивает максимальное извлечение продукта.

										Лист
										28
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.04.01.2018.215.00 ПЗ					

При конденсации возможно три варианта организации потоков: прямоток или противоток, если позволяют допустимые потери давления, поперечные потоки, а также их комбинация. Для полной конденсации пара, особенно с высокой концентрацией инертного газа, требуется достаточно большое время взаимодействия с охлаждающей средой. Это может быть реализовано в спиральном теплообменнике.

Кроме того, конденсат и/или инертный газ могут переохлаждаться внутри одного и того же теплообменника. При чем пар свободно проходит сквозь щелевой спиральный канал перпендикулярно плоскости спирали, а охлаждающая среда движется по полностью закрытому спиральному каналу.

Важным преимуществом применения спиральных теплообменников в качестве конденсаторов является их конструкция, позволяющая присоединять теплообменники при помощи фланцев или сварки непосредственно сверху ректификационной колонны. Такое решение часто используется при реализации многоступенчатых конденсаторов. Установка спиральных теплообменников на колонну существенно сокращает затраты на монтаж, так как сокращает до минимума работы по трубной обвязке. [5]

					15.04.01.2018.215.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

3.2 Состояние вопроса исследования

Устройство и принцип работы спирального теплообменника: Два или четыре длинных металлических листа укладываются спиралью вокруг центральной трубы, образуя два или четыре однопроточных канала. Для того, чтобы обеспечить постоянную величину зазоров к одной стороне листов привариваются разделительные шипы. Центральная труба при помощи специальной перегородки разделена на две камеры, которые образуют входной и выходной коллектор. Скрученные спирали помещаются в цилиндрический кожух. Внешние концы спиральных листов привариваются вдоль образующей обечайки. Для выхода каналов наружу в местах фиксации краев каналов в кожухе просверливаются отверстия, которые герметично закрываются входным и выходным коллекторами с присоединительными патрубками. [4]

Движение потоков в спиральных теплообменниках происходит по криволинейным каналам близким по форме к концентрическим окружностям. Направление векторов скоростей движения потоков постоянно претерпевают изменение. Геометрия каналов и разделительные шипы создают значительную турбулентность уже при низких скоростях потоков, при этом улучшается теплопередача и уменьшается загрязнение. Все это обуславливает компактность конструкции спиральных теплообменников, которые могут быть интегрированы с любой технологической линией, что значительно сокращает затраты на установку.

Возможные конфигурации потоков:

- Противоток (наиболее часто);
- Перекрестные потоки (обычно в конденсаторах и испарителях);
- Параллельные потоки (редко);
- Комбинации вышеназванных.

Благодаря прочной и жесткой цельносварной конструкции, а также тому, что спиральные теплообменники мало подвержены загрязнению, затраты на их обслуживание сведены до минимума. Спиральные теплообменники часто являются наиболее оптимальным и экономичным решением задач теплообмена. Поскольку геометрия каналов может быть изменена в широких пределах, спиральные теплообменники действительно оптимально адаптируются к требованиям Заказчика. Несмотря на изменяющиеся массовые расходы и различия в требуемых температурах, спиральный теплообменник зачастую позволяет осуществлять теплопередачу в одном и том же устройстве на разных режимах и неполной нагрузке.

					15.04.01.2018.215.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

Спиральные теплообменники представляют собой длинные щелевые однопроточные каналы, свернутые в спираль. Таким образом, в спиральных теплообменниках может быть достигнута практически любая тепловая длина взаимодействия двух сред, а значит и разность температур потоков меньше 3°C. При этом, в спиральных теплообменниках возможен нагрев или охлаждение "проблемных" технологических сред, для которых недопустимы резкие повороты потоков, провоцирующие блокировку каналов. В спиральных теплообменниках существует большое разнообразие вариантов изготовления разделительных перегородок центральной трубы. Каждый адаптирован к выполнению определенных задач и позволяет выбрать оптимальное решение для любого применения.

Важная особенность конструкции предлагаемых спиральных теплообменников — это использование непрерывных (цельных) металлических листов от центральной трубы до кожуха, что позволяет практически полностью исключить сварные швы и внутри, и в труднодоступных местах теплообменников.

Преимущества спиральных теплообменников:

- Широкий диапазон рабочих температур и давлений;
- Компактная конструкция (например, 700 м² в 6 м³);
- Широкий рабочий диапазон (10 – 100% от расчетной нагрузки);
- Высокие коэффициенты теплопередачи;
- Высокая турбулентность;
- Пониженная загрязняемость;
- Меньшее количество остановов на обслуживание;
- Высокий самоочищающий эффект при применении сильно загрязненных жидкостей;
- Легкая очистка механическим и химическим способом;
- Отсутствие ограничений при выборе величины зазора канала;
- Массовые расходы по обеим сторонам могут значительно отличаться;
- Низкие потери давления;
- Большой выбор материалов уплотнений;

					15.04.01.2018.215.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

Технические характеристики спиральных теплообменников:

Монтаж и установка

Как правило, спиральные теплообменники поставляются с опорной рамой, в которой теплообменник может свободно поворачиваться, что обеспечивает:

- Легкий дренаж;
- Простой доступ с целью осмотра или чистки;
- Простоту установки и снятия крышек и уплотнений.

Стандартное исполнение патрубков спиральных теплообменников и их ориентация упрощают и удешевляют трубную обвязку, а также обеспечивает простоту выпуска воздуха из обоих каналов (с возможностью автоматизации этого процесса). Спиральные теплообменники в применениях с суспензиями и шламами, которые требуют частого открывания, обычно оснащаются специальными поддерживающими крышки петлями.

Спиральные теплообменники практически не нуждаются в обслуживании, кроме случаев, обусловленных свойствами/характеристиками сред и рабочими условиями. Периодически требуется выполнение следующих мероприятий (периодичность определяется применением: от раза в месяц до раза в несколько лет):

- Химическая чистка (без разборки) – эффективна при одноходовой конструкции;
- Механическая чистка – легко осуществляется благодаря относительно небольшой ширине каналов;
- Замена уплотнений.

Экономичность спиральных теплообменников:

- Низкие затраты на установку;
- Небольшие площади для размещения;
- Возможность интегрирования с другим оборудованием;
- Простота монтажа и перемещения;
- Низкие расходы на обслуживание.

Преимущества теплообменников нового поколения:

1. Энергосбережение.

Спиральная конструкция и оптимальные условия движения рабочих сред в обоих каналах теплообменника обеспечивают высокую теплопередачу и снижают затраты обычно необходимые для изменения температур рабочих сред.

2. Низкие затраты на установку в силу компактности.

Теплообменник создан с целью максимально увеличить поверхность передачи тепла в минимально возможном пространстве. Он может быть установлен как вертикально, так и горизонтально. Минимальные затраты на монтаж гарантированы в любом варианте.

										Лист
										32
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.04.01.2018.215.00 ПЗ					

3. Низкие затраты на обслуживание.
Легкий доступ для инспекций и чистки.

4. Низкие затраты на содержание за счет эффекта самоочистки.
Мультиканальные аппараты позволяют рабочей среде выбирать канал с наименьшим сопротивлением, засоренные каналы становятся нерабочими. Спиральная одноканальная конструкция позволяет не снижать интенсивность потока, а наоборот увеличивать, до тех пор, пока засор или отложения не очистятся самим потоком. [5]

					15.04.01.2018.215.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

3.3 Цель и задачи исследования

Целью данных исследований является выбор технологии изготовления малогабаритных спирально-щелевых теплообменников.

Задачи:

1. Провести литературный обзор.
2. Выбрать способ сварки.
3. Рассчитать параметры режимов сварки.
4. Заварить опытные образцы. Получить качественное сварное соединение (провести натурный эксперимент).
5. Провести механические испытания
6. Произвести моделирование.
7. Провести сравнительный анализ результатов моделирования и натурального эксперимента, на основе полученных данных.

					15.04.01.2018.215.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

3.4 План эксперимента

1. Подготовить пластины марки 12Х18Н10Т, размером 40x120x1.5 мм, в количестве 10 шт.
2. Произвести точечную сварку пластин, на разных режимах.
3. Провести механические испытания на растяжение на машине УМ-5.
4. Провести сравнительный анализ полученных результатов. Построить графики.
5. Сделать выводы по работе.

					15.04.01.2018.215.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

3.5 Методика обработки эксперимента

Перед началом эксперимента были выбраны режимы сварки для проведения десяти опытов:

Таблица 3.1 – Режимы сварки

№ опыта	Напряжение холостого хода $U_{хх}$, В	Время сварки $t_{св}$, с	Усилие сжатия электродов $F_{сж}$, Н
1, 2	2.6	0.5	152
3, 4	2.8	0.5	152
5, 6	3	0.5	152
7, 8	2.6	0.7	152
9, 10	2.6	0.3	152

При выборе режимов менялся только один параметр.

Толщина пластин $\Delta_1, \Delta_2 = 2$ мм, $d_э = 6.5$

3.6 Результаты проведенных исследований

Результаты опытов.

1 опыт:

Получаем диаметр точки $d_t = 6.5$ мм, диаметр ядра $d_{я} = 3.5$ мм.
Необходимая сила на разрыв равна 765 кгс.

2 опыт:

Получаем диаметр точки $d_t = 6.4$ мм, диаметр ядра $d_{я} = 3.4$ мм.
Необходимая сила на разрыв равна 760 кгс.

3 опыт:

Получаем диаметр точки $d_t = 7.1$ мм, диаметр ядра $d_{я} = 3.7$ мм.
Необходимая сила на разрыв равна 1000 кгс.

4 опыт:

Получаем диаметр точки $d_t = 7.0$ мм, диаметр ядра $d_{я} = 3.6$ мм.
Необходимая сила на разрыв равна 990 кгс.

5 опыт:

Получаем диаметр точки $d_t = 7.5$ мм, диаметр ядра $d_{я} = 5$ мм.
Необходимая сила на разрыв равна 1382 кгс.

6 опыт:

Получаем диаметр точки $d_t = 7.4$ мм, диаметр ядра $d_{я} = 4.9$ мм.
Необходимая сила на разрыв равна 1370 кгс.

7 опыт:

Получаем диаметр точки $d_t = 7$ мм, диаметр ядра $d_{я} = 4$ мм.
Необходимая сила на разрыв равна 884 кгс.

8 опыт:

Получаем диаметр точки $d_t = 6.9$ мм, диаметр ядра $d_{я} = 3.9$ мм.
Необходимая сила на разрыв равна 880 кгс.

9 опыт:

Получаем диаметр точки $d_t = 5.6$ мм, диаметр ядра $d_{я} = 3.9$ мм.
Необходимая сила на разрыв равна 576 кгс.

10 опыт:

Получаем диаметр точки $d_t = 5.7$ мм, диаметр ядра $d_{я} = 4$ мм.
Необходимая сила на разрыв равна 580 кгс.

