

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.

Исследование влияния порядка наложения швов при роботизированной сварке алюминиевого корпуса коробчатого типа

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ)

Руководитель ВКР

Иванов М.А.

Подпись И.О., Фамилия

« ____ » _____ 2018 г.

Автор ВКР

магистрант группы П-246 Кузмина
Дарья Александровна

« ____ » _____ 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.....	7
1.3 Условия эксплуатации изделия.....	8
2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	
2.1 Проектируемый вариант технологического процесса.....	9
2.2 Выбор способа сварки.....	11
2.3 Выбор сварочных материалов.....	13
2.4 Назначение режимов сварки.....	14
2.5 Выбор сборочного и сварочного оборудования.....	14
2.5.1 Описание конструкции сборочной установки.....	14
2.5.2 Описание конструкции сварочной установки.....	17
2.6 Контроль качества.....	18
3 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ	
3.1 Актуальность.....	22
3.2 Состояние вопроса исследования.....	22
3.3 Цель и задачи исследования.....	26
3.4 План эксперимента.....	27
3.5 Алгоритм выполнения эксперимента.....	28
3.6 Методика обработки эксперимента.....	34
3.7 Результаты проведенных исследований.....	52
3.8 Выводы по разделу.....	60
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	62
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	63

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность данной выпускной квалификационной работы состоит в том, что при сварке данной конструкции не выполняется требование по плоскостности стенок.

На производстве при сварке был обнаружен брак в виде нарушения плоскостности на стенках короба, имеющих выпукло-вогнутый вид.

Необходимость работы обусловлена поиском причин выхода дефекта за допустимые чертежом размеры и разработкой мероприятий по устранению или существенному снижению размеров этого дефекта.

Целью данной выпускной квалификационной работы является обеспечение требования по плоскостности для алюминиевого корпуса коробчатого типа.

В связи с поставленной целью, необходимо решить следующие задачи:

- разработка 3D модели изделия, включая сварные швы;
- проведение моделирования процесса сварки в программе Weld Planner;
- проведение сварки контрольного сварного соединения и определение экспериментального значения коробления;
- моделирование процесса сварки (наплавки) КСС;
- моделирование процесса сварки корпуса в Weld Planner с различными последовательностями наложения сварных швов, режимами;
- составление рекомендаций по уменьшению коробления корпуса при сварке.

					15.04.01.2018.213.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

1 КОНСТРУКТОРСКИЙ РАЗДЕЛ

1.1 Анализ конструкции изделия

Конструкция изделия представляет собой «Корпус», который состоит из «Кожуха» и «Рамки», выполненных из алюминиевого сплава АМц (рисунок 1.1).

Способ изготовления – автоматическая импульсная сварка в среде защитных газов.

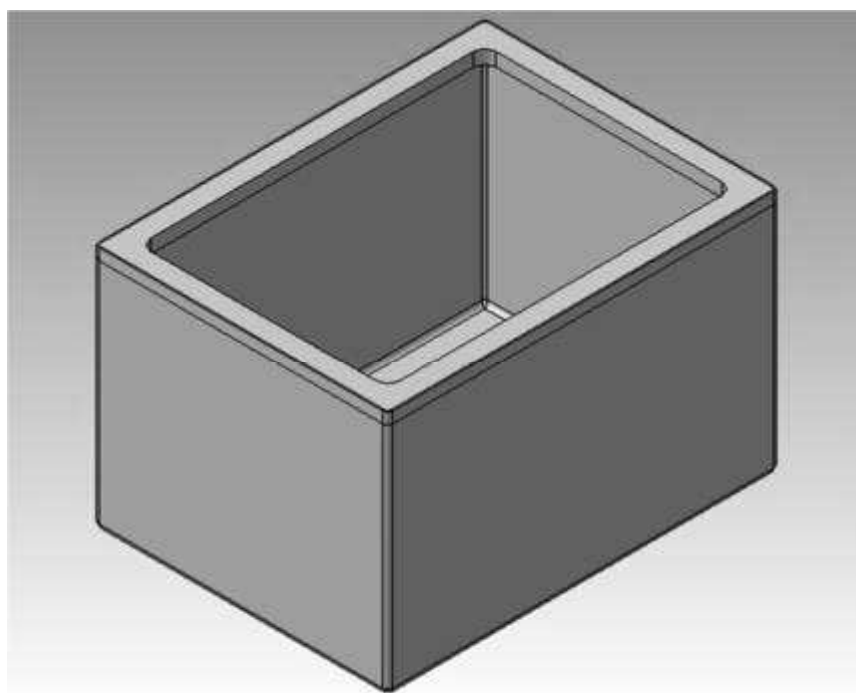


Рисунок 1.1 – 3D-модель кожуха с рамкой

1.2 Материал изделия и его свариваемость

Материал изделия – алюминиевый сплав АМц.

АМц – это сплав системы Al – Mn (Алюминий – марганец), который относится к числу деформируемых давлением, коррозионностойких и свариваемых без ограничений сплавов алюминия. Это пластичный, но малопрочный материал, который применяется чаще всего в автомобильной промышленности. Имеет высокую электропроводность и теплопроводность, благодаря этому сплав наиболее распространен в изготовлении различных радиаторов[20].

Особенности сварки алюминия и его сплавов связаны с физическими и химическими свойствами металла. Алюминий имеет высокую электро- и теплопроводность, на его поверхности есть окисная пленка, имеющая высокую температуру

					15.04.01.2018.213.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

плавления 2044°C, температура же плавления самого алюминия - около 660°C. Сплавы алюминия с марганцем, кремнием, магнием и медью обладают большей прочностью, чем сам алюминий.

Тугоплавкая пленка на каплях расплавленного металла, препятствует сплавлению металла, поэтому при сварке необходима защита от воздуха, сварка алюминия в среде с аргоном.

Сварочное соединение алюминия и его сплавов склонно к образованию кристаллизационных трещин, что обусловлено растворением в металле водорода. В сплавах алюминия трещины возникают из-за повышенного содержания кремния. Металл обладает большой усадкой, что является причиной деформаций при остывании заготовок.

Значительная теплопроводность алюминия требует применения сварочного тока, превосходящего в несколько раз ток при сварке сталей.

1.3 Условия эксплуатации изделия

Корпус является частью большой сборки, который требует выполнения геометрической точности размеров после сварки, не более 1,0 мм.

					15.04.01.2018.213.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

2.1 Проектируемый вариант технологического процесса

Технология сварки «Короба»:

Заготовка «Короба» поставляется на сварочный участок после операции лазерной резки и операции гiba.

Листы сплава АМц.М 1,5×1200×3000 ГОСТ 21631–76 поставляются на участок лазерной резки, где из листа вырезают шаблон для следующей операции.

После лазерной резки, готовый шаблон поступает на участок гибки, где его сгибают, и шаблон принимает вид короба. После изделие поступает на сборочно-сварочный участок, где свариваются первые швы – ребра короба. Сварка ребер ведется от верха к низу (рисунок 2.1–2.2). В данном дипломе сварка «Короба» не рассматривается.

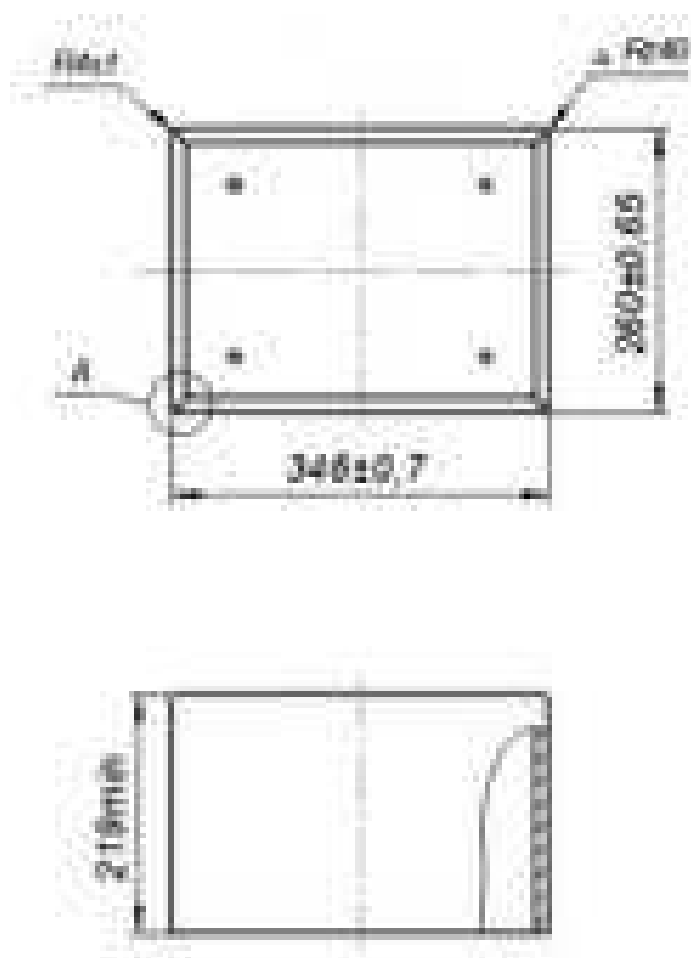


Рисунок 2.1 – Эскиз короба

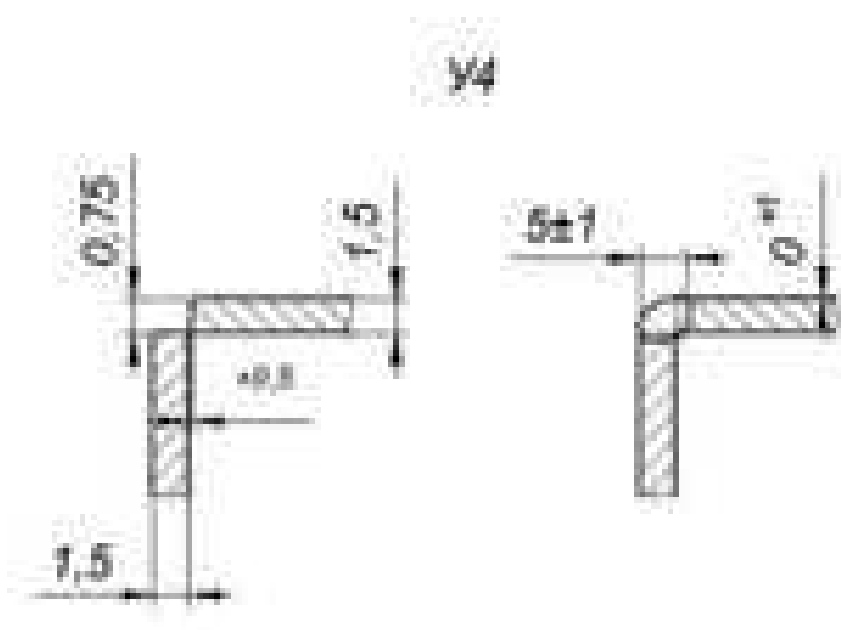


Рисунок 2.2 – Эскиз углового сварного шва

Технология сварки «Короба с рамкой»:

Заготовка «Рамы» поставляется на сборочно-сварочный участок после операции штамповки.

Лист 8×1200×3000 АМц ГОСТ 4784–97 перед отправкой на участок сварки проходит операцию штамповки, после нее лист получает требуемую конфигурацию и размеры. Первая операция – вырубка. Технология вырубки листового металла используется в производстве деталей, имеющих замкнутый контур. Вторая операция – пробивка. Технология пробивки используется, чтобы сделать в детали отверстие требуемой формы. После всех штамповочных операций готовую «Рамку» отправляют на сборочно-сварочный участок.

Технология сварки «Короба с рамкой»:

- собрать короб с рамкой согласно эскизу (рисунок 2.3–2.4);
- установить изделие на приспособление и закрепить;
- прихватить детали между собой в нескольких точках;
- выполнить сварной шов согласно эскизу (рисунок 2.3–2.4);
- контроль.

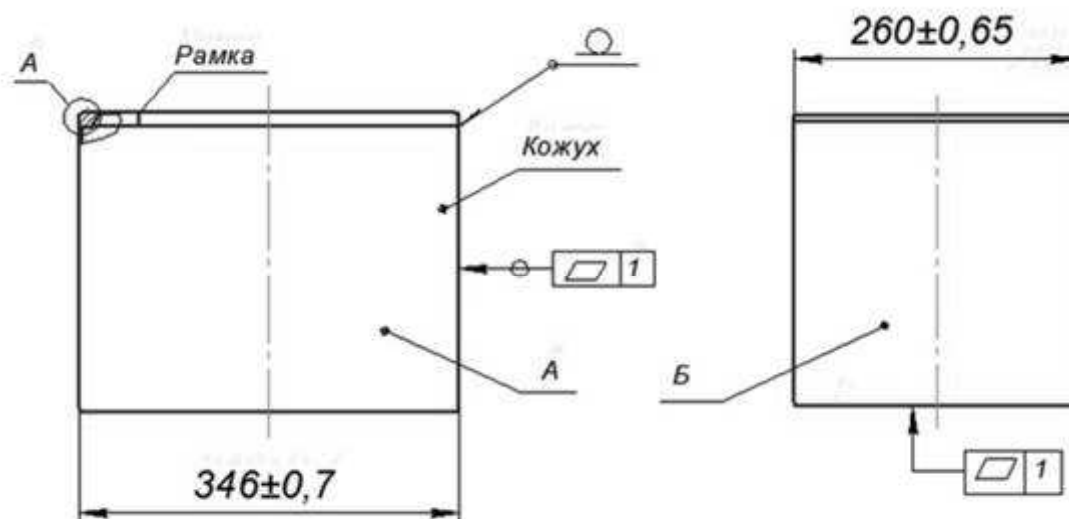


Рисунок 2.3 – Эскиз короба с рамкой

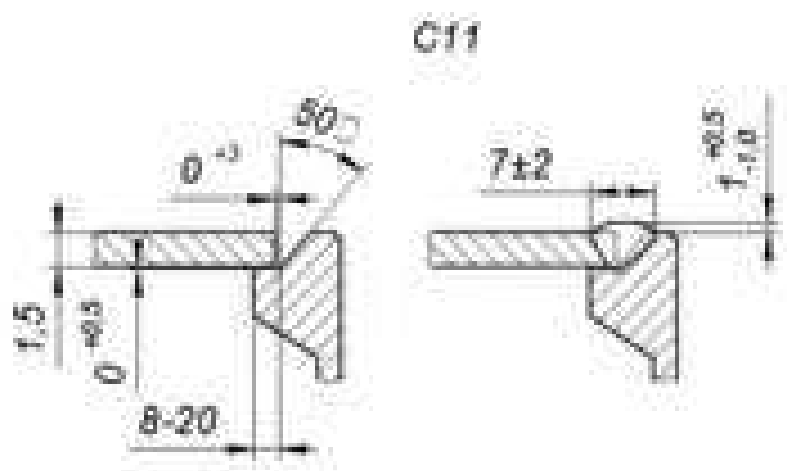


Рисунок 2.4 – Эскиз стыкового сварного шва

2.2 Выбор способа сварки

В данной работе применяется импульсная сварка неплавящимся электродом в защитных газах.