					15.04.01.2018.215.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

Полученные результаты эксперимента приведены на графиках:

Зависимость диаметра точки от напряжения (рисунок 3.1):

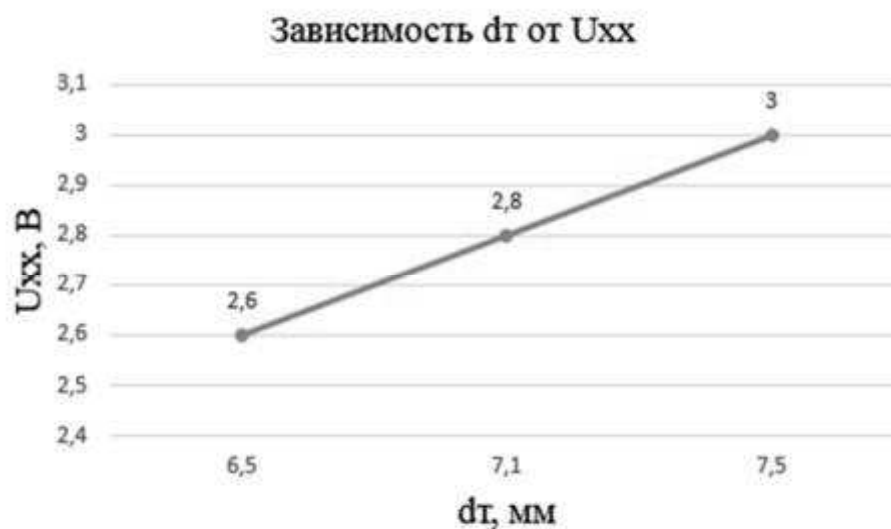


Рисунок 3.1 – График зависимости dT от U_{XX}

Зависимость диаметра точки от времени сварки (рисунок 3.2):

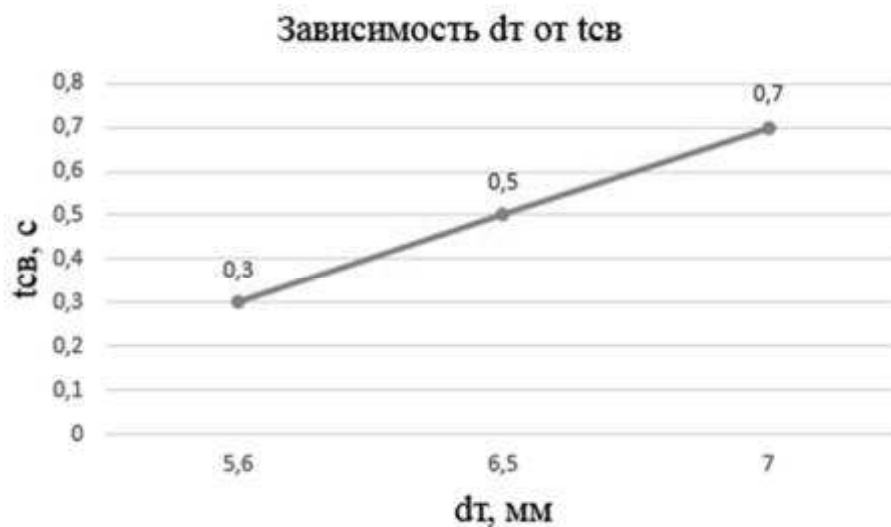


Рисунок 3.2 – График зависимости dT от $t_{св}$

Зависимость усилия разрыва от напряжения (рисунок 3.3):

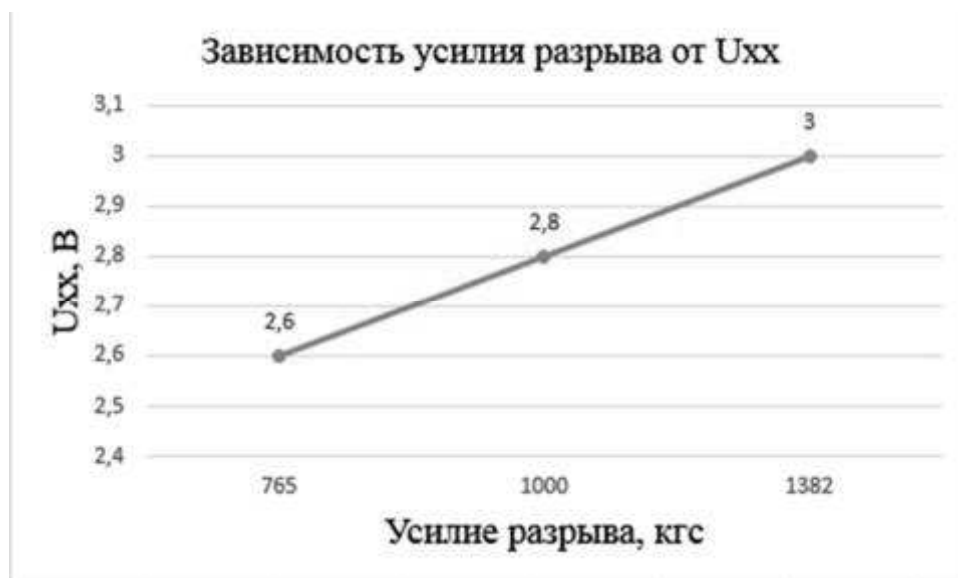


Рисунок 3.3 – График зависимости усилия разрыва от Uxx

Зависимость усилия разрыва от времени сварки (рисунок 3.4):

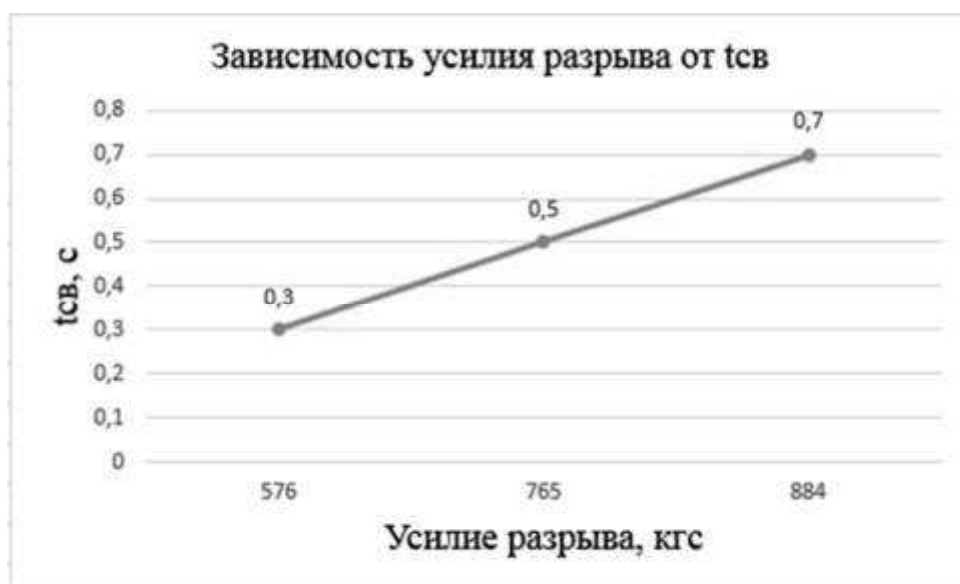


Рисунок 3.4 – График зависимости усилия разрыва от tсв

В результате проведенного эксперимента можно сказать, что при увеличении напряжения и времени сварки, растет диаметр точки, вместе с ним мы получаем более прочное соединение. Самое качественное сварное соединение получилось в опыте 3, в котором необходимая сила на разрыв равняется 1382 кгс.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

3.7 Работа в системах инженерного анализа

3.7.1 План проведения численного моделирования

1. Моделирование сварных пластин толщиной 2 мм в ESI SYSWELD.
2. Разметить точки на пластинах на расстоянии L 40, 60, 80 мм.
3. Сварить пластины в WELD PLANER при разном расстоянии L и разных диаметрах точки D_T .
4. Произвести сравнительный анализ коробления. Построить графики зависимости коробления от расстояния L и D_T .
5. Сделать выводы по работе. Произвести сравнительный анализ результатов моделирования и натуральных экспериментов.

					15.04.01.2018.215.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

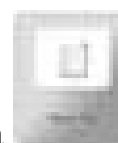
3.7.2 Алгоритм выполнения работы по моделированию





Запускаем программу Visual-Weld находящуюся на рабочем столе. В появившемся окне, во вкладки Applications (вкладка находится в левом верхнем углу) (рисунок 3.5) выбираем Mesh



Рисунок 3.5 – Выбор вкладки



В появившемся окне выбираем пункт создание нового файла

Создаем нашу модель, для этого, во вкладке , выбираем пункт  (рисунок 3.6)

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата



Рисунок 3.6 – Выбор пункта

В появившемся окне (рисунок 3.7) задаем координаты первой точки



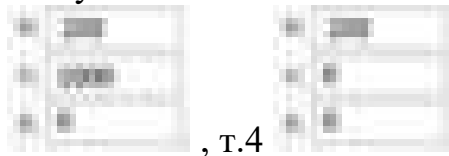
Рисунок 3.7 – Задание координат

После чего нажимаем клавишу . Задаем координаты второй точки



, нажимаем клавишу . Аналогично задаем последующие 3

точки с координатами: т.3



, т.4 .

Во вкладке 2D выбираем пункт  (рисунок 3.8)



Рисунок 3.8 – Выбор пункта

В появившемся окне (рисунок 3.9) выбираем 



Рисунок 3.9 – Выбор четырех точек

В рабочем окне выбираем 4 точки. В правой части экрана нажимаем .

Появилось новое окно 2D Mesh, задаем , ,



(рисунок 3.10).



Рисунок 3.10 – Задание размера элемента

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Нажимаем на цифры, которые на гранях прямоугольника, тянем их вниз или вверх (рисунок 3.11)

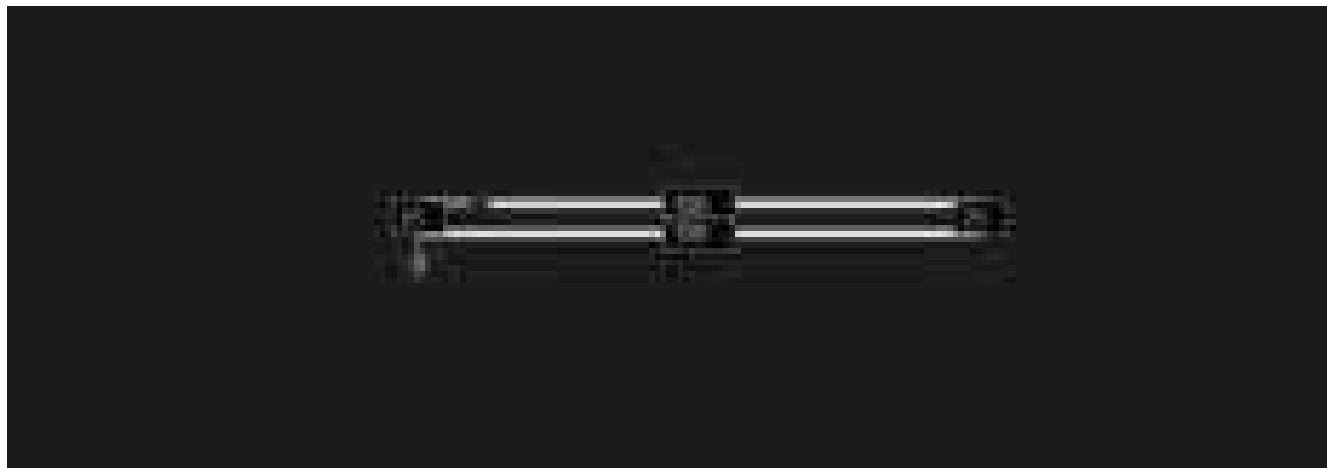
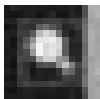
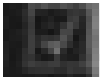


Рисунок 3.11 – Задание размеров детали

В правой части экрана нажимаем , затем .