Технологические возможности дуговой сварки в защитных газах можно значительно расширить, если применять в качестве источника тепла импульсную (пульсирующую) дугу.

Сущность способа сварки импульсной дугой состоит в том, что скорость и количество вводимой в изделие теплоты определяются режимом пульсации дуги, который в свою очередь устанавливается по определенной программе в зависимо-

										Лист
										11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.04.01.2018.213.00 ПЗ					

даря более эффективному использованию поверхностного натяжения металла при импульсно-дуговой сварке улучшаются условия формирования шва в различных пространственных положениях. Это обусловило широкое применение импульсной дуги при сварке вертикальных, горизонтальных и потолочных швов на металлах широкого диапазона толщин, а также при автоматической сварке неповоротных стыков труб[9].

2.3 Выбор сварочных материалов

В данной работе используются следующие материалы для сварки.

1. Материал заготовок – Лист АМц.М 1,5 ГОСТ 21631-76 и Лист 8 мм АМц ГОСТ 4784–76 (таблица 2.1).
2. Материал сварочной проволоки – Проволока СвАМц В.Н круг 1,2 ГОСТ 7871-75 (таблица 2.2).
3. Для сварки используется аргон газообразный 1 сорта ГОСТ 10157-79.

Алюминий, как материал конструкции, был выбран исходя из следующих преимуществ:

- небольшая масса;
- устойчивость к коррозии;
- высокий коэффициент поглощения звука;
- экологическая безопасность;
- устойчивость к температурным перепадам;
- долговечность;
- возможность корректировки характеристик благодаря примесям.

Недостатком можно отметить высокую стоимость, по сравнению с другими металлами, но преимущества этот недостаток делают менее значимым.

Для сварки используется аргон первого сорта, процентное содержание которого составляет 99,98%, применяется для сварочных работ с помощью не плавящегося электрода таких материалов, как алюминий, магний, а также их сплавы, обладающие меньшей чувствительностью к примесям азота и кислорода.

					15.04.01.2018.213.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

Химический состав материала АМц ГОСТ 4784 – 97

Таблица 2.1 – Химический состав

В процентах

Fe	Si	Mn	Al	Cu	Zn	Примесей
до 0.7	до 0.6	1 - 1.5	96.35 - 99	0.05 - 0.2	до 0.1	прочие, каждая 0.05; всего 0.15

Химический состав материала СвАМц

Таблица 2.2 – Химический состав

В процентах

Fe	Si	Mn	Al	Cu	Mg	Zn	Примесей
0.3 - 0.5	0.2 - 0.4	1 - 1.5	97.25 - 98.5	до 0.2	до 0.05	до 0.1	прочие, каждая 0.1; всего 1.35

2.4 Назначение режимов сварки

Ориентировочные режимы сварки представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Режим сварки

$I_{св}$, А	$U_{д}$, В	f, Гц	d_n , мм	Ar, л/мин	$V_{св}$, см/мин	n
130	20	100	1,6	11	15	1

$I_{св}$ – ток сварки, $U_{д}$ – напряжение дуги, f - частота импульсов, d_n – диаметр проволоки, Ar – расход аргона, $V_{св}$ – скорость сварки, n – число проходов.

$q_{п} = 58$ Дж/см, $q_{п}$ – погонная энергия сварки.

2.5 Выбор сборочного и сварочного оборудования

2.5.1 Описание конструкции сборочной установки

					15.04.01.2018.213.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

Конструкция сборочной установки представлена на рисунках 2.5 – 2.8. Конструкция состоит из распорок, установленных внутри короба, прижимных стенок, которые фиксируют короб со всех сторон, и пластины, которая фиксирует положение рамки с коробом.

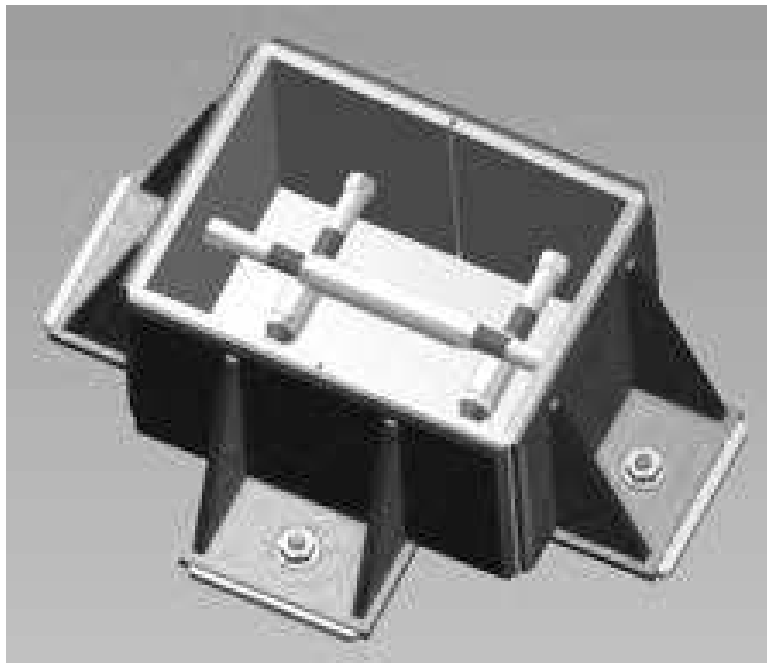


Рисунок 2.5 – Сборочная установка

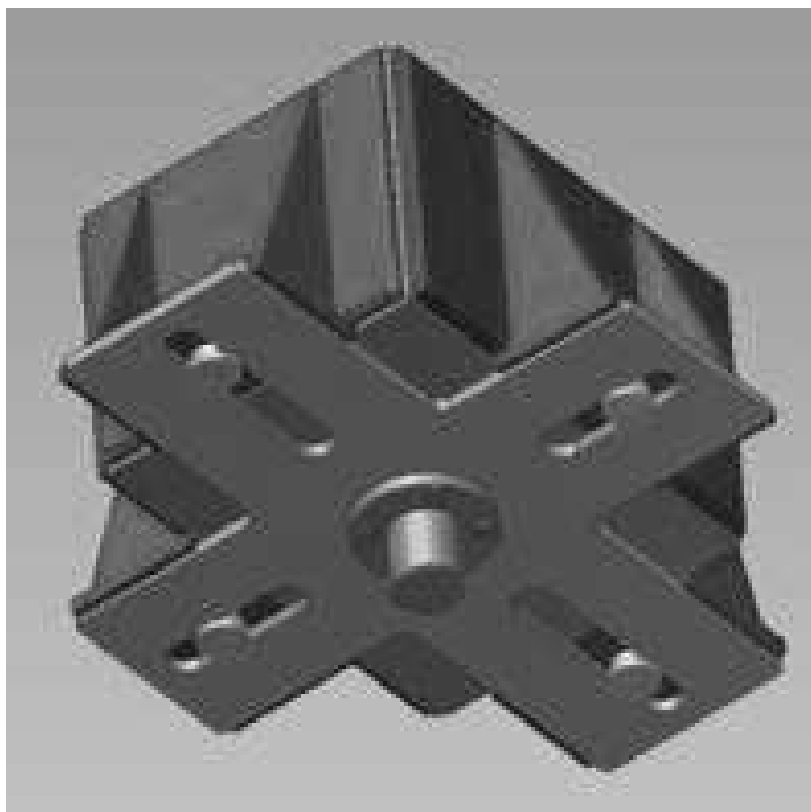


Рисунок 2.6 – Сборочная установка

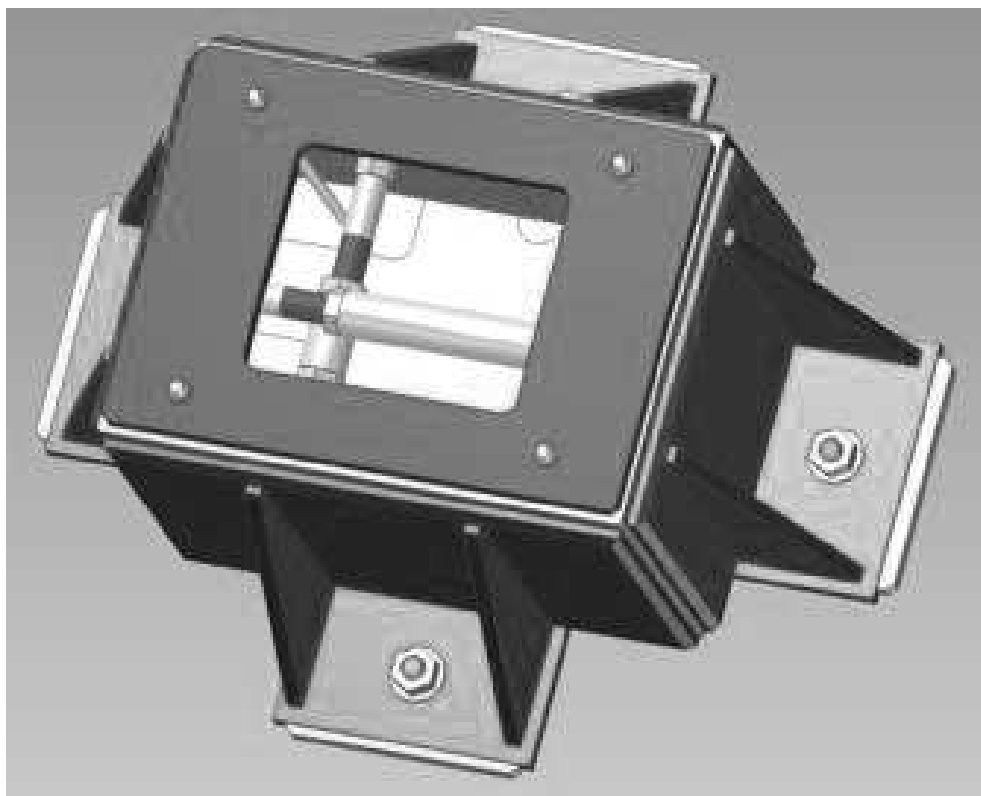


Рисунок 2.7 – Сборочная установка

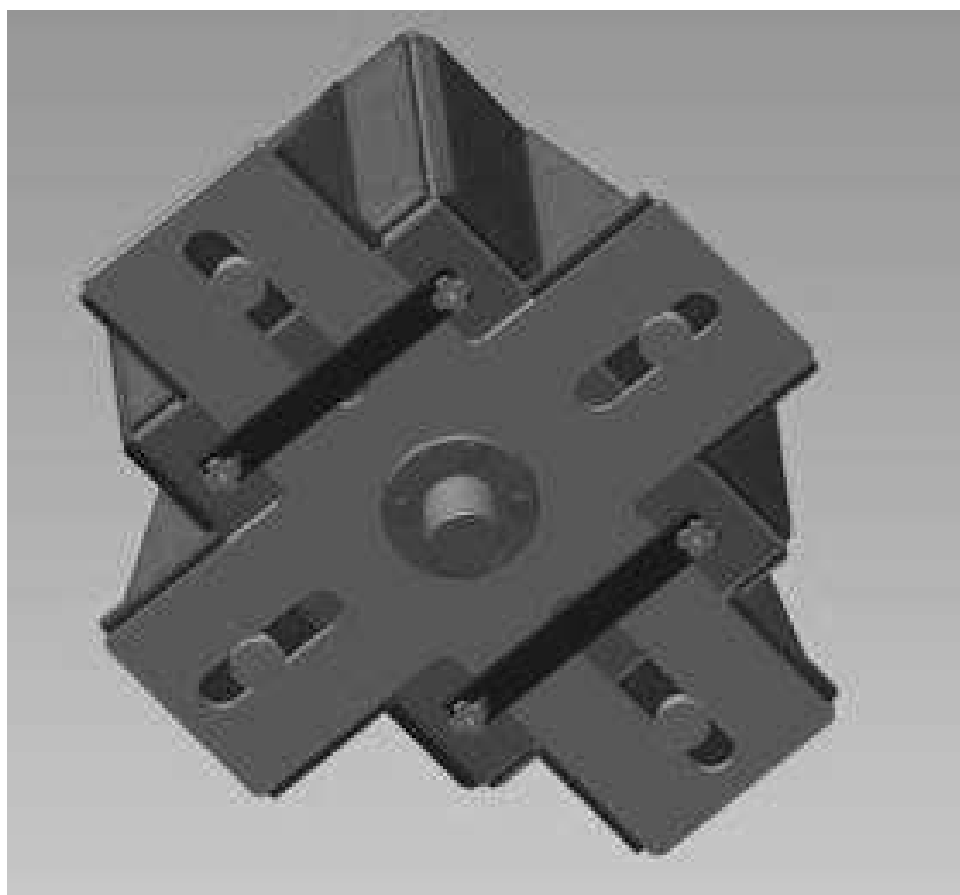


Рисунок 2.8 – Сборочная установка

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15.04.01.2018.213.00 ПЗ

Лист

16

2.5.2 Описание конструкции сварочной установки

Для роботизированной сварки был выбран робот для дуговой сварки марки FANUC Robot ARC Mate 120iC/10L (рисунок 2.9).



Рисунок 2.9 – Сварочный робот

Сравнивая, выбранный робот, с другим роботом той же марки ARC Mate 100iC/12 (рисунок 2.10), в стандартной версии, имеющий 6 рабочих осей, с грузоподъемностью 12 кг, и досягаемостью 1420 мм, выбор был остановлен именно на ARC Mate 120iC/10L. Так как в отличие от стандартной версии, он имеет удлиненную руку, которая увеличивает зону действия робота до 2009 мм. Это является небольшим преимуществом для сварки других изделий больше по размеру с изготавливаемой деталью.



Рисунок 2.10 – Сварочный робот

Технические характеристики Robot ARC Mate 120iC/10L представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Технические характеристики

Контролируемые оси	6
Грузоподъемность, (кг)	10
Радиус действия, (мм)	2009

Источником питания выбран источник питания для роботизированной сварки Lorch S-RoboTIG (рисунок 2.11).



Рисунок 2.11 – Источник питания

Особенностью данного источника питания является возможность слежения за швом. В режиме реального времени современная система автоматической регулировки Lorch S-RoboTIG из огромного количества информации формирует сигнал для робота. Как в стандартных, так и в импульсных режимах. Эта функция распознавания и слежения за швом постоянно и автоматически перемещает робота и суппорт горелки в нужное положение, приспосабливаясь к реальным параметрам заготовки. Формируемый сигнал подходит как для вертикальной, так и горизонтальной регулировки положения суппорта горелки. Технические характеристики источника питания представлены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Технические характеристики

RoboTIG	S3	S5	S8
Сварочный ток, А	25–320	25–400	25–500
Продолжительность включения (ПВ) по стандарту DIN EN 60974-1 при 40 °С			
Ток при 100 % ПВ, А	250	320	400
Ток при 60 % ПВ, А	280	350	500
ПВ при макс. токе, %	40	50	60

2.6 Контроль качества

Для определения величины не плоскостности конструкции после сварки применяется визуально-измерительный контроль после сварки с использованием шаблона.

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 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[7].

Специалисты-контролеры при проведении визуального контроля сварных соединений металлов используют несколько видов инструментов.

Для контроля плоскостности и прямолинейности применяют поверочные линейки, плиты, плоские стеклянные пластины и различные устройства специального назначения.

1. Линейки.

					15.04.01.2018.213.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

Прямолинейность поверхностей контролируют линейками двумя способами: на просвет и на краску. При контроле на просвет линейку острым ребром накладывают на контролируемую поверхность, а источник света помещают сзади. При отсутствии отклонений от прямолинейности и плоскостности свет нигде не должен пробиваться. Линейное отклонение определяют на глаз, путем сравнения с образцом просвета или при помощи набора щупов.

При контроле методом на краску на поверочную плиту или линейку наносят тонкий слой разведенной в масле лазури или сажи, а затем накладывают на проверяемую поверхность и слегка притирают к ней. Качество поверхности оценивают по равномерности нанесения пятен и их числу на площади размером 25×25 мм в нескольких местах. Разница в количестве пятен на соседних площадках должна быть не более двух-трех.

Линейки с широкой рабочей плоскостью применяют для контроля прямолинейности и плоскостности деталей большого размера (400 мм и более). Их называют поверочными линейками. Они служат для контроля прямолинейности методом на просвет или с помощью щупа[8].

2. Поверочные плиты.

Они применяются для проверки плоскостности методом на краску и для использования в качестве вспомогательного приспособления при различных контрольных операциях.

Рабочие поверхности плит для контроля методом на краску должны быть шаброваны и отличаться точной плоскостностью, что достигается шабрением методом трех плит.

Поверочные плиты, предназначенные для иных целей, могут быть отшлифованы или притерты. Разметочные плиты могут быть изготовлены чистовым строгаaniem. Их рабочая поверхность может быть разделена на прямоугольники неглубокими продольными и поперечными канавками.

При контроле методом на краску на рабочую поверхность плиты накладывают плиту, деталь с контролируемой поверхностью и слегка притирают. Плоско-

					15.04.01.2018.213.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

стность и прямолинейность оценивают по равномерности нанесения пятен и их числу на площади 25×25 мм в нескольких местах[8].

					15.04.01.2018.213.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

3 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

3.1 Актуальность

Данная конструкция используется в отрасли приборостроения и является составной частью более большой сборки. Требуется выполнения геометрической точности размеров после сварки, не более 1,0 мм.

На производстве при сварке был обнаружен брак в виде нарушения плоскостности на стенках короба, имеющих выпукло-вогнутый вид.

Необходимость работы обусловлена поиском причин выхода дефекта за допустимые чертежом размеры и разработкой мероприятий по устранению или существенному снижению размеров этого дефекта.

3.2 Состояние вопроса исследования

Комплекс мероприятий, направленных на борьбу с деформациями, возникающими при сварке, можно разделить на две основные группы: мероприятия, направленные на предотвращения вероятности возникновения деформаций и напряжений или уменьшение их влияния, и мероприятия, направленные на исправление деформаций и снятие возникших напряжений.[4]

1. Конструктивные мероприятия, способствуют уменьшению напряжений и деформаций. К ним относятся:

- сечение швов не должно быть больше, чем требуется по условиям прочности;
- швы необходимо располагать ближе к осям, проходящим через центр тяжести изделия, или на самих осях;
- центр тяжести поперечных сечений двух параллельных швов должен совпадать с центром тяжести поперечного сечения свариваемой конструкции;
- количество швов в конструкции следует проектировать возможно меньшее для уменьшения усадочных усилий, действующих в ней;

					15.04.01.2018.213.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

- припуски деталей на усадку должны быть установлены правильно, чтобы после сварки размеры конструкции соответствовали запроектированным;
- для ограничения угловой деформации, т. е. выхода деталей из плоскости соединения, необходимо уменьшать угол раскрытия V-образных швов или применять X-образные швы при больших толщинах свариваемых листов;
- предусматривать в кондукторах зажимы для правильной установки деталей при сборке. Причем характер действия зажимов должен обеспечивать свободное перемещение деталей в их плоскости по направлению поперечной усадки и задерживать повороты деталей, т. е. препятствовать угловой деформации[5];

Уменьшить деформации можно путем:

- жесткого закрепления конструкции перед сваркой;
- предварительного обратного выгиба изделия перед сваркой;
- временного прихватывания деталей для создания большей жесткости при сварке;
- выбора последовательности выполнения швов;
- применять обратноступенчатые швы, выполняя их от середины к краям;
- сварка конструкции одновременно несколькими сварщиками с помощью технологии дуга в дугу (одновременно с двух сторон)[4];

В правильно запроектированной конструкции с симметричным расположением соединяемых деталей, при наличии рациональных приспособлений, коробление может быть совсем устранено или сведено к минимуму путем соответствующей последовательности наложения швов.

К технологическим мероприятиям по уменьшению деформаций, проводимым в процессе сварки относятся следующие:

1. Правильный выбор режима сварки. Режим сварки должен быть выбран таким, чтобы ширина активной зоны была меньше. Для этого следует повышать скорость сварки, чтобы удельная энергия нагрева была мень-

					15.04.01.2018.213.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

- ше. Для равномерного нагрева металла по толщине целесообразно повышать плотность тока, чтобы провар металла был глубоким. Глубокий провар поясных швов тавровых и стыковых соединений ведет к выравниванию поперечной усадки по толщине шва и уменьшению угловой деформации. В некоторых случаях при выполнении второго из двух симметричных относительно оси изделия швов целесообразно повышать режим сварки для увеличения активной зоны, чтобы усилиями второго шва полностью устранить прогиб, вызванный наложением первого шва.
2. Наложение швов вести в таком порядке, при котором деформирование от предыдущего шва ликвидируется обратной деформацией после наложения последующего шва. Противоположные параллельные швы во многих случаях целесообразно выполнять одновременно или попеременно участками.
 3. При обратноступенчатом методе сварки деформация меньше, так как внутренние усилия, порождаемые усадкой на участках шва, действуют на сравнительно небольшие области металла и на соседних участках они направлены в противоположные стороны.
 4. Проковка швов в процессе сварки заметно уменьшает деформации. Проковка уплотняет шов путем расплющивания остывающего слоя наплавки и в результате уменьшает действие усадки шва. Последний облицовочный слой шва проковывать не рекомендуется, чтобы не вызвать появления трещин на поверхности шва.
 5. Предварительный подогрев всего свариваемого изделия ведет к понижению остаточных напряжений и уменьшению остаточных деформаций.
 6. Искусственное охлаждение разогретого металла путем теплоотводящих подкладок или при помощи проточной воды уменьшает активную зону и снижает продольную усадку. Однако такое мероприятие при одностороннем действии может вызвать неравномерность нагрева по толщине металла и способствовать появлению угловой деформации.

					15.04.01.2018.213.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

7. Для устранения прогиба применяют предварительный выгиб свариваемого изделия. Пластический обратный выгиб перед сваркой ограничивает изгиб после окончания сварки. Действие момента от усадочного усилия при сварке уравнивается упругим противодействием волокон удаленного от шва края изделия, в которых при предварительном выгибе образовались пластические деформации сжатия.
8. При сварке тонких листов по замкнутому контуру средняя область листа, подвергаясь всестороннему сжатию от действия усадочных усилий вдоль шва, выпучивается от потери устойчивости. Для избежания выпучивания целесообразно перед сваркой произвести местный подогрев средней области листа, т. е. нагрев места листа, в котором ожидается вершина выпучивания.
9. Для уменьшения коробления и появления волнистости на свободной кромке широкого листа при приварке его другой кромки к какой-либо детали у свободной кромки прихватывают временные жесткости в виде уголков или полос, которые после сварки удаляют.
10. Сварка деталей в закрепленном положении и сварка в кондукторах снижает остаточные деформации.
11. Для устранения выпучивания или волнистости от потери устойчивости тонколистовыми элементами сварной конструкции весьма эффективным мероприятием является предварительное растяжение тонких листов и приварка их в растянутом состоянии к другим элементам конструкции или сварка в растянутом состоянии друг с другом. В результате остаточные реактивные напряжения осевого сжатия значительно уменьшаются, и явление потери устойчивости устраняется. [5]

Мероприятия по устранению деформаций после сварки:

1. Холодная правка достигается образованием пластических деформаций растяжения в металле шва и пластического сжатия волокон основного металла на противоположной шву стороне изделия путем выгиба изделия в обратную сторону. В результате холодногогиба в подвергавшихся

					15.04.01.2018.213.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

сжатию волокон основного металла образуются остаточные напряжения растяжения, которые уравнивают действие усадочного усилия и держат изделие в выпрямленном состоянии. Метод громоздкий, требует больших усилий, и при этом исчерпывается запас пластических свойств наплавленного металла. Возможно также образование трещин и разрывов в сварных швах в процессе правки.

2. Горячая правка производится местным нагревом до пластического состояния выпуклой стороны изделия. После остывания в местах нагрева появляются остаточные напряжения растяжения, которые распрямляют изделие и держат его в выпрямленном состоянии. При горячей правке местный нагрев производят газопламенной горелкой секторов или наложением холостого валика на поверхности изделия в точках. Горячая правка, как и холодная, ведет к повышению остаточных напряжений в сварных швах и к исчерпыванию пластических свойств в активной зоне, поэтому после холодной и горячей правки целесообразно для снятия остаточных напряжений производить термический отпуск сварного изделия. [5]
3. Выпучивания (хлопуны) следует править нагревом с выпуклой стороны полос, параллельных одна другой и направленных вдоль большего основания выпучины.
4. Правку волнистости или «бахромы» кромки выполняют термомеханическим способом с минимальным числом полос нагрева (но не клиньев). [19]

3.3 Цель и задачи исследования

Целью данной выпускной квалификационной работы является обеспечение требования по плоскостности для алюминиевого корпуса коробчатого типа.

Задачами исследования являются:

- разработка 3D модели изделия, включая сварные швы;
- проведение моделирования процесса сварки в программе Weld Planner;

									Лист
									26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.04.01.2018.213.00 ПЗ				

- проведение сварки контрольного сварного соединения и определение экспериментального значения коробления;
- моделирование процесса сварки (наплавки) КСС;
- моделирование процесса сварки корпуса в Weld Planner с различными последовательностями наложения сварных швов, режимами;
- составление рекомендаций по уменьшению коробления корпуса при сварке.

3.4 План эксперимента

Для проведения исследования порядка наложения сварных швов была составлена таблица с вариантами наложения швов и значениями коробления в зависимости от направления сварки (таблица 3.1). После составления таблицы был проведен эксперимент в программе Weld Planner.

Таблица 3.1 – Исследование порядка наложения швов

№	Порядок наложения швов							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	+	+	+	+	+	+	+	+
2	+	–	–	+	+	–	–	+
3	+	+	–	–	–	–	+	+
4	+	–	+	–	–	+	–	+
5	+	–	–	–	+	+	+	–
6	+	+	–	+	–	+	–	–
7	+	+	+	–	+	–	–	–
8	–	+	+	–	+	+	–	+
9	–	–	+	+	–	–	+	+
10	+	–	+	–	+	–	+	–
11	+	+	–	–	+	+	–	–
12	–	+	–	+	–	+	–	+
13	+	–	–	+	–	–	+	–
14	+	+	+	+	–	–	–	–
15	–	–	–	–	+	+	+	+
16	+	+	+	+	+	+	+	–
17	+	+	+	+	+	+	–	–
18	+	+	+	+	+	–	–	–
19	+	+	+	–	–	–	–	–

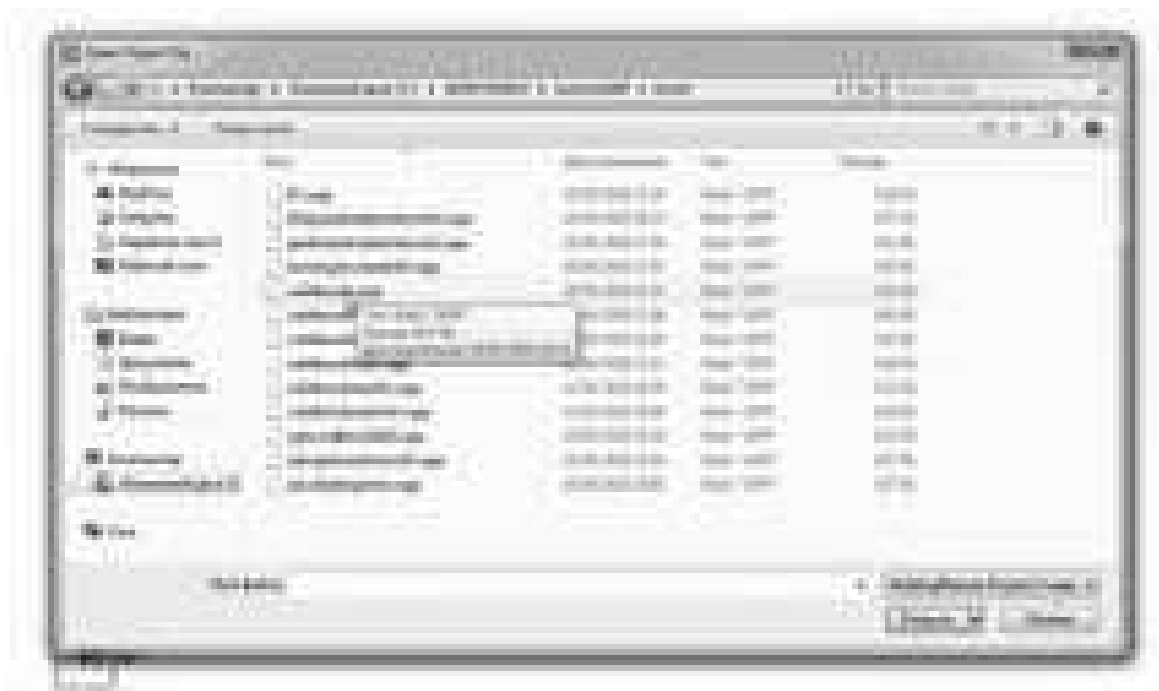


Рисунок 3.2 – Открытие файла



Рисунок 3.3 – Модель алюминиевого корпуса

2. Задаем направления сварных швов. Для этого открываем вкладку Weld Seams (рисунок 3.4).



Рисунок 3.4 – Вкладка Weld Seams

Затем в разделе Weld Definition нажимаем (рисунок 3.5):

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

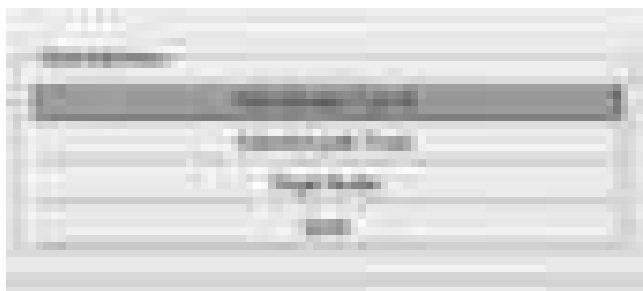


Рисунок 3.5 – Вкладка Weld Definition

По двум точкам укажем направление сварки. 1- точка начало сварки, 2 – конец (рисунок 3.6).