Получаем сетку (рисунок 3.12)

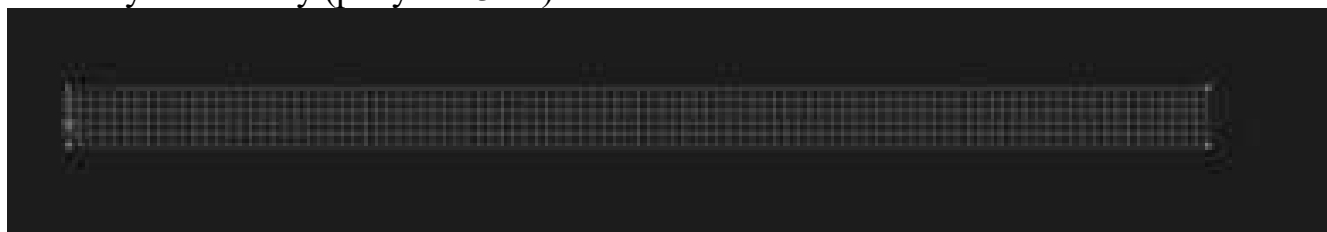


Рисунок 3.12 – Сетка

Выбираем точку, в левой части пластины, на которой мы хотим варить (рисунок 3.13)

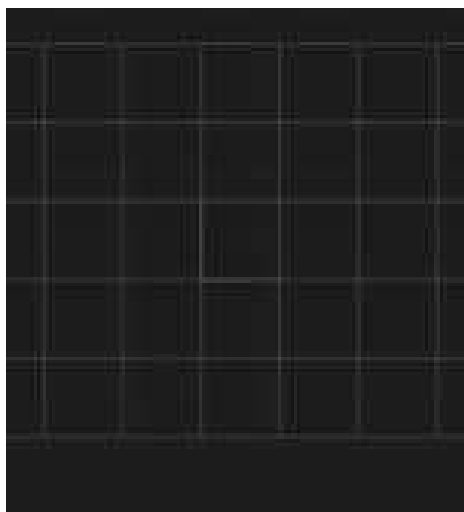


Рисунок 3.13 – Выбор сварной точки

Во вкладке 2D выбираем пункт Split (рисунок 3.14)

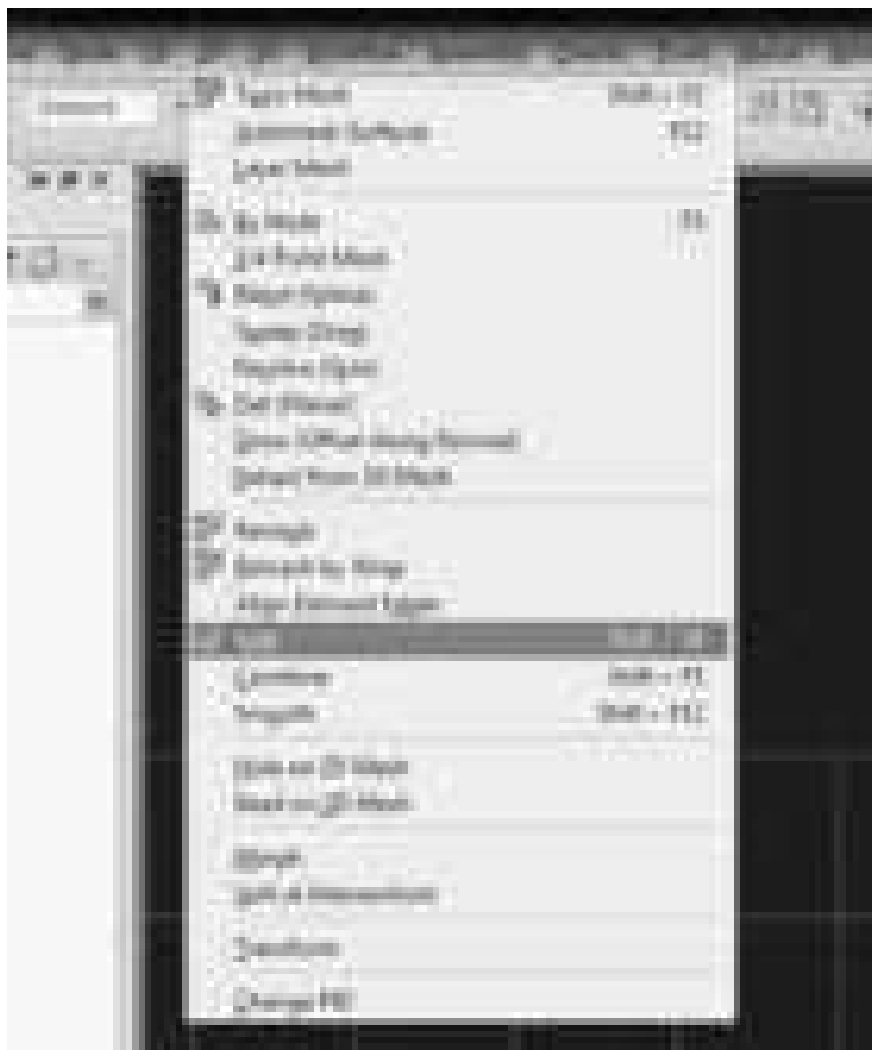


Рисунок 3.14 – Выбор пункта

В появившемся окне (рисунок 3.15), выбираем отмеченный метод



Рисунок 3.15 – Выбор метода

Получаем точку (рисунок 3.15)

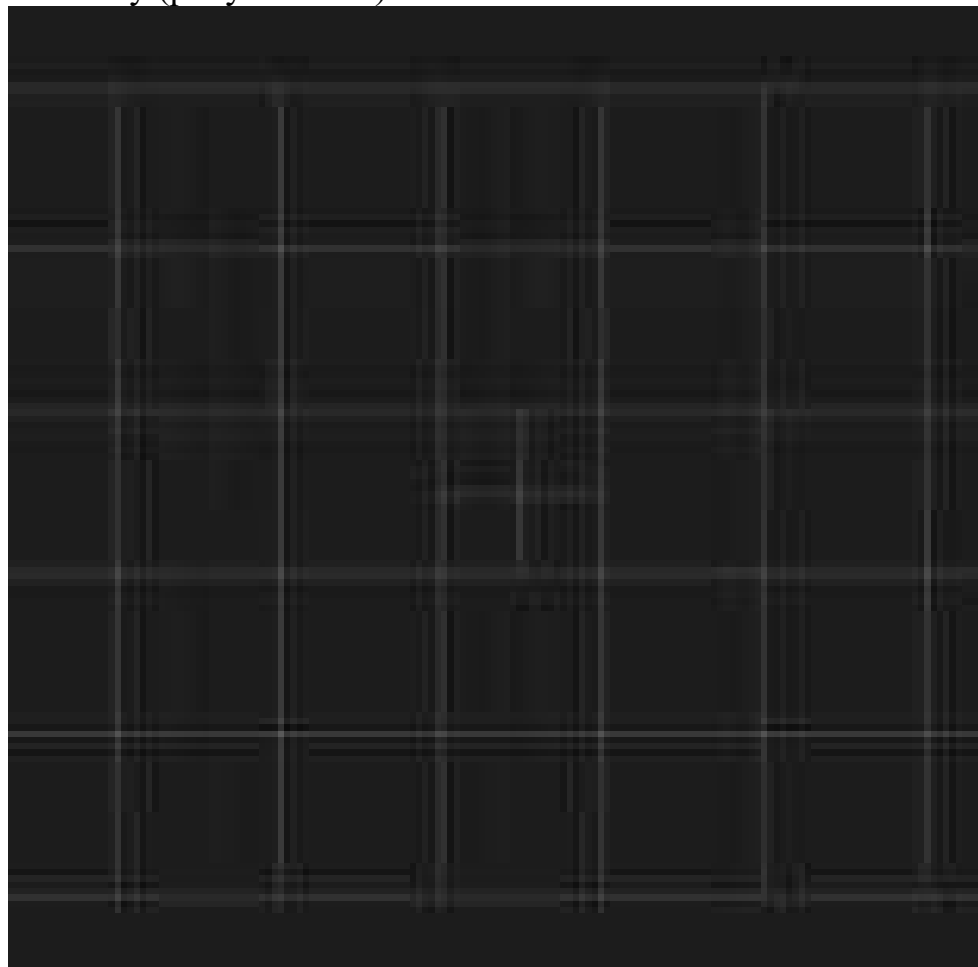


Рисунок 3.16 – Точка

Во вкладке 2D выбираем пункт Remesh (рисунок 3.17)

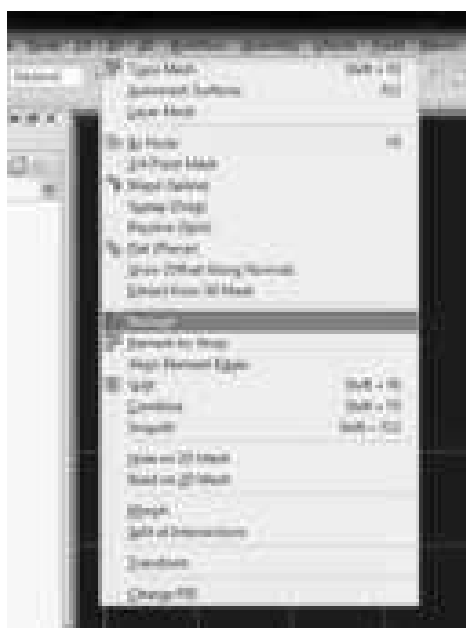


Рисунок 3.17 – Выбор пункта

Выделяем область вокруг точки (рисунок 3.18)



Рисунок 3.18 – Выделенная область

Нажимаем Ок.

Появляется настройка сетки, вытягиваем грани внутреннего квадрата до 10 (рисунок 3.19)

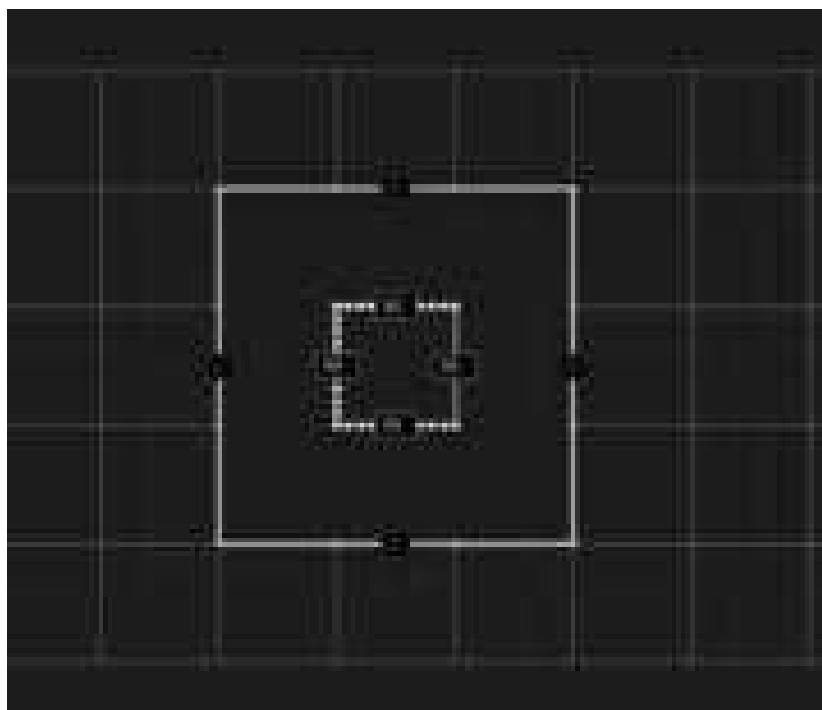



Рисунок 3.19 – Размеры точки

Жмем , затем в окне 2D Mesh, в Element Options, выбираем Type: Quad-Tria, Order: Linear (рисунок 3.20).