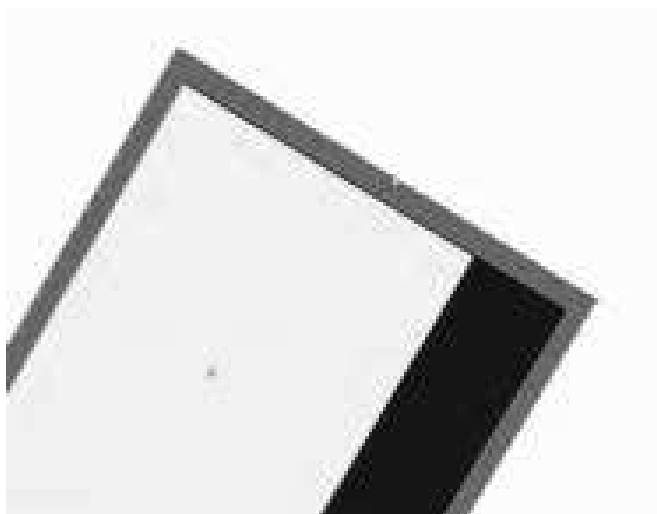


Рисунок 3.6 – Направление сварки





Нажав на кнопку , на панели  можно менять направление сварки. Таким образом создаем 8 сварных швов, и 16 направлений сварки. Один шов – два направления. Зашифровываем с помощью цифр номера швов, знаков «+» и «-» направление сварки (рисунок 3.7 –3.8).



Рисунок 3.7 – Сварные швы



Рисунок 3.8 – Сварные швы

3. Создаем закрепление короба. На вкладке Clamp Definition (рисунок 3.9),



Рисунок 3.9 – Clamp Definition

нажимаем Nodes on Edge и создаем закрепление в центре дна короба (рисунок 3.10).



Рисунок 3.10 – Создание закрепления

4. Моделируем сварку. Открываем в панели управления вкладку Process Definition (рисунок 3.11).



Рисунок 3.11 – Вкладка Process Definition

Откроется окно моделирования (рисунок 3.12).

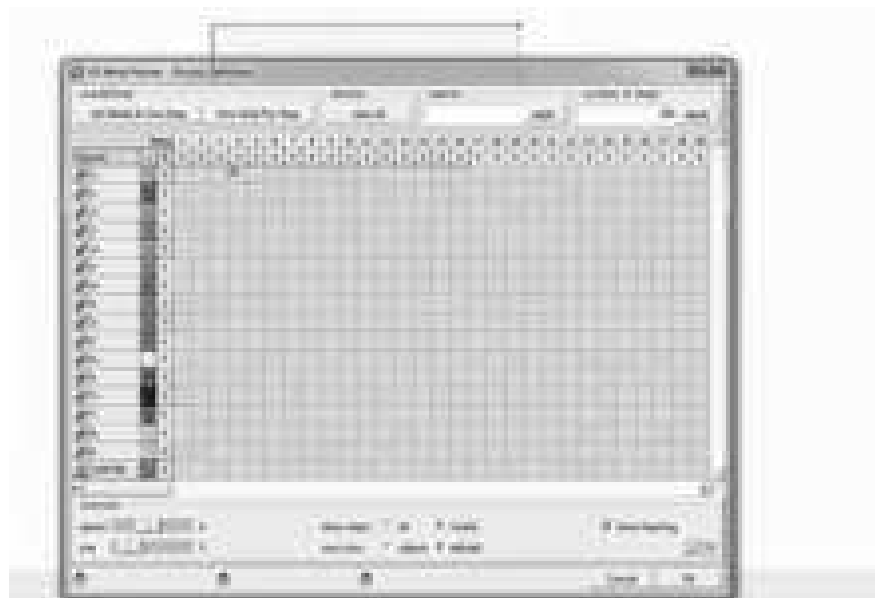


Рисунок 3.12 – Окно моделирования

Выбираем нажатиями на квадраты нужное направление сварки и закрепление. Нажимаем ОК (рисунок 3.13).

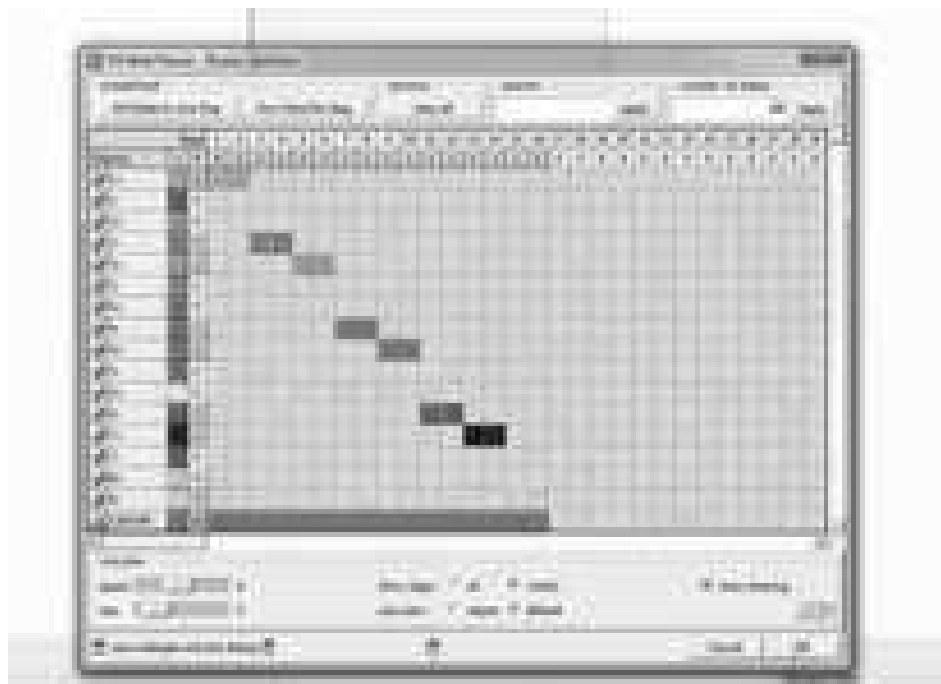


Рисунок 3.13 – Окно моделирования

Далее нажимаем Input Deck. Сохраняем моделирование. Даем название на английском языке (рисунок 3.14).

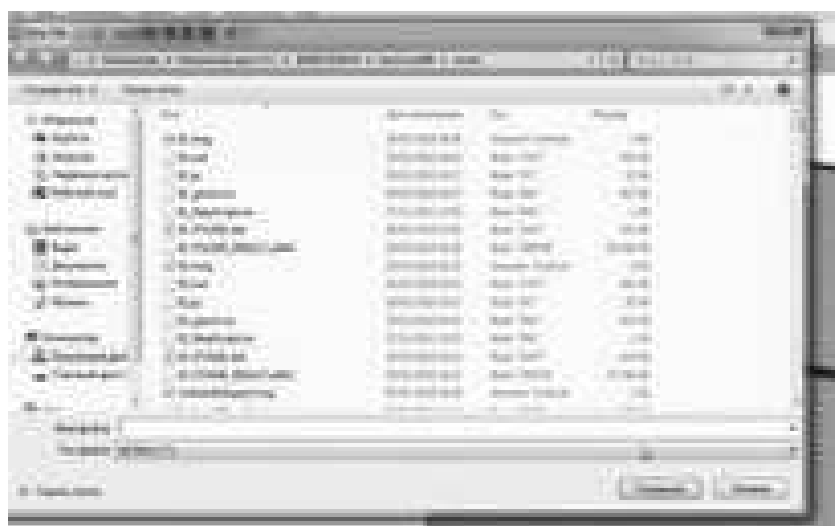


Рисунок 3.14 – Сохранение моделирования

Затем нажимаем Calculation. Запускаем расчет (рисунок 3.15–3.16).



Рисунок 3.15 – Окно запуска расчета

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата



Рисунок 3.16 – Окно расчета

Далее нажимаем Results Analysis (рисунок 3.17). Смотрим полученный результат (рисунок 3.18).



Рисунок 3.17 – Вкладка Results Analysis



Рисунок 3.18 – Результат моделирования

Аналогичным способом моделируем все способы направлений сварки.

3.6 Методика обработки эксперимента

После проведения эксперимента в Weld Planner была заполнена таблица исследования порядка наложения швов и значения короблений (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Исследование порядка наложения швов

№ экспери- мента	Номер шва								Значение коробления
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	+	+	+	+	+	+	+	+	54,7
2	+	–	–	+	+	–	–	+	8,84
3	+	+	–	–	–	–	+	+	103
4	+	–	+	–	–	+	–	+	8,39
5	+	–	–	–	+	+	+	–	10,2
6	+	+	–	+	–	+	–	–	21,6
7	+	+	+	–	+	–	–	–	53,2
8	–	+	+	–	+	+	–	+	8,66
9	–	–	+	+	–	–	+	+	8,5
10	+	–	+	–	+	–	+	–	5,0
11	+	+	–	–	+	+	–	–	19,8
12	–	+	–	+	–	+	–	+	5,29
13	+	–	–	+	–	–	+	–	11,0
14	+	+	+	+	–	–	–	–	49,3
15	–	–	–	–	+	+	+	+	5,9
16	+	+	+	+	+	+	+	–	54,8
17	+	+	+	+	+	+	–	–	53,8
18	+	+	+	+	+	–	–	–	48,2
19	+	+	+	–	–	–	–	–	338
20	+	+	–	–	–	–	–	–	13,8
21	+	–	–	–	–	–	–	–	12,3
22	–	–	–	–	–	–	–	–	11,4
23	–	+	–	+	+	–	+	–	19,0

Далее представлены результаты различных моделирований, с лучшим и худшим порядком наложения сварных швов, пример заводского варианта наложения сварных швов, различные варианты закреплений конструкции при сварке.

1. Заводской вариант, опыт № 23, наложения сварных швов, в свободном положении, с результатом значения коробления 19,0 (рисунок 3.19–3.21).

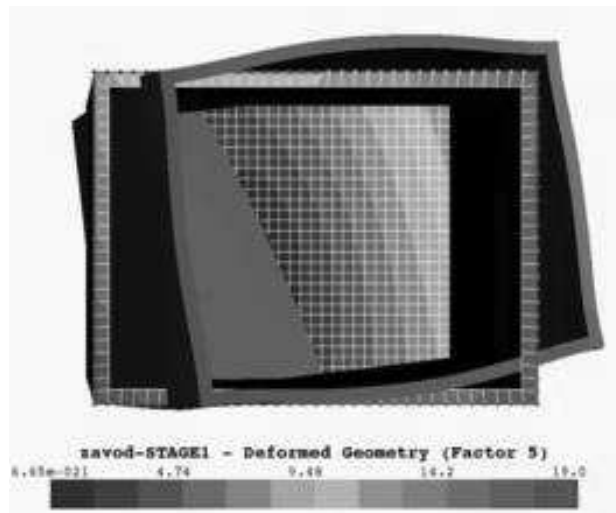


Рисунок 3.19 – Заводской вариант

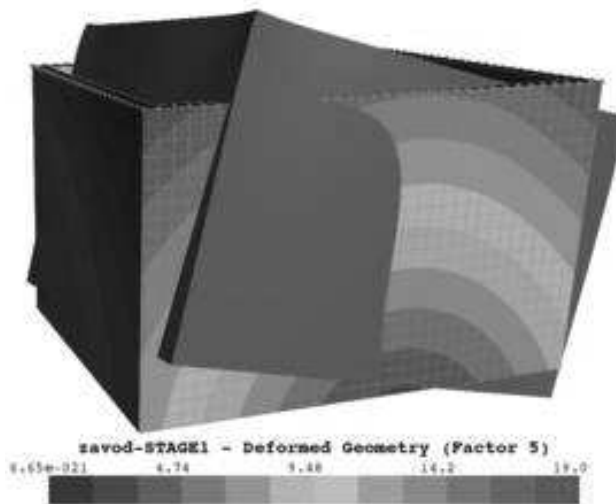


Рисунок 3.20 – Заводской вариант

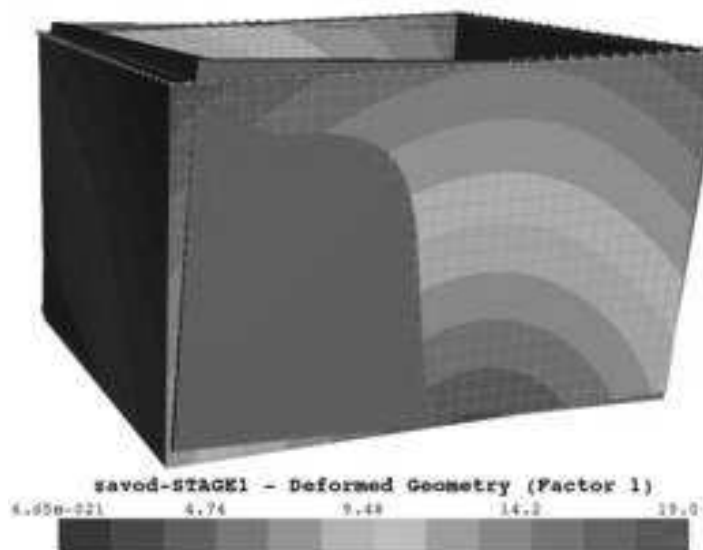


Рисунок 3.21 – Заводской вариант

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

2. Опыт № 10 с полученным минимальным короблением равным 5,0, свободное положение, направление швов «навстречу друг другу» (рисунок 3.22–3.23).