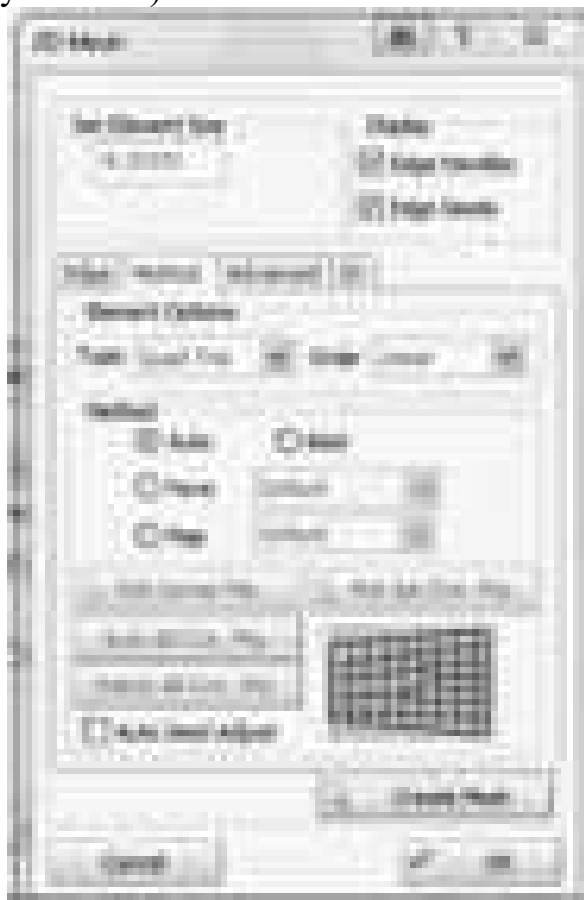


Рисунок 3.20 – Выбор типа сетки

Получаем сетку (рисунок 3.21)

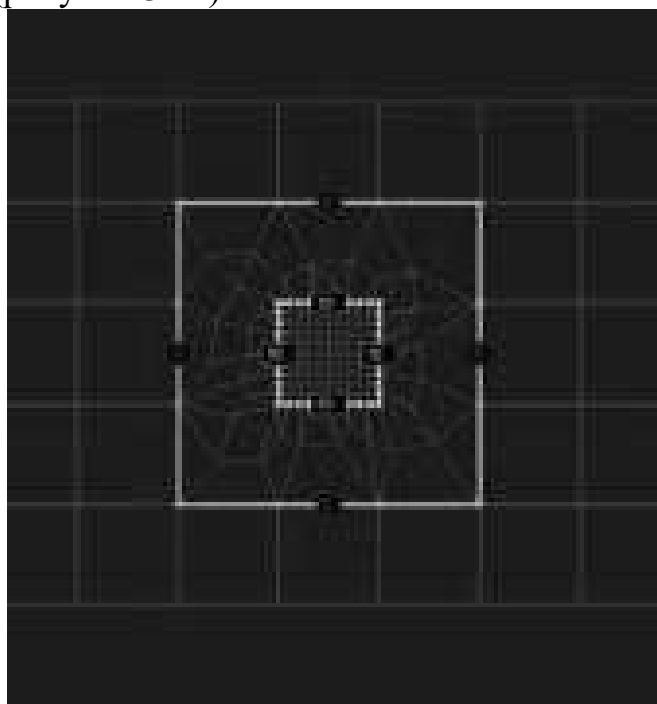


Рисунок 3.21 – Сетка

На сетке ставим недостающие линии, необходимые для создания полноценной сетки (рисунок 3.24)

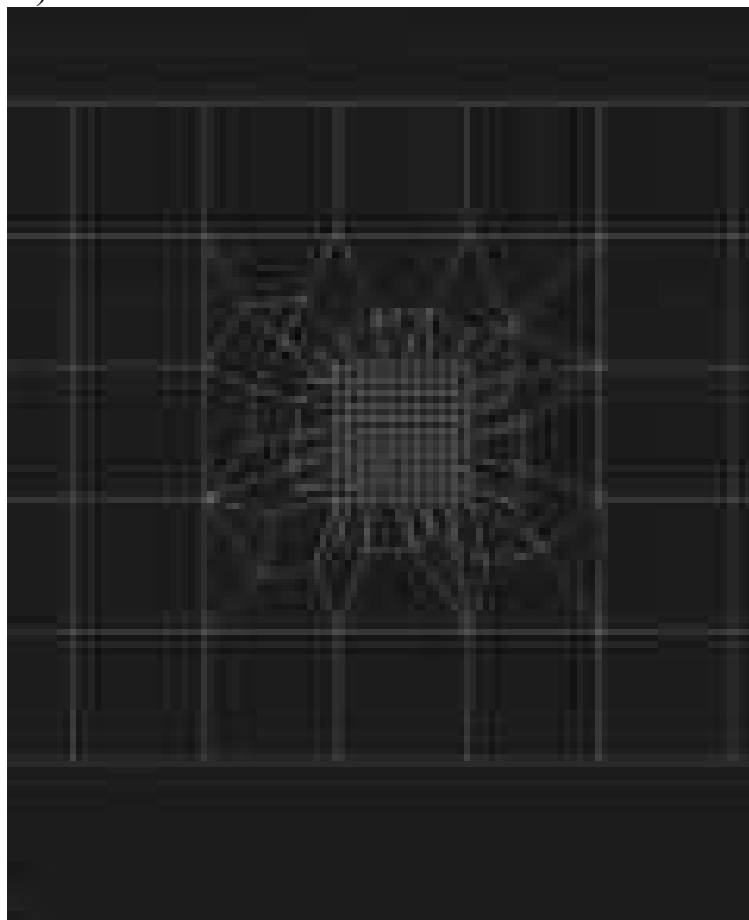


Рисунок 3.24 – Сетка

Аналогично с данной точкой, делаем 2, 3, 4 и 5 точки, на расстоянии 80 мм (8 квадратов) (рисунки 3.25, 3.26)

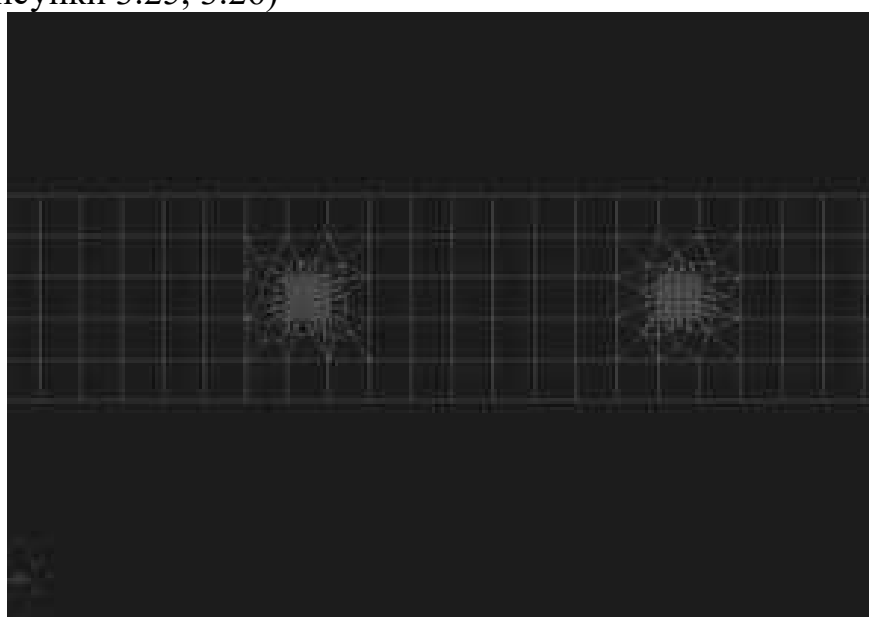


Рисунок 3.25 – Сетка

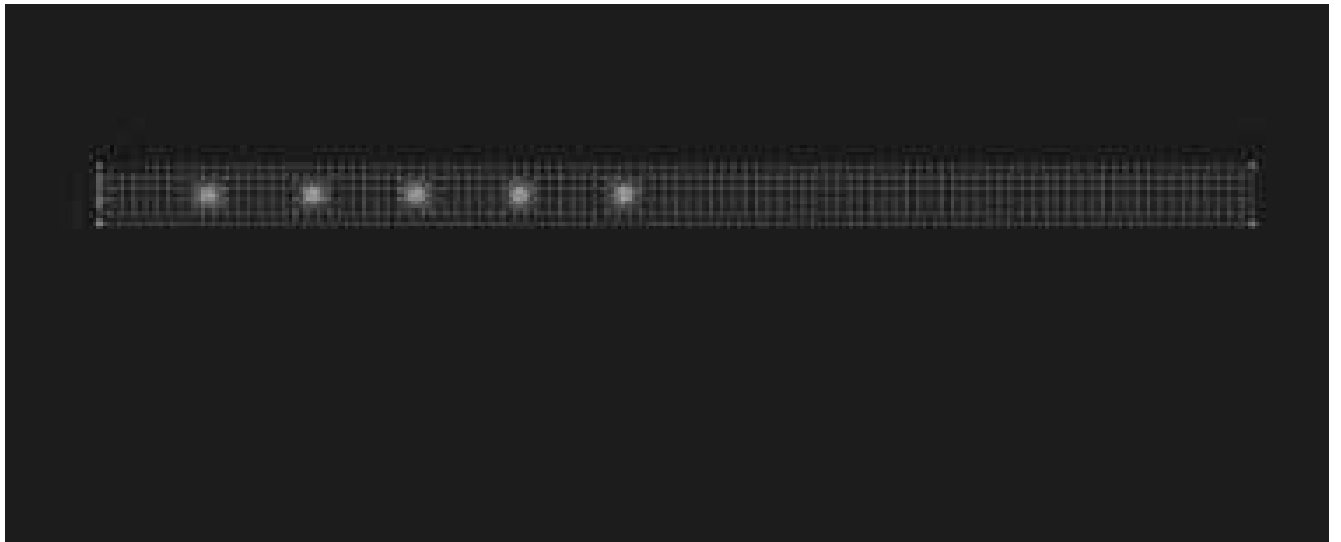


Рисунок 3.26 – Сетка

Жмем File – Export на основной панели (рисунок 3.27)