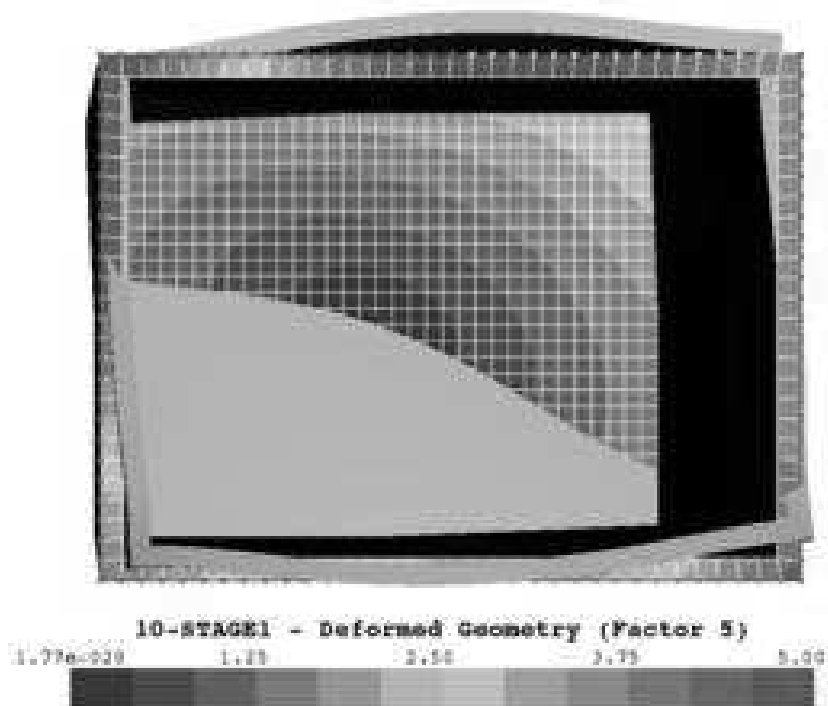


Рисунок 3.22 – Опыт №10

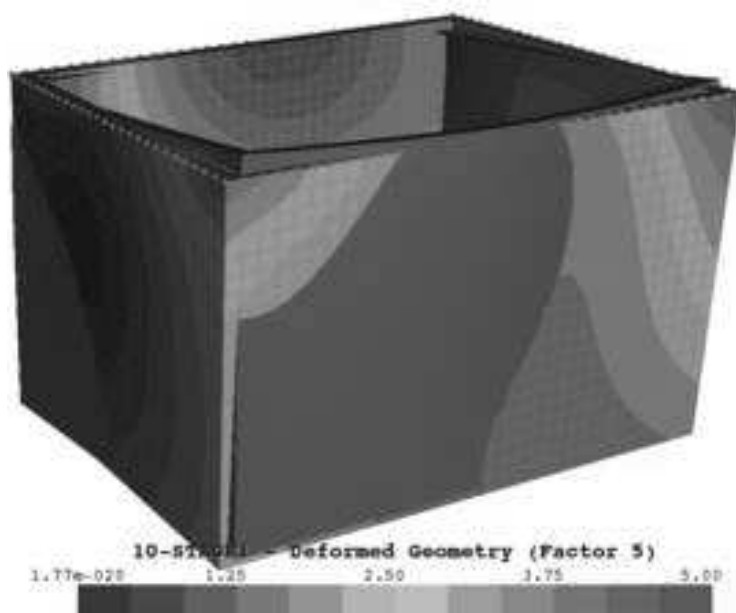


Рисунок 3.23 – Опыт №10

3. Опыт № 1 с последовательным наложением швов по часовой стрелке, полученное коробление 54,7 (рисунок 3.24–3.25).

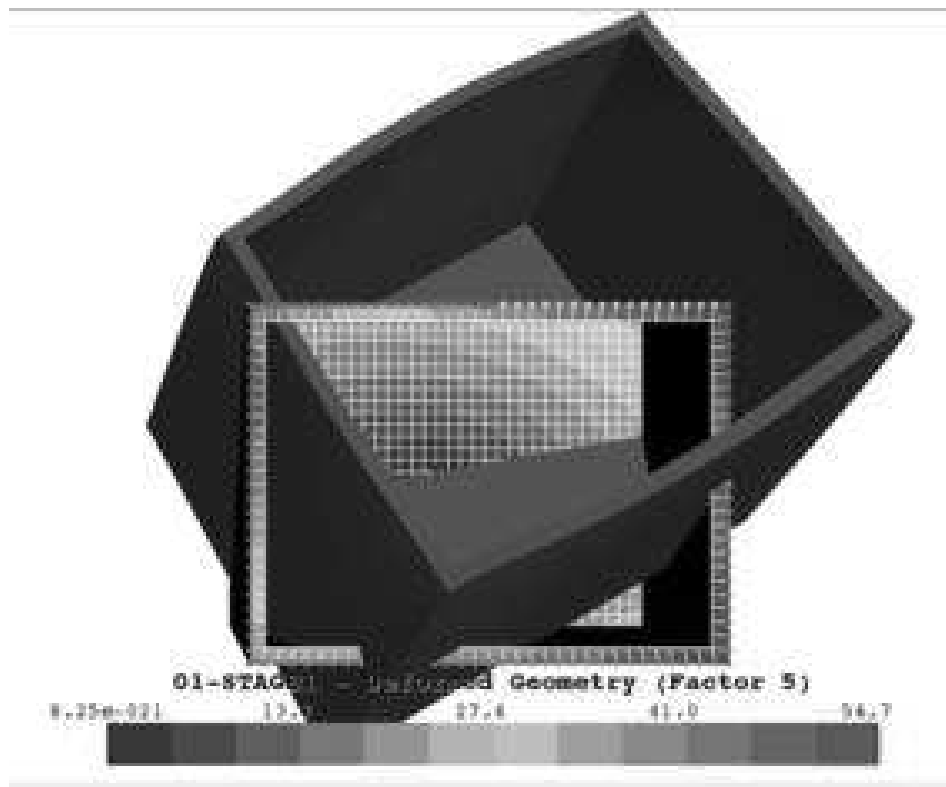


Рисунок 3.24 – Опыт №1

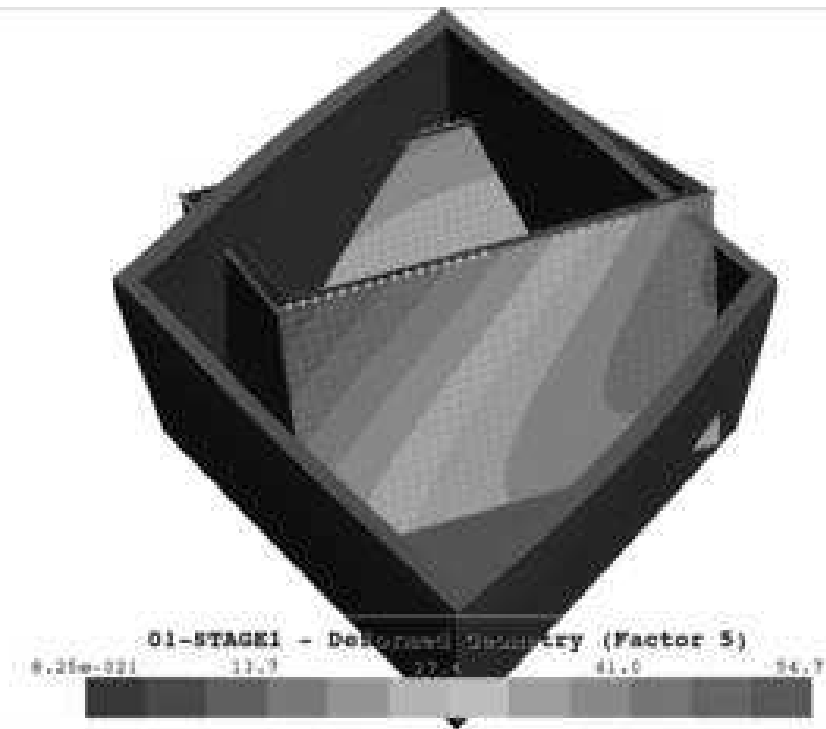


Рисунок 3.25 – Опыт №1

4. Опыт № 23 с обратноступенчатым наложением швов против часовой стрелки, корабление 11,4 (рисунок 3.26–3.27).

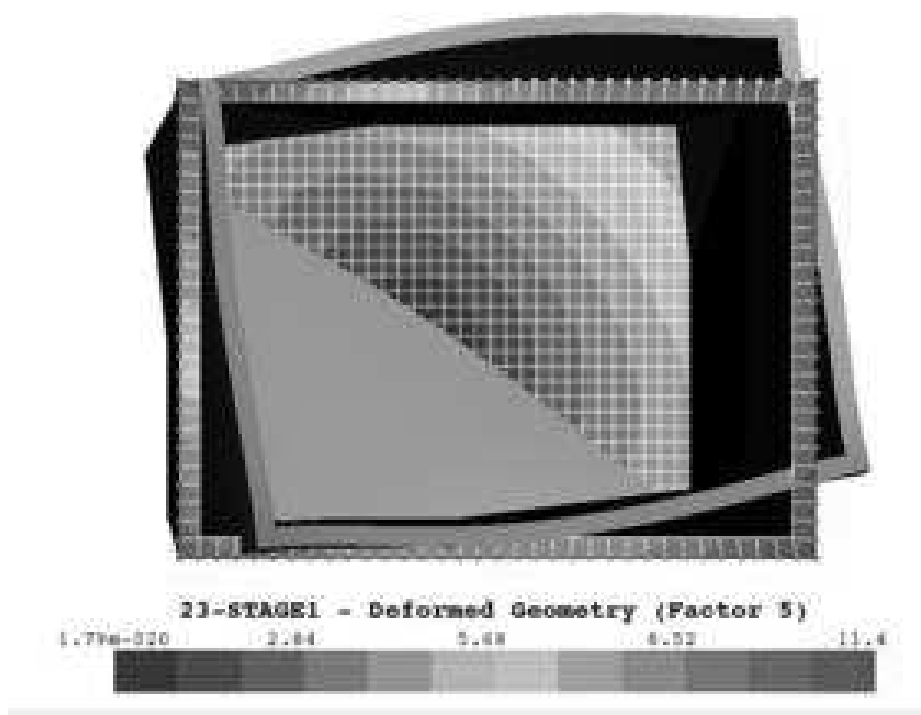


Рисунок 3.26 – Опыт №23

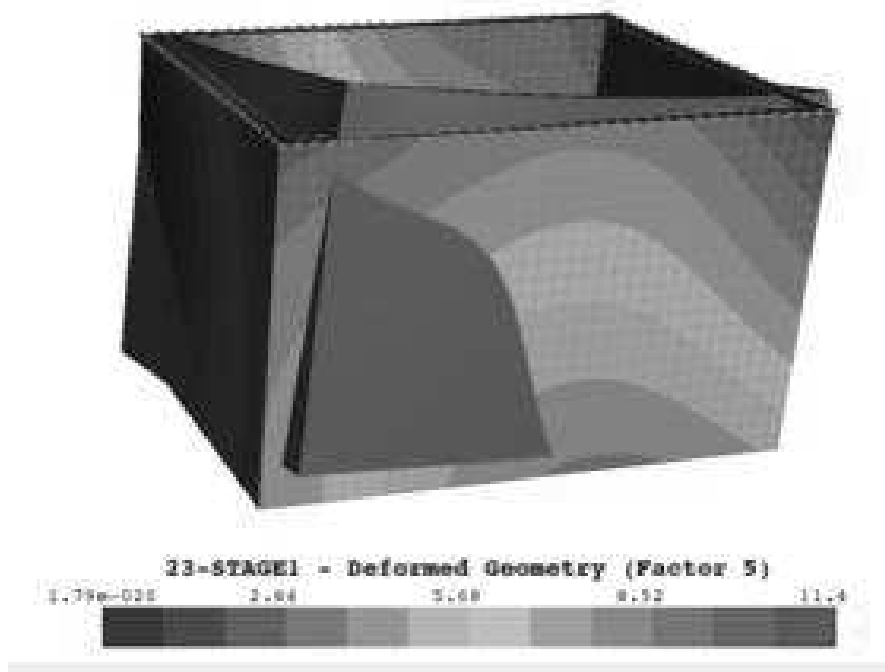


Рисунок 3.27 – Опыт №23

5. Опыт № 13 наложение швов «друг от друга», полученное коробление 5,29 (рисунок 3.28–3.29).

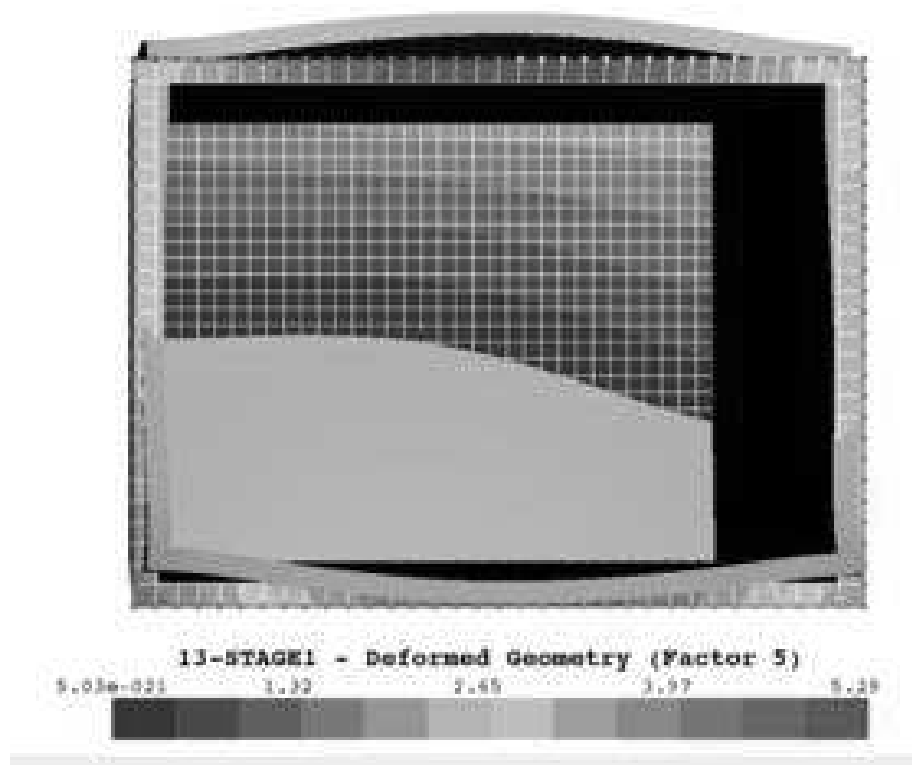


Рисунок 3.28 – Опыт №13

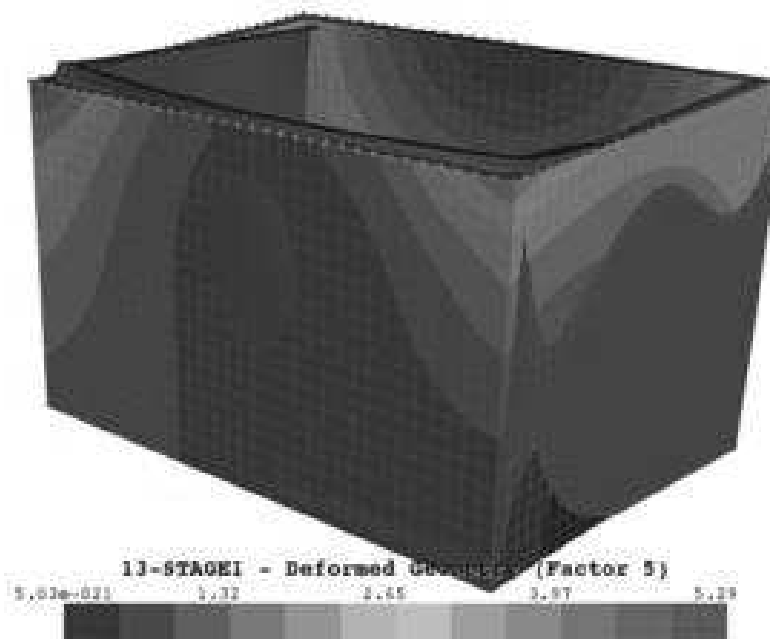


Рисунок 3.29 – Опыт №13

6. Опыт № 10 сварка двумя роботами, полученное коробление 7,12 (рисунок 3.30–3.31).

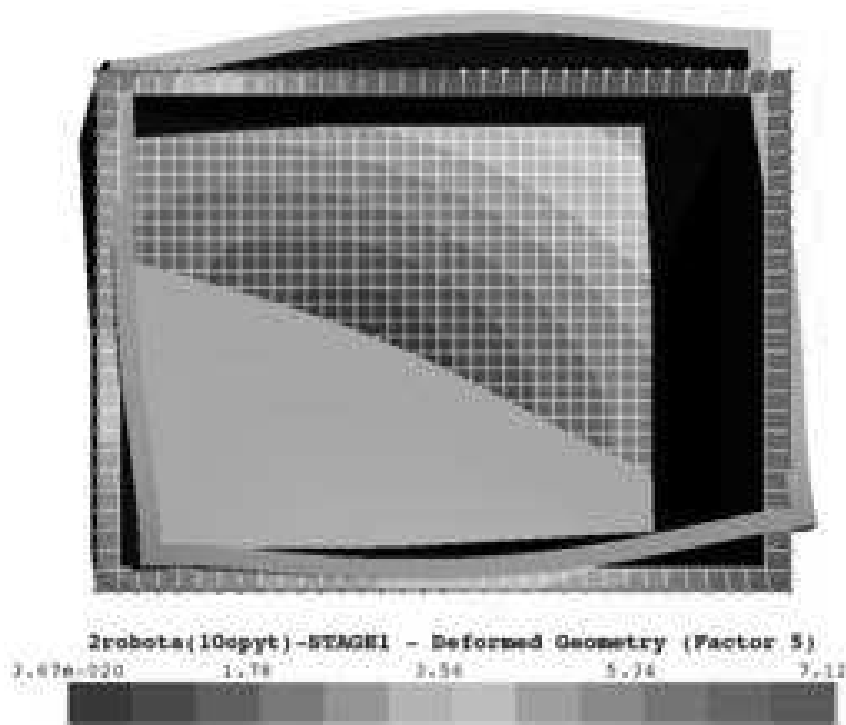


Рисунок 3.30 – Сварка двумя роботами

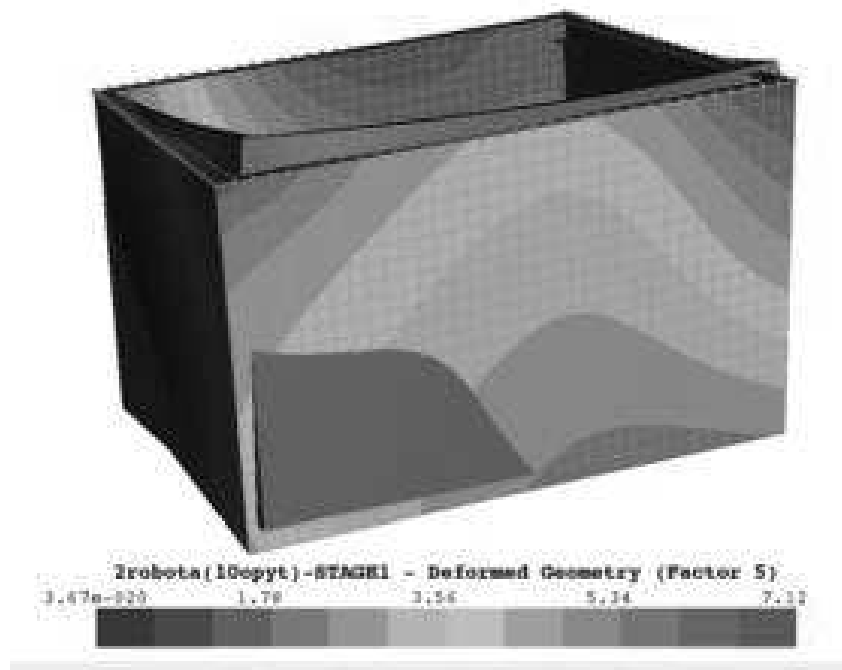


Рисунок 3.31 – Сварка двумя роботами

7. Сварка двумя роботами параллельное направление, значение коробления 4,71 (рисунок 3.32–3.33).

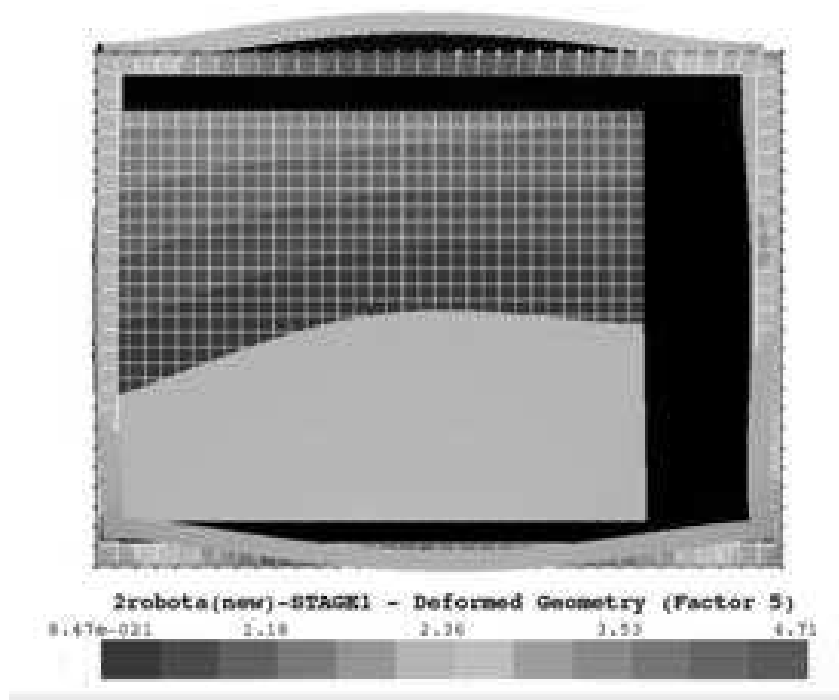


Рисунок 3.32 – Сварка двумя роботами параллельное направление

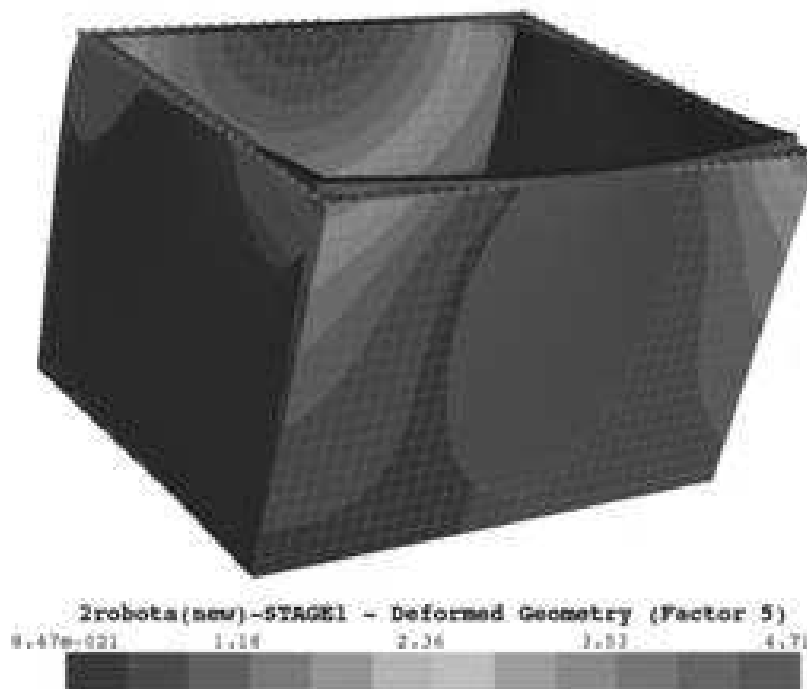


Рисунок 3.33 – Сварка двумя роботами параллельное направление

8. Опыт № 10 с фиксацией стенок, полученное значение коробления 10,0 (рисунок 3.34–3.35).

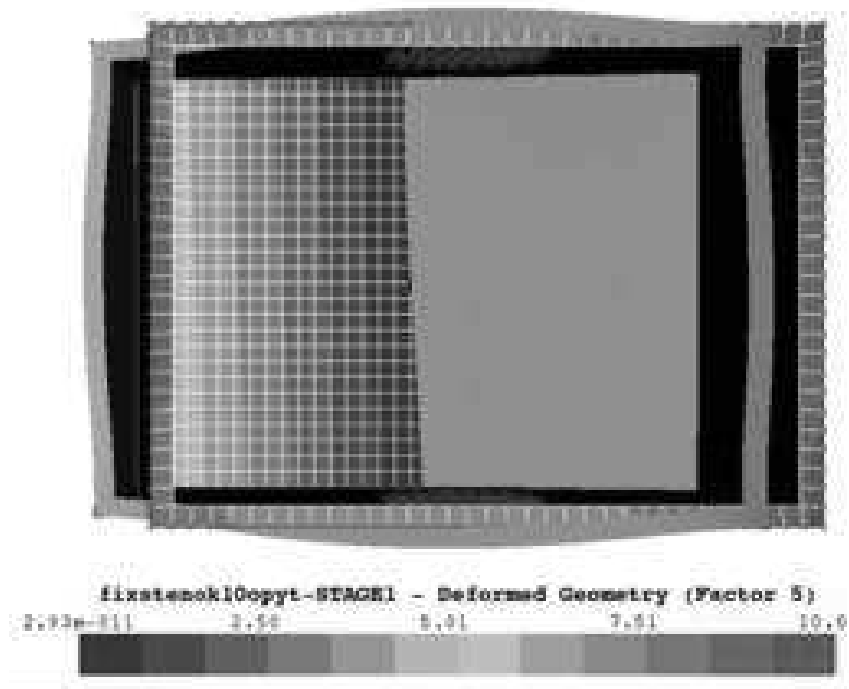


Рисунок 3.34 – Фиксация стенок

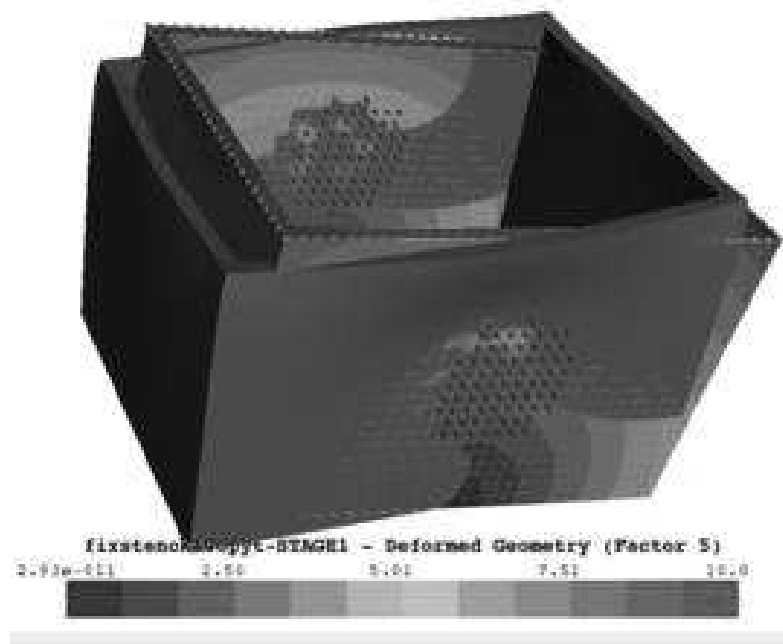


Рисунок 3.35 – Фиксация стенок

9. Опыт № 10 с фиксацией стенок по всем осям, значение коробления 2,04 (рисунок 3.36–3.37).

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

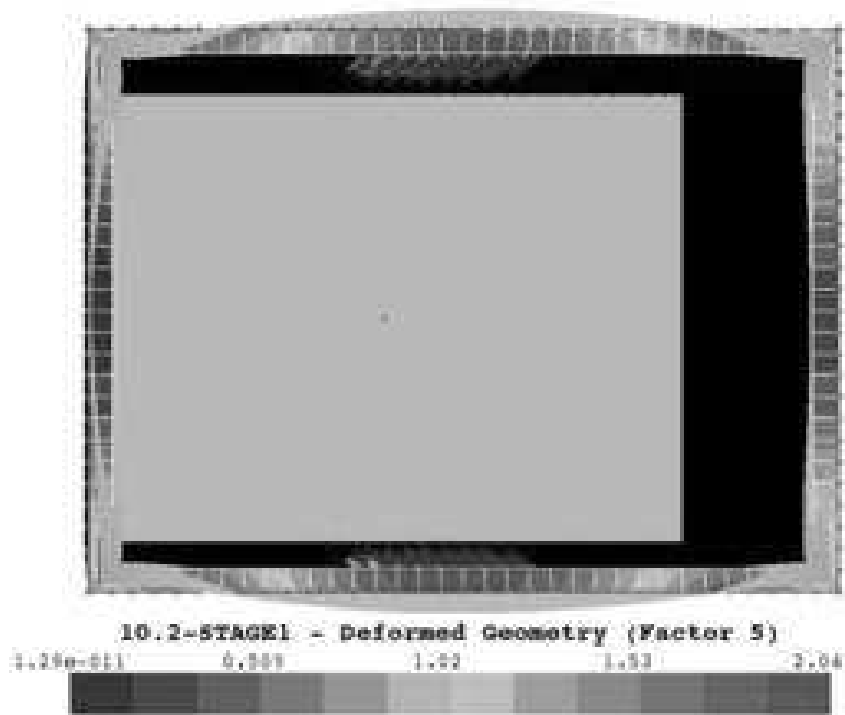


Рисунок 3.36 – Фиксация стенок по всем осям

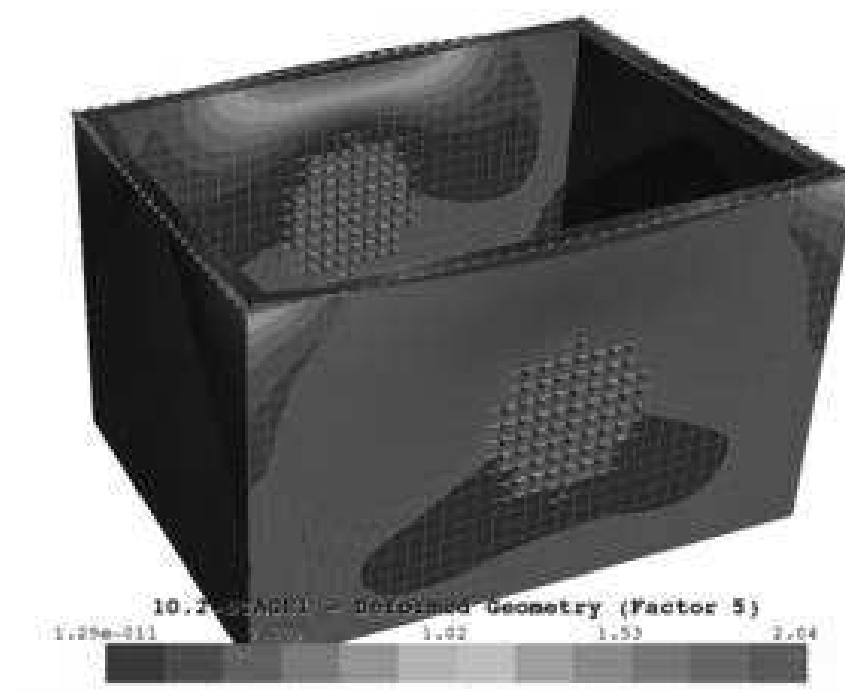


Рисунок 3.37 – Фиксация стенок по всем осям

10. Опыт № 10 с жестким закреплением всей конструкции, значение коробления 0,12 (рисунок 3.38–3.39).