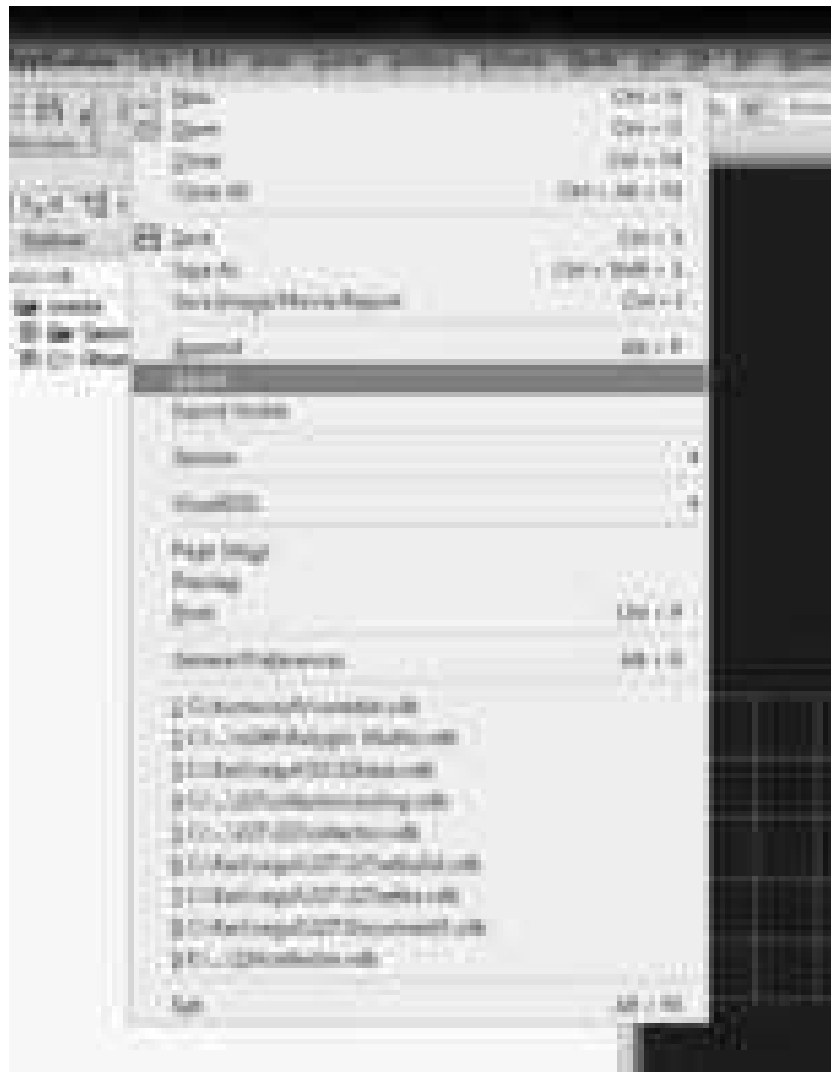


Рисунок 3.27 – Выбор пункта

Выбираем формат ASC (рисунок 3.28)



Рисунок 3.28 – Выбор формата

Заменяем * в File Name на 30 (рисунок 3.29)



Рисунок 3.29 – Название формата

Аналогично необходимо сделать пластины на расстоянии 40 и 60 мм (4 и 6 квадратов, соответственно). Произвести Export.

Далее переходим к работе в программе ESI Weld Planer.

Нажимаем на кнопку Import в левом верхнем углу экрана (рисунок 3.30)



Рисунок 3.30 – Выбор пункта

Выбираем заранее экспортированный файл в формате ASC (рисунок 3.31)



Рисунок 3.31 – Выбор файла

Наша пластина появилась на экране (рисунок 3.32)



Рисунок 3.32 – Вид пластины

Выбираем материал High strength steel и толщину пластины 2 мм в правом нижнем углу экрана (рисунок 3.33)



Рисунок 3.33 – Выбор материала

На нижней панели выбираем вкладку Weld seam, далее жмем кнопку Spots (рисунок 3.34)



Рисунок 3.34 – Выбор точек

После нажатия кнопки Spots, ставим точки в самом центре нашей сетки на каждом узле (рисунок 3.35)

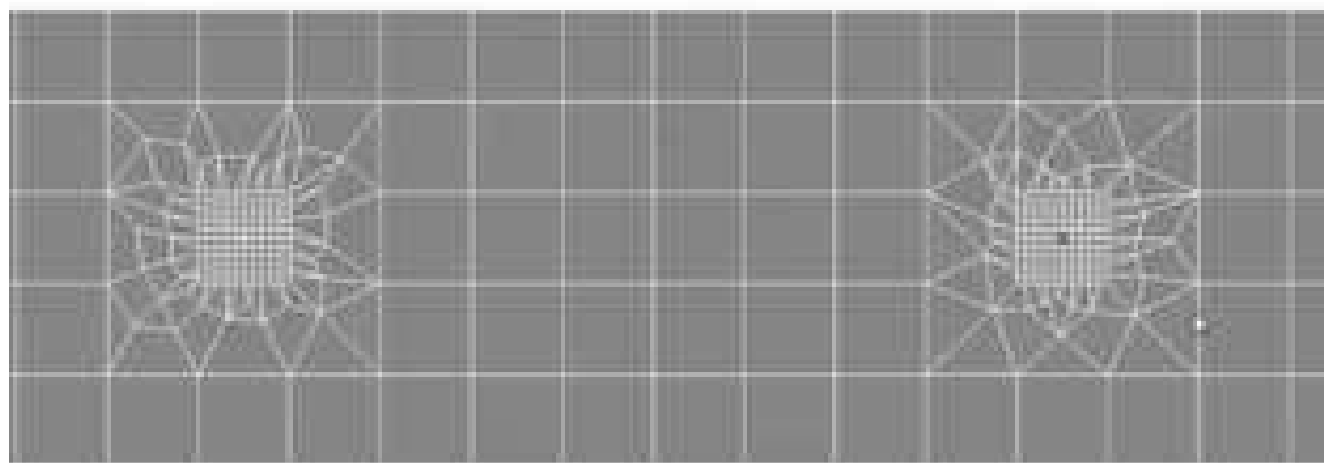


Рисунок 3.35 – Установка точек

Получаем 5 точек (рисунок 3.36)



Рисунок 3.36 – Точки

Переименовываем точки. Двойной лкм по точке. (рисунок 3.37)



Рисунок 3.37 – Переименовывание точек

Выбираем диаметр точек 5 мм в правом нижнем окне (рисунок 3.38)



Рисунок 3.38

Далее делаем закрепления на краю пластины. Точно также ставим 6 точек, через операцию Spots (рисунок 3.39)

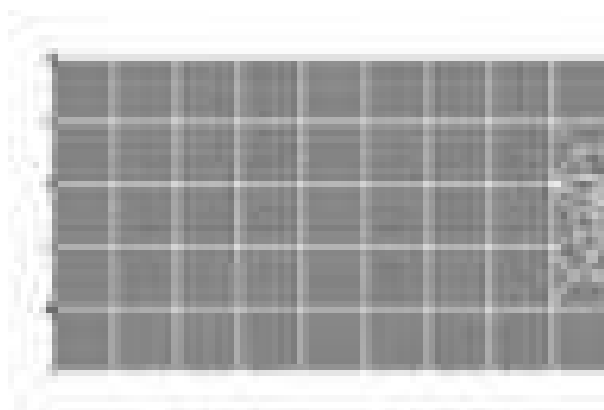


Рисунок 3.39 – Шесть точек

Получаем еще 6 точек. Выделяем первую из них (рисунок 3.40)



Рисунок 3.40 – Выделение точки

На панели в правом нижнем углу, меняем Spots на Clamps (рисунок 3.41)



Рисунок 3.41 – Замена типа объектов

Аналогично делаем с остальными пяти точками закрепления (рисунок 3.42)



Рисунок 3.42 – Закрепления

Нажимаем **Process Definition** на верхней панели. В появившемся окне нажимаем One Weld Per Step (рисунок 3.43)

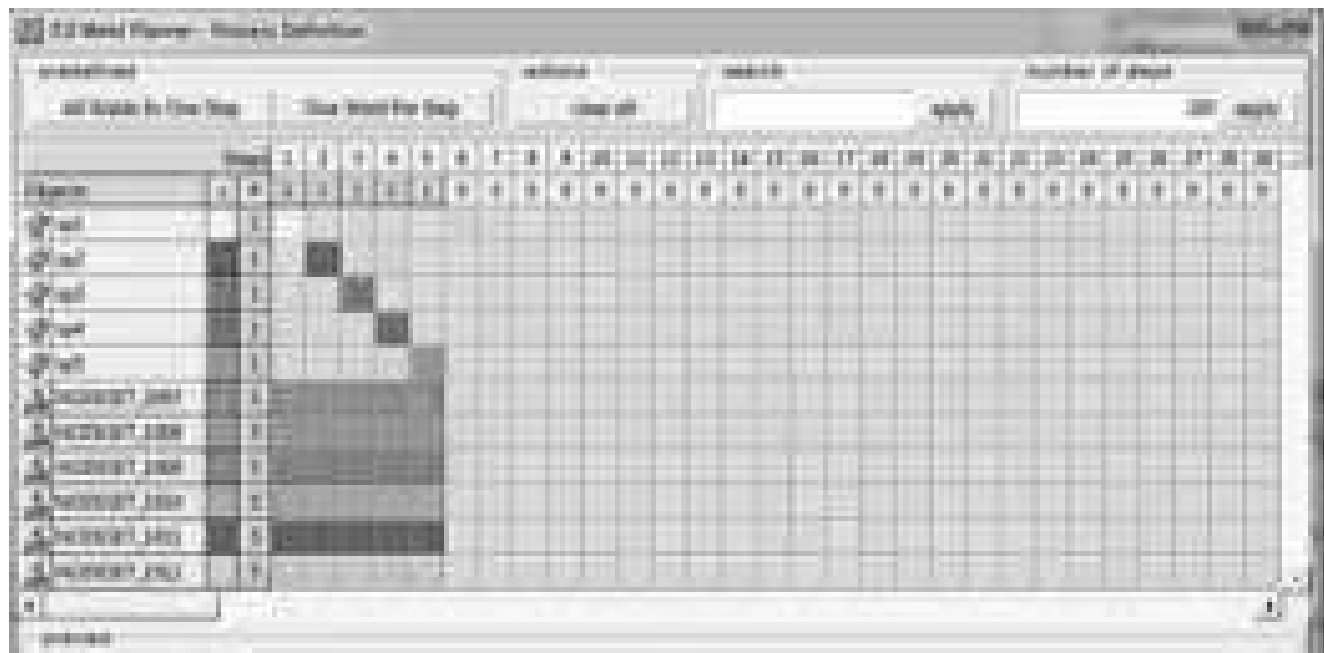


Рисунок 3.43 – Выбор шагов

Жмем «Ок»


Нажимаем . Сохраняем файл в формате ps (рисунок 3.44)



Рисунок 3.44 – Сохранение файла

Нажимаем . Появляется окно Simulation (Рисунок 3.45)




Рисунок 3.45 – Вид окна

Как только процесс закончен (рисунок 3.46), закрываем окно.