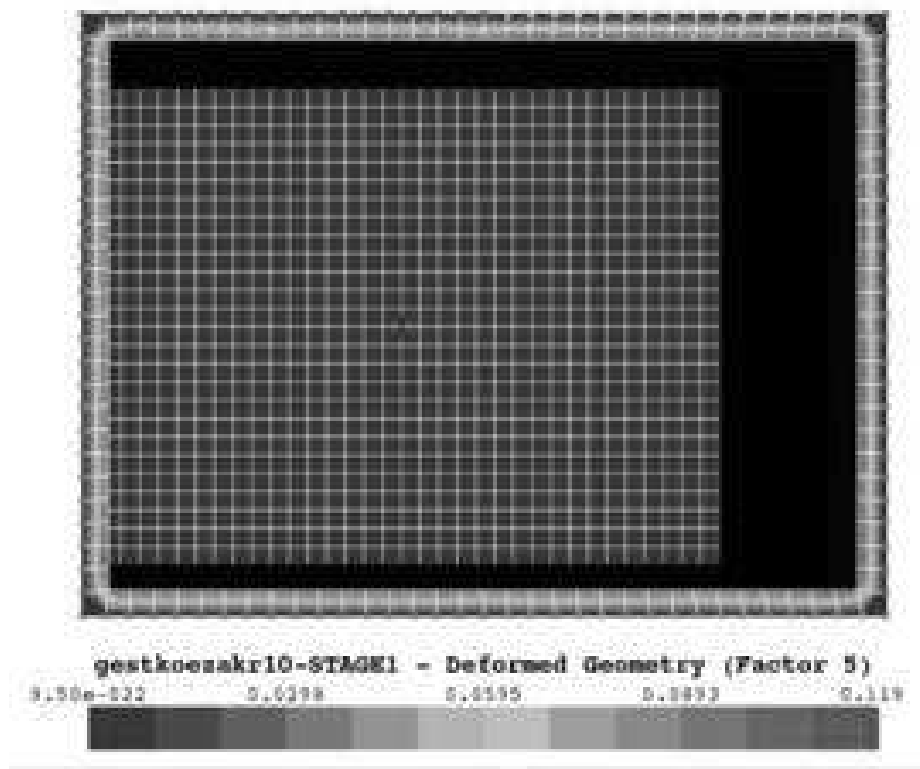


Рисунок 3.38 – Жесткое закрепление конструкции

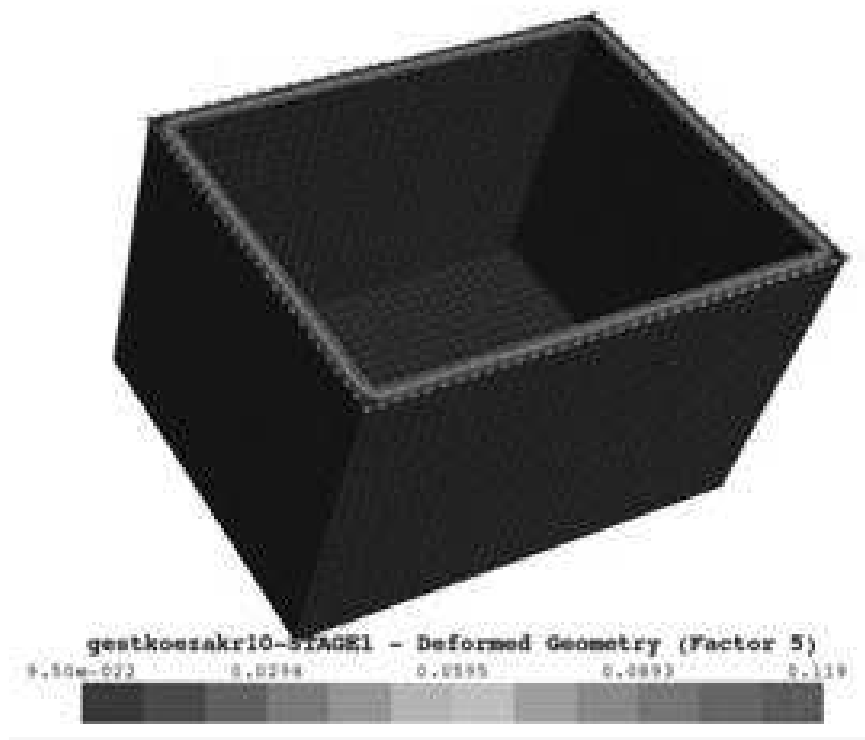


Рисунок 3.39 – Жесткое закрепление конструкции

11. Опыт № 10 с закреплением по углам конструкции, значение коробления 2,43 (рисунок 3.40–3.41).

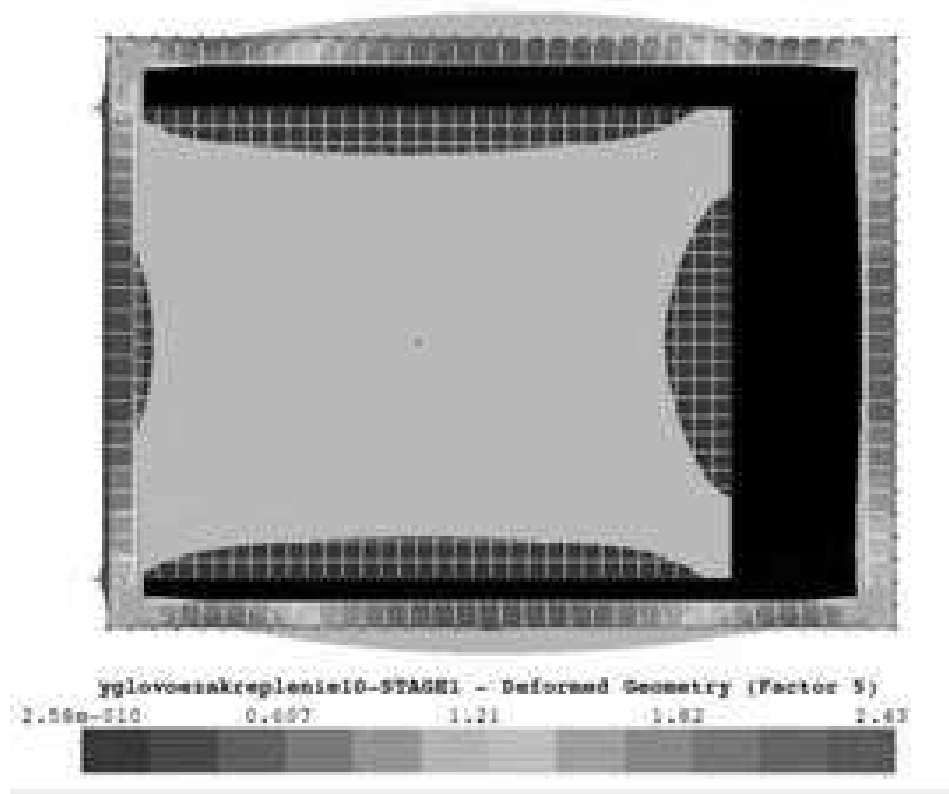


Рисунок 3.40 – Угловое закрепление

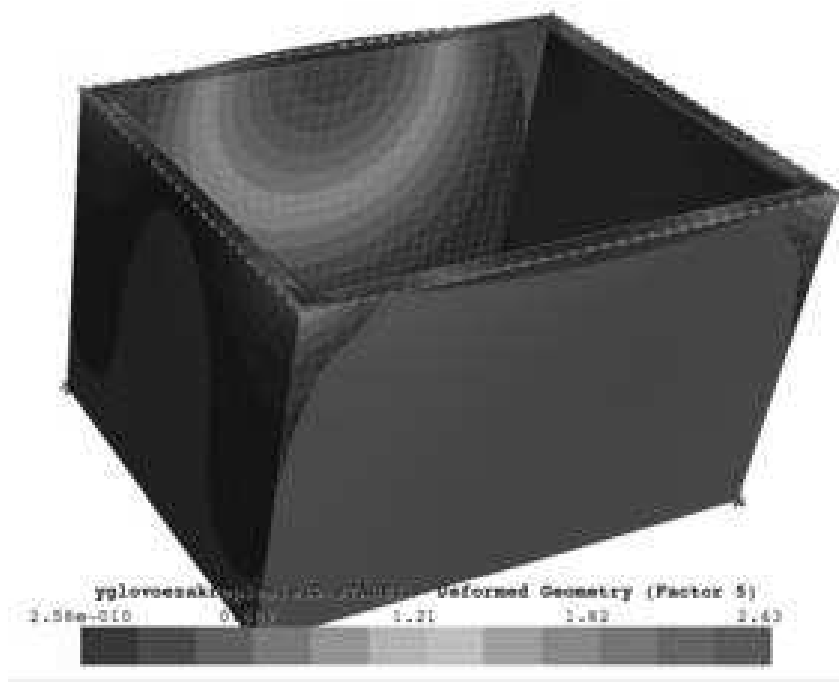


Рисунок 3.41 – Угловое закрепление

12. Опыт № 10 закрепление в виде окружностей по всем стенкам и крышки, значение коробления 1,13 (рисунок 3.42–3.43).

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15.04.01.2018.213.00 ПЗ

Лист

46

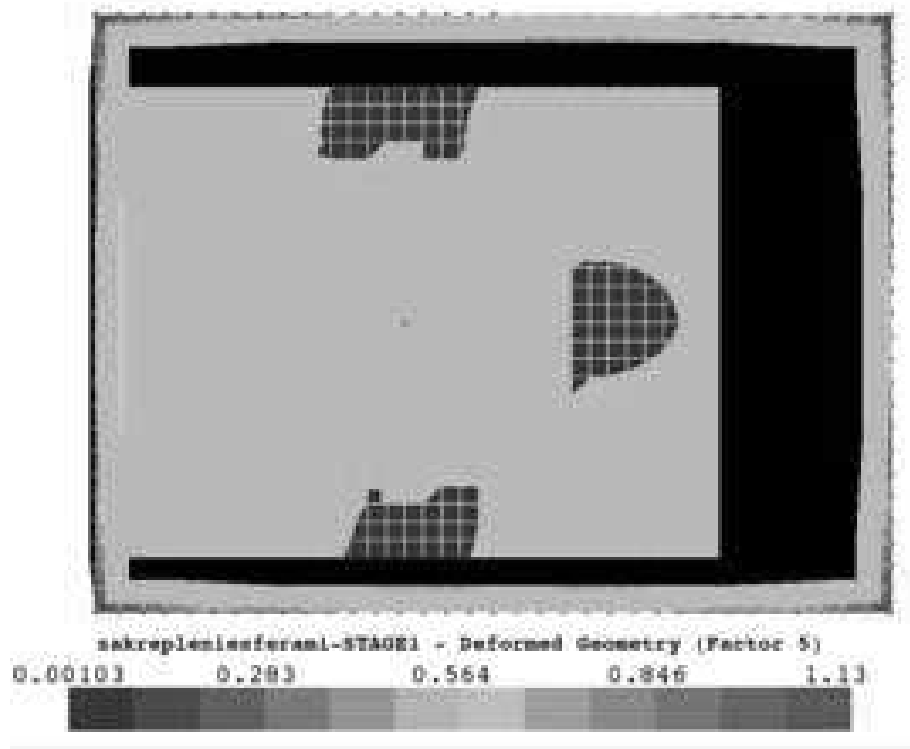


Рисунок 3.42 – Закрепление стенок и крышки конструкции

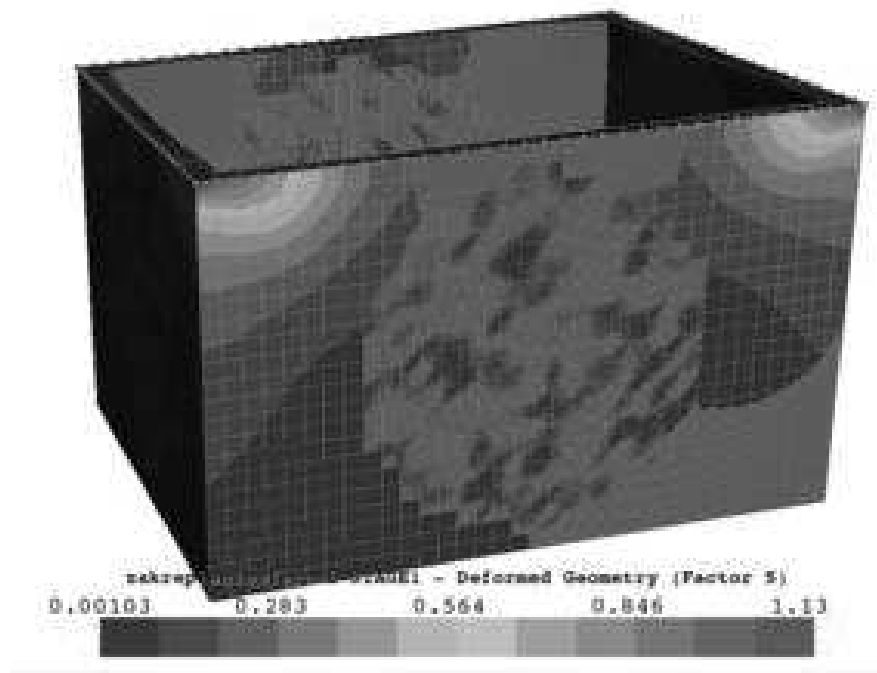


Рисунок 3.43 – Закрепление стенок и крышки конструкции

13. Заводской вариант наложения швов с жестким закреплением всех стенок и крышки, значение коробления 1,13 (рисунок 3.44–3.45).