Рисунок 3.46 – Окончание процесса

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Нажимаем  и загружаем файл процесса в формате dat (рисунок 3.47)

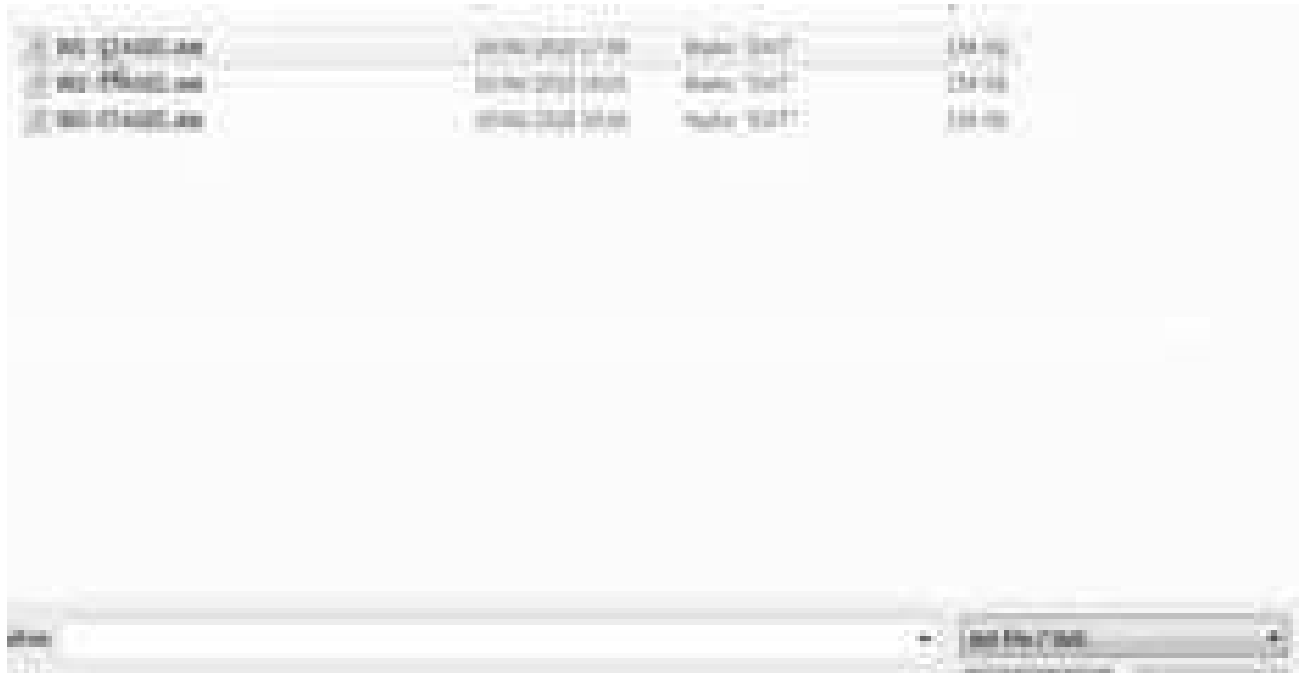


Рисунок 3.47 – Сохранение процесса

Получаем коробление (рисунок 3.48)

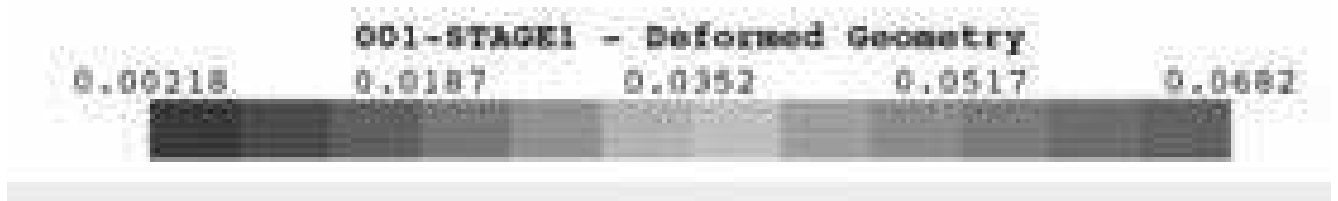


Рисунок 3.48 – Пример коробления

Продельываем такую же работу в ESI Weld Planer для точек диаметров 6, 7 мм и для расстояния между точками L 40 и 80 мм. Получая коробление на каждом из экспериментов.

3.7.3 Результаты эксперимента

После выполнения 9 различных экспериментов, получаем 9 значений коробления:

1 эксперимент.

Расстояние между точками $L = 80$ мм, диаметр точек $D_T = 5$ мм

Результат показан на рисунке 3.49



Рисунок 3.49 – Результаты коробления

Коробление равно 0.0682

2 эксперимент.

Расстояние между точками $L = 80$ мм, диаметр точек $D_T = 6$ мм

Результат показан на рисунке 3.50

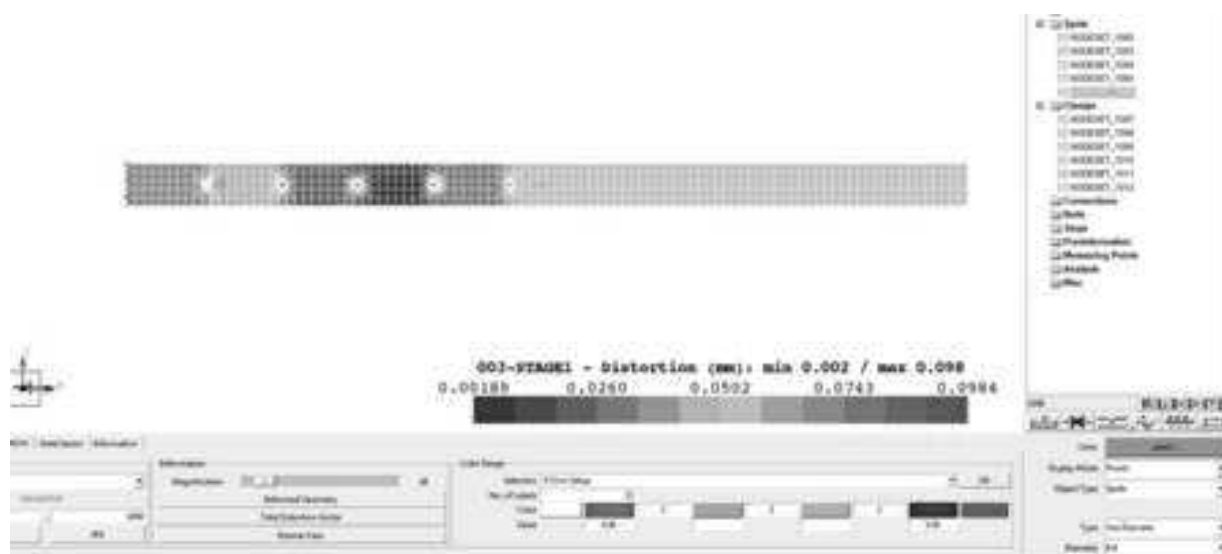


Рисунок 3.50 – Результаты коробления

Коробление равно 0.0984

3 эксперимент.

Расстояние между точками $L = 80$ мм, диаметр точек $D_T = 7$ мм
Результат показан на рисунке 3.51

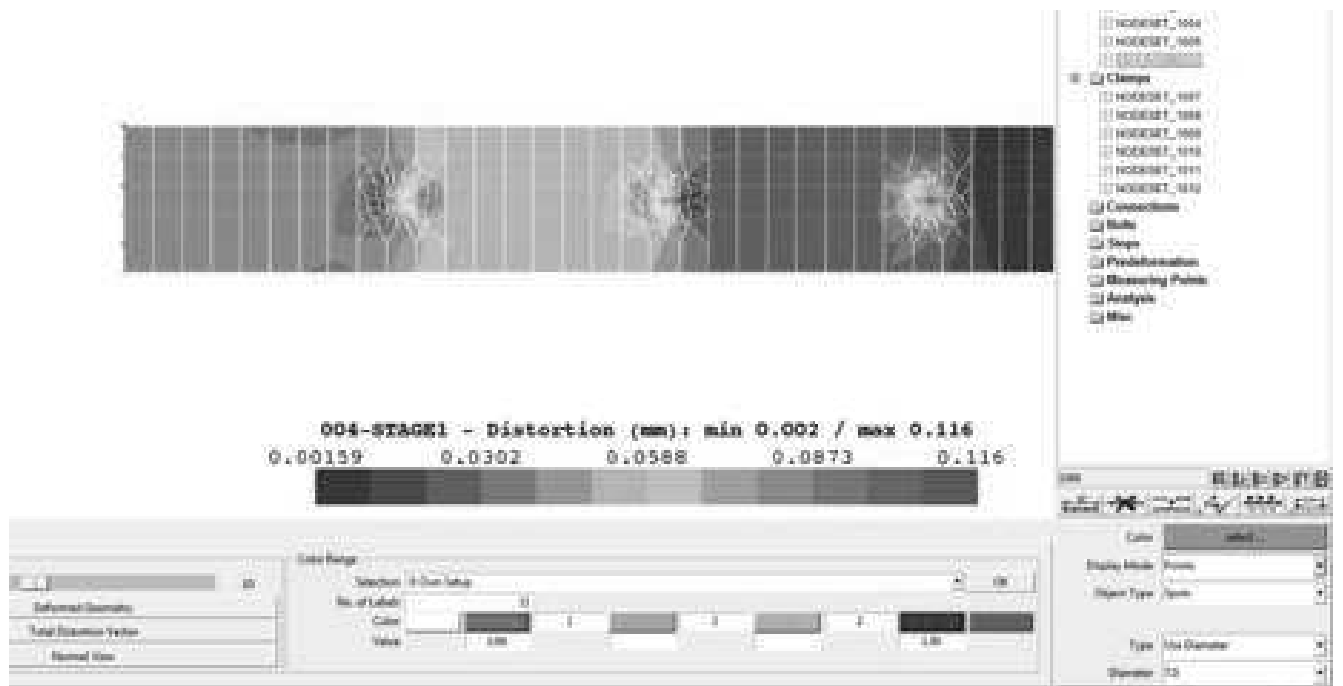


Рисунок 3.51 – Результаты коробления

Коробление равно 0.116

4 эксперимент.

Расстояние между точками $L = 60$ мм, диаметр точек $D_T = 5$ мм
Результат показан на рисунке 3.52

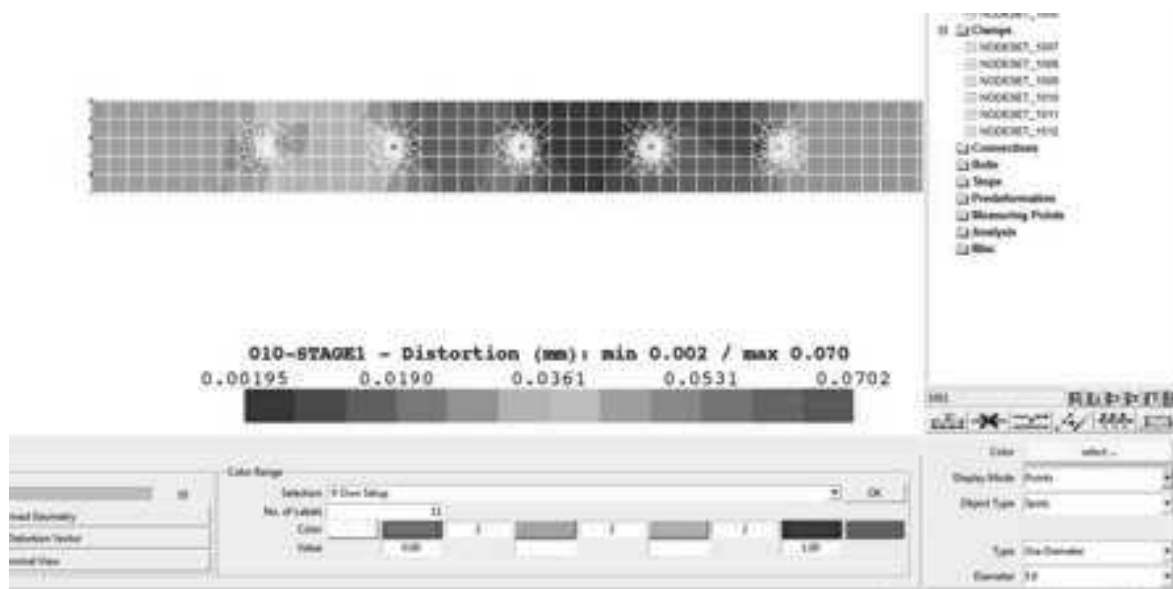


Рисунок 3.52 – Результаты коробления

Коробление равно 0.0702

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15.04.01.2018.215.00 ПЗ

Лист

62

5 эксперимент.

Расстояние между точками $L = 60$ мм, диаметр точек $D_T = 6$ мм
 Результат показан на рисунке 3.53

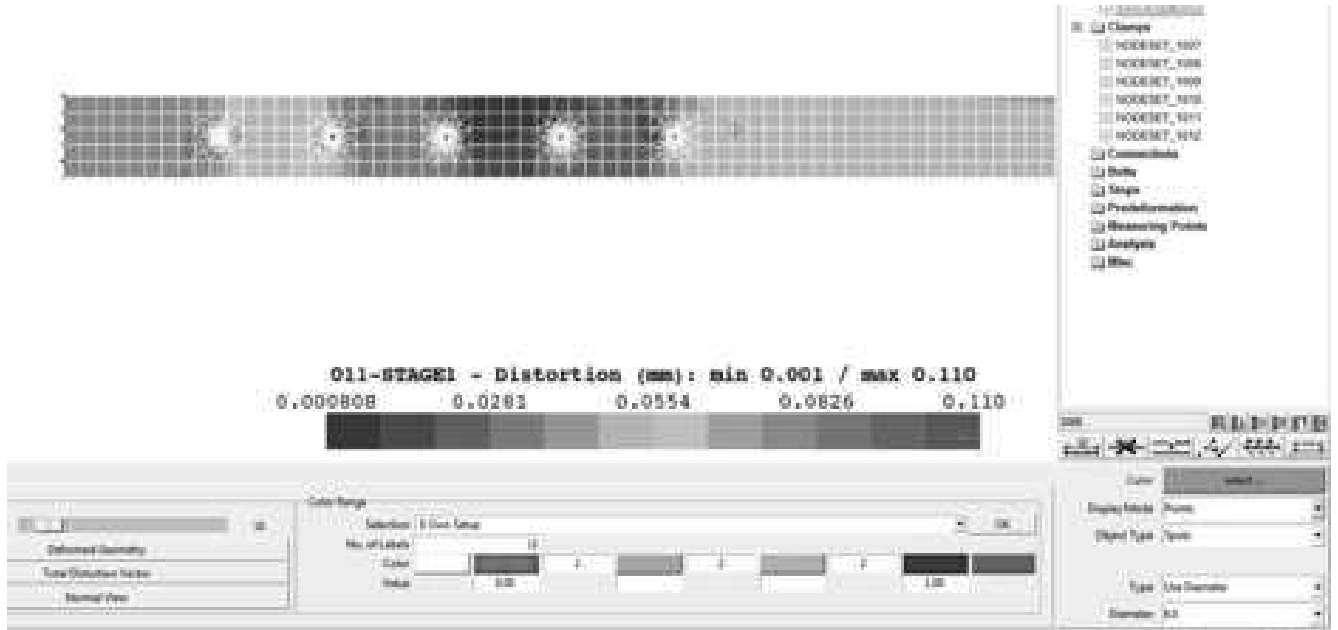


Рисунок 3.53 – Результаты коробления

Коробление равно 0.110

6 эксперимент.

Расстояние между точками $L = 60$ мм, диаметр точек $D_T = 7$ мм
 Результат показан на рисунке 3.54

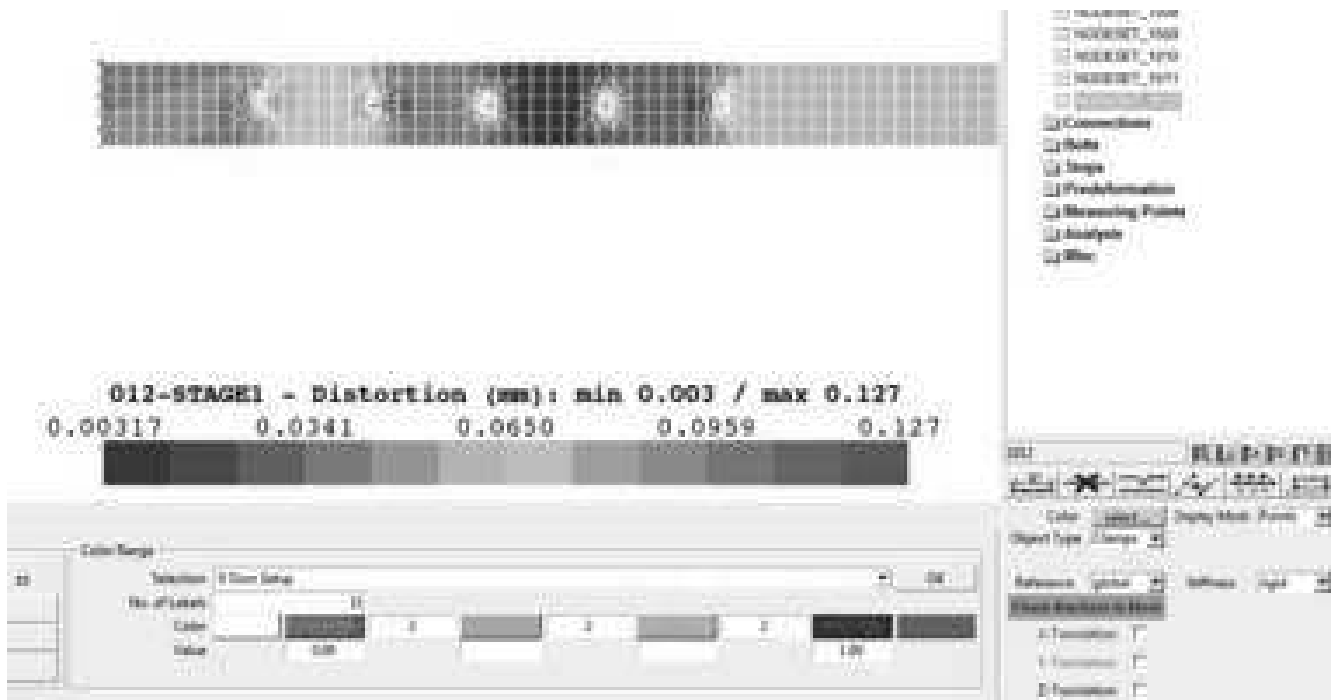


Рисунок 3.54 – Результаты коробления

Коробление равно 0.127

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

7 эксперимент.

Расстояние между точками $L = 40$ мм, диаметр точек $D_T = 5$ мм

Результат показан на рисунке 3.55

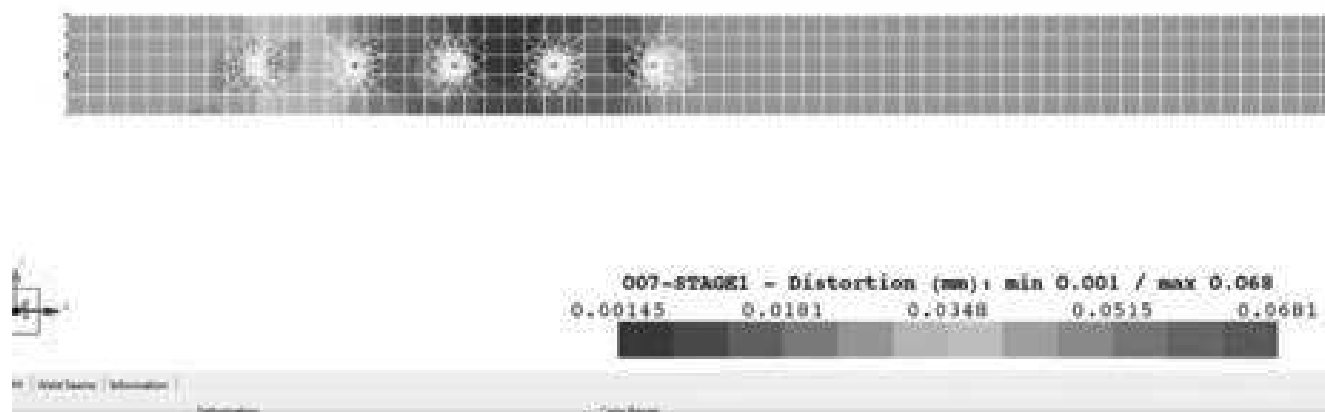


Рисунок 3.55 – Результаты коробления

Коробление равно 0.0681

8 эксперимент.

Расстояние между точками $L = 40$ мм, диаметр точек $D_T = 6$ мм

Результат показан на рисунке 3.56

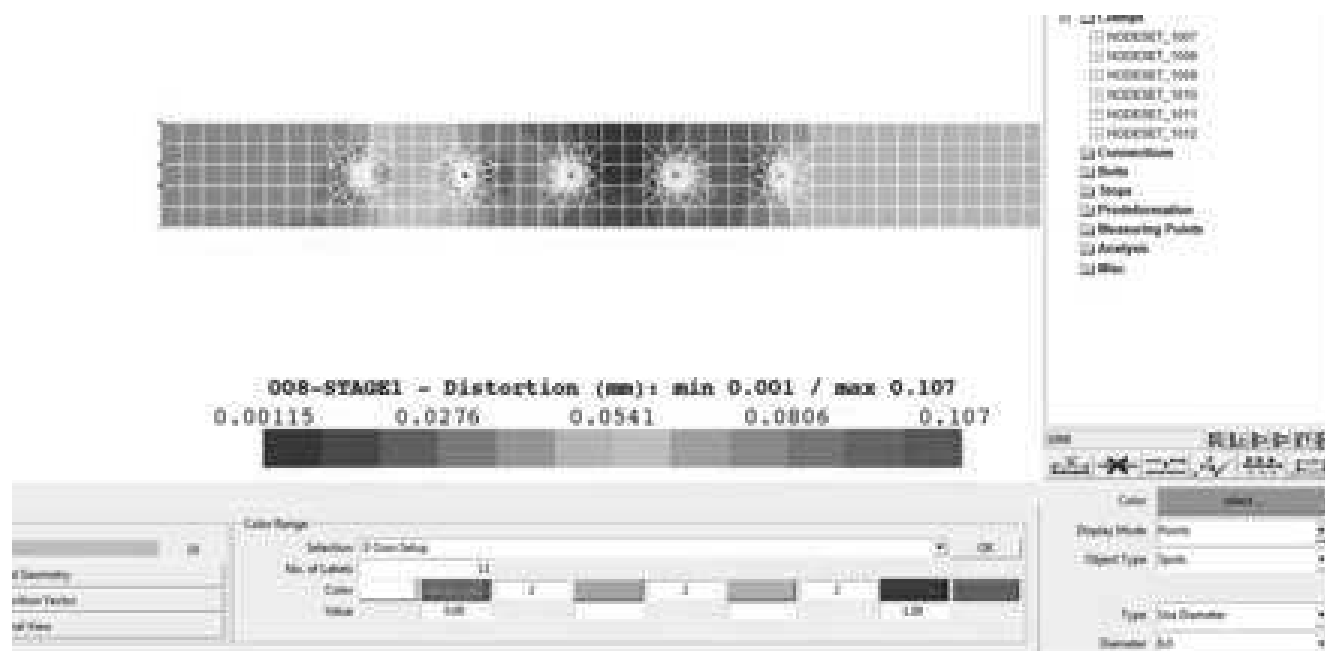


Рисунок 3.56 – Результаты коробления

Коробление равно 0.107

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15.04.01.2018.215.00 ПЗ

Лист

64

9 эксперимент.

Расстояние между точками $L = 40$ мм, диаметр точек $D_T = 7$ мм

Результат показан на рисунке 3.57

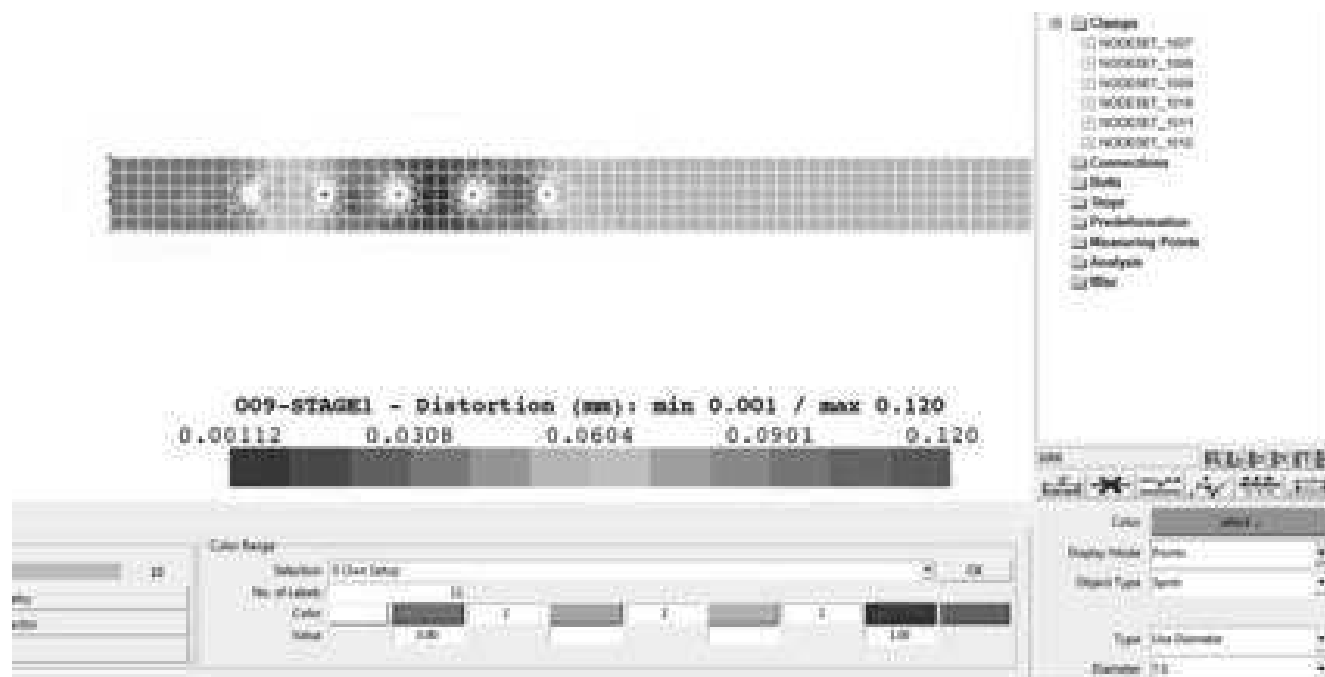


Рисунок 3.57 – Результаты коробления

Коробление равно 0.120

В данной работе мы получили данные, указанные в таблице 4

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Коробление	0,0000	0,0000	0,118	0,0700	0,11	0,117	0,0800	0,097	0,11	0,11

Рисунок 3.58 – Экспериментальные данные моделирования

По итогам экспериментов строим графики (рисунки 3.59, 3.60):

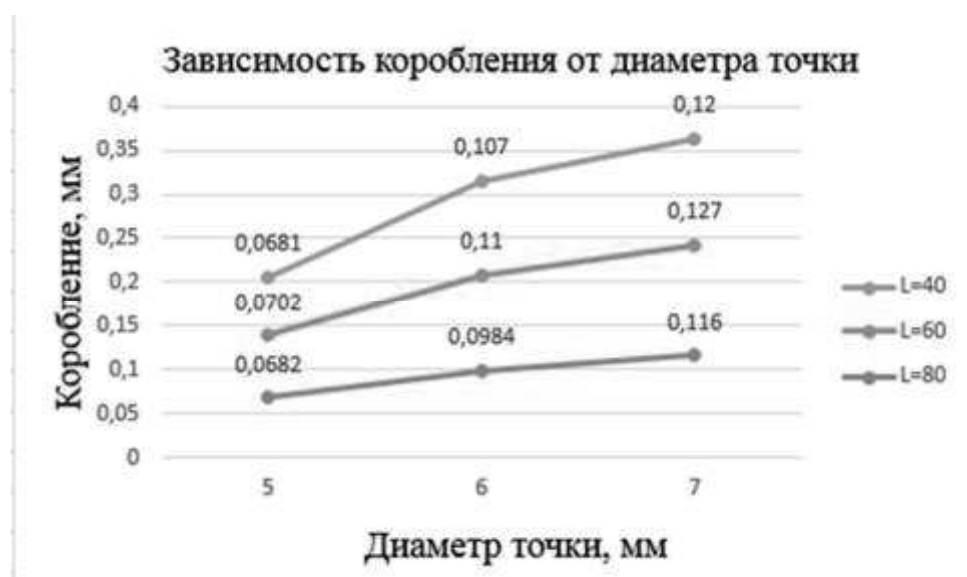


Рисунок 3.59 – График зависимости коробления от диаметра точки

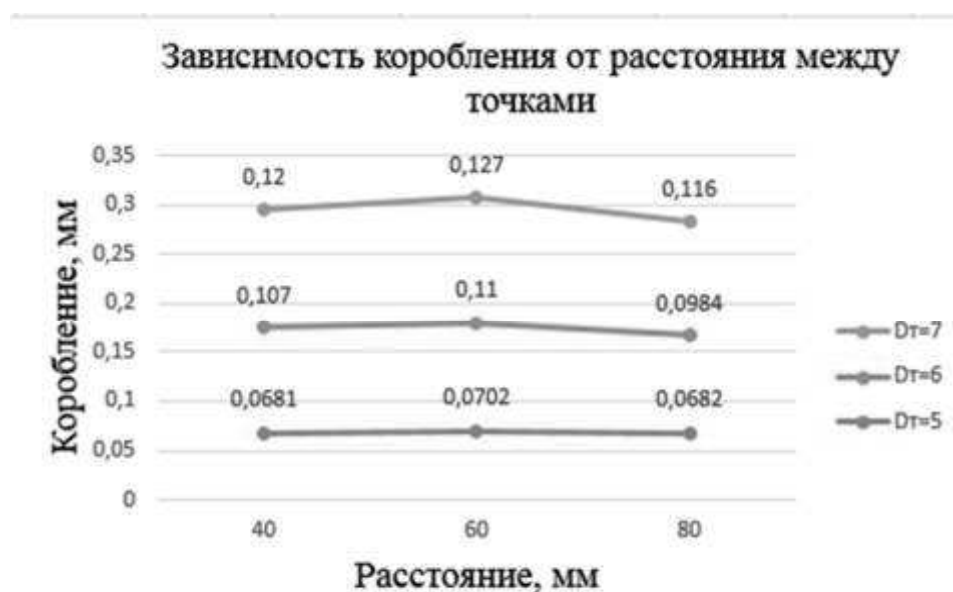


Рисунок 3.60 – График зависимости коробления от расстояния

3.8 Сравнительный анализ результатов моделирования и натуральных экспериментов

Сравнивая результаты моделирования и натурального эксперимента, получаем, что при выборе меньшего времени сварки и напряжения, мы получим наименьшее коробление, по результатам моделирования. При большем напряжении и времени сварки – наиболее прочное соединение, что более удовлетворяет условиям герметичности, требуемых при производстве теплообменника.

					15.04.01.2018.215.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

3.9 Выводы по разделу

В результате экспериментов можно сказать, что чем больше диаметр сварной точки, тем выше коробление. Также, при изменении расстояния между точками коробление меняется.

При выборе оптимальной технологии сварки изделия, отталкиваясь от результатов эксперимента, рекомендуемые диаметр точки $D_T = 5$ мм, а расстояние между точками $L = 40$ мм. При этих данных коробление минимально и равняется 0,0681 мм. Данный диаметр точки достигается при выбранном режиме сварки: напряжение 2.6В, время сварки 0.3 сек, усилие сжатия электродов 152 Н.

В натурном эксперименте было выявлено, что максимально прочное соединение получается, при напряжении 3 В, времени сварки 0.5 сек, усилие сжатия электродов 152 Н, где диаметр точки равен 7.5мм.

Сравнивая результаты моделирования и натурального эксперимента, получаем, что при выборе меньшего времени сварки и напряжения, мы получим наименьшее коробление, по результатам моделирования. При большем напряжении и времени сварки – наиболее прочное соединение, что более удовлетворяет условиям герметичности, требуемых при производстве теплообменника.

					15.04.01.2018.215.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе была разработана технология сборки и сварки малогабаритного спирально-щелевого теплообменника.

При этом основной материал проанализирован с точки зрения свариваемости и соответствие его механических характеристик предъявленным требованиям. Выбран способ сварки, подобраны сварочные материалы и рассчитаны режимы сварки. Подобрано сварочное оборудование для сварки пластин.

В результате проделанной работы, подобраны оптимальные режимы и технология сварки.

					15.04.01.2018.215.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		69

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент РФ 2332579 С2. Теплообменник для контура воздушного охлаждения турбины. Пальмизано Лоран.
2. Патент РФ 2358218 С1. Спиральный теплообменник и способ его изготовления. Чумазов Леонид Владимирович.
3. www.topka.ru/catalog/363/2029/
4. acte-sa.be
5. Бараненко А. В., Цветков О. Б., Лаптев Ю. А., Ховалыг Д. М. Миниканальные теплообменники в холодильной технике.
6. Николаев Г. А. Сварка в машиностроении: Справочник в 4-х т. — М.: Машиностроение, 1978 (1-4 т).
7. Блащук, В. Е. Металл и сварка: учебное пособие / В.Е. Блащук ; 3-е изд., перераб. и доп. - Москва : Стройиздат, 2006. - 144с.
8. Малащенко А. А. Лазерная сварка металлов. М.: Машиностроение, 1984, 47с.
9. Журнал «Сварочное производство».
10. Журнал «Сварка и диагностика».
11. Гельман А.С. Технология и оборудование контактной электросварки. Металлургиздат, Москва, 367с.
12. Аксельрод Ф.А., Зайцев М.П., Злобин Г.И. Контактная сварка. Второе издание. «Высшая школа», Москва, 1964, 464с.

					15.04.01.2018.215.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		70