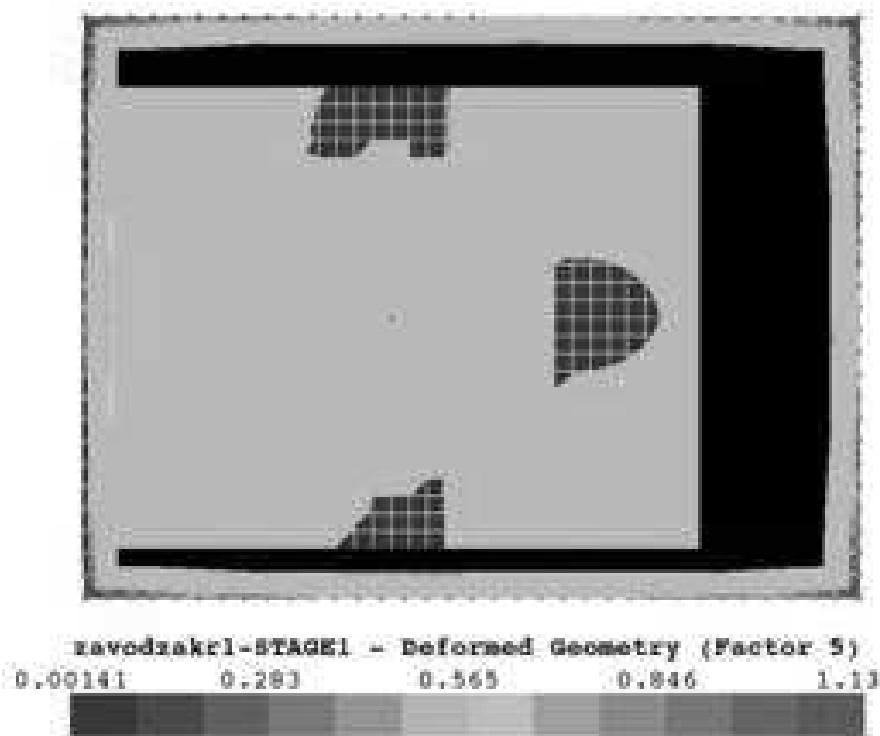


Рисунок 3.44 – Заводской вариант с жестким закреплением всей конструкции

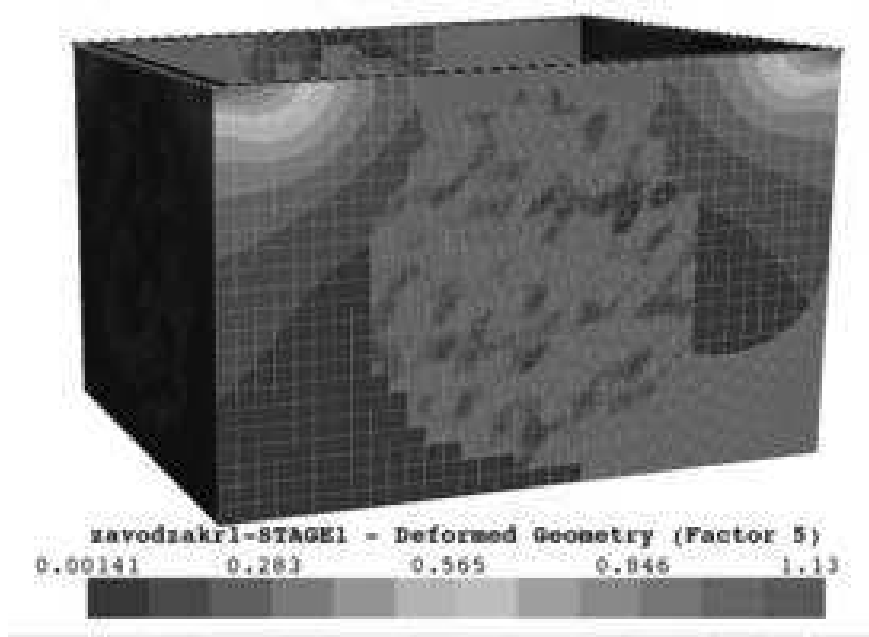


Рисунок 3.45 – Заводской вариант с жестким закреплением всей конструкции
 14. Опыт № 10 с фиксацией крышки и центра конструкции, значение коробления 2,66 (рисунок 3.46–3.47).

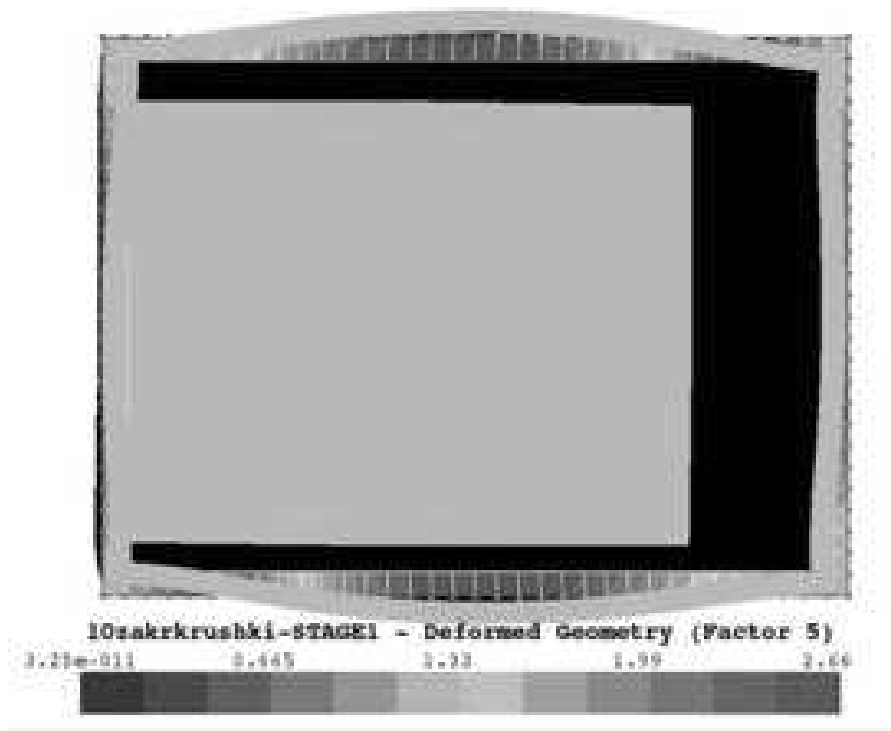


Рисунок 3.46 – Опыт №10 с фиксацией крышки и центра

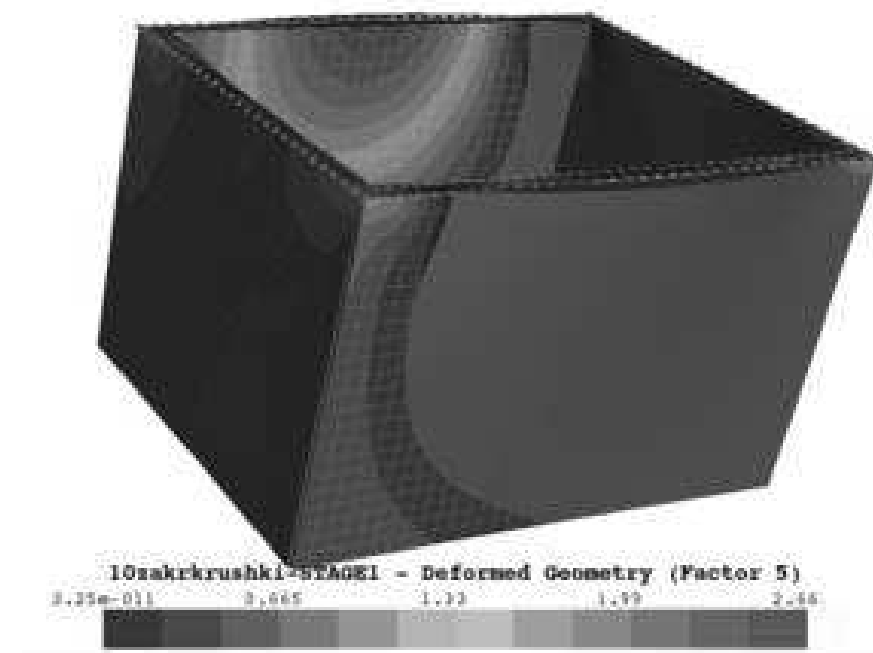


Рисунок 3.47 – Опыт №10 с фиксацией крышки и центра

15. Заводской вариант с закреплением крышки и центра конструкции, значение коробления 2,65 (рисунок 3.48–3.50).

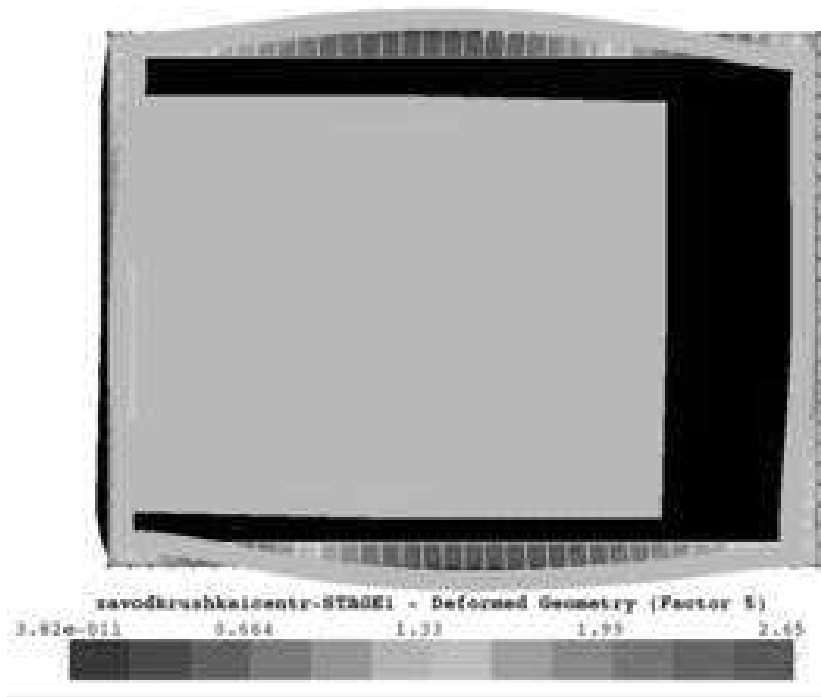


Рисунок 3.48 – Заводской вариант с фиксацией крышки и центра

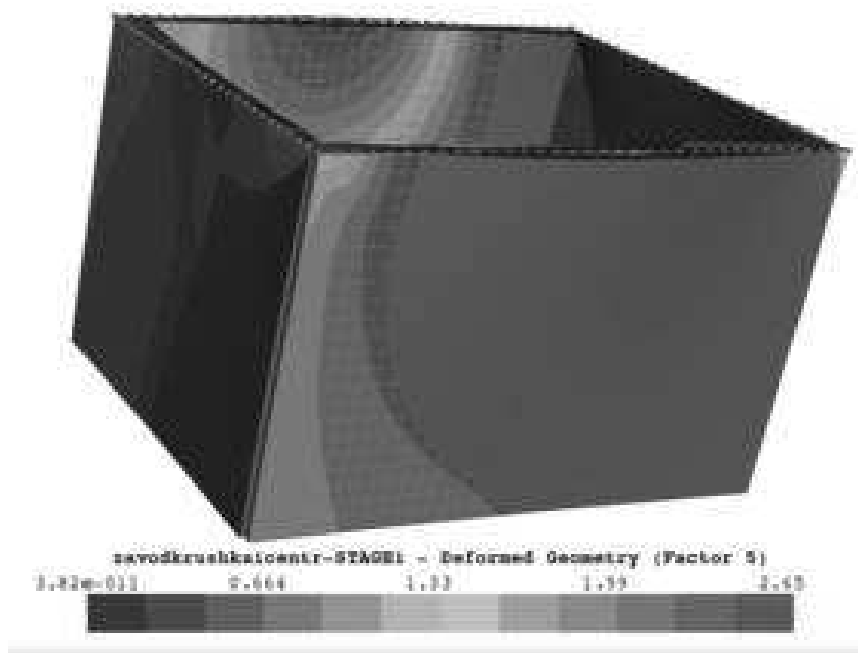


Рисунок 3.49 – Заводской вариант с фиксацией крышки и центра

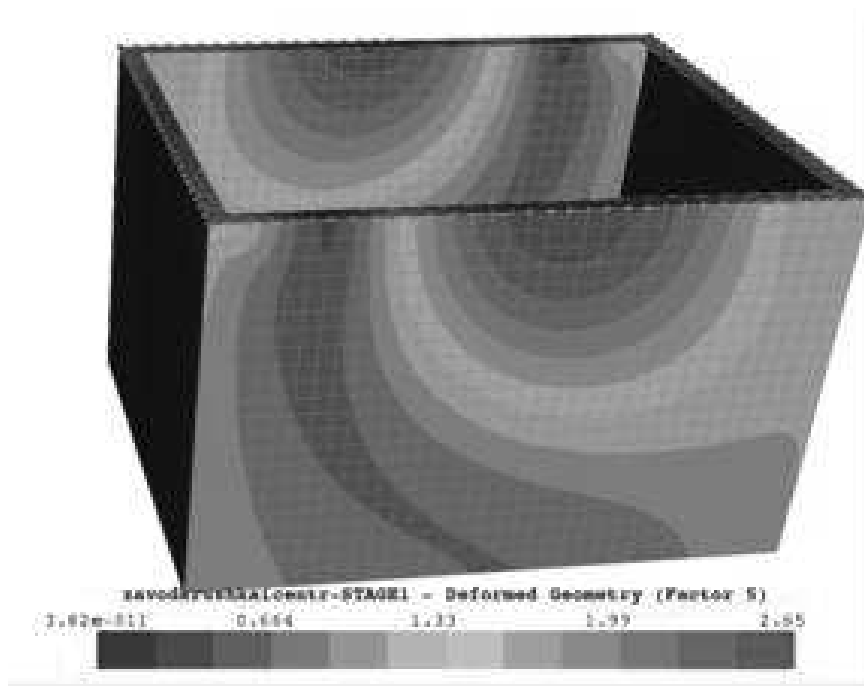


Рисунок 3.50 – Заводской вариант с фиксацией крышки и центра
 16. Заводской вариант с двумя роботами, закрепление крышки и стенок конструкции, значение коробления 1,13 (рисунок 3.51–3.52).

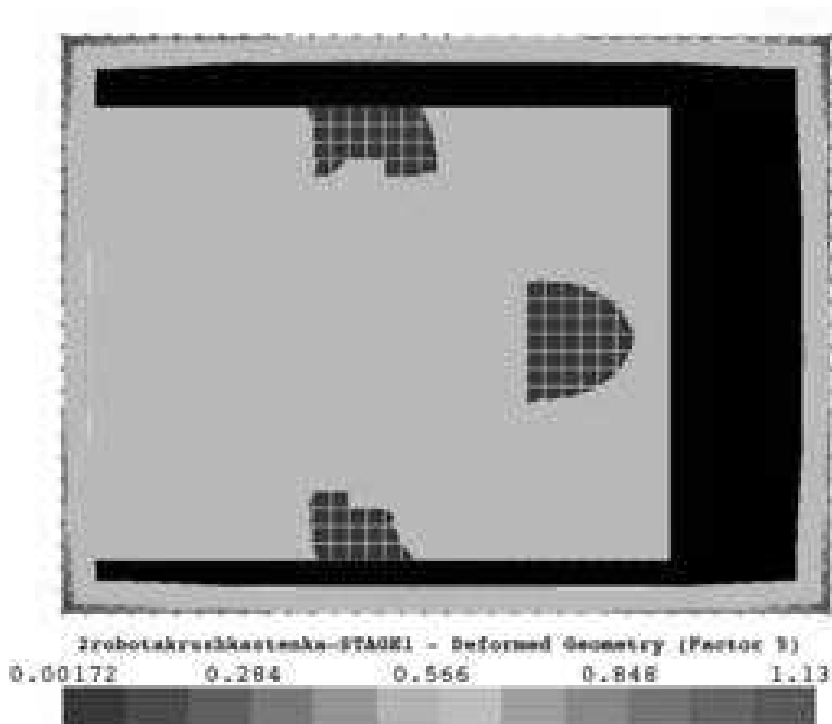


Рисунок 3.51 – Заводской вариант сварка двумя роботами с фиксацией крышки и центра

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15.04.01.2018.213.00 ПЗ

Лист

51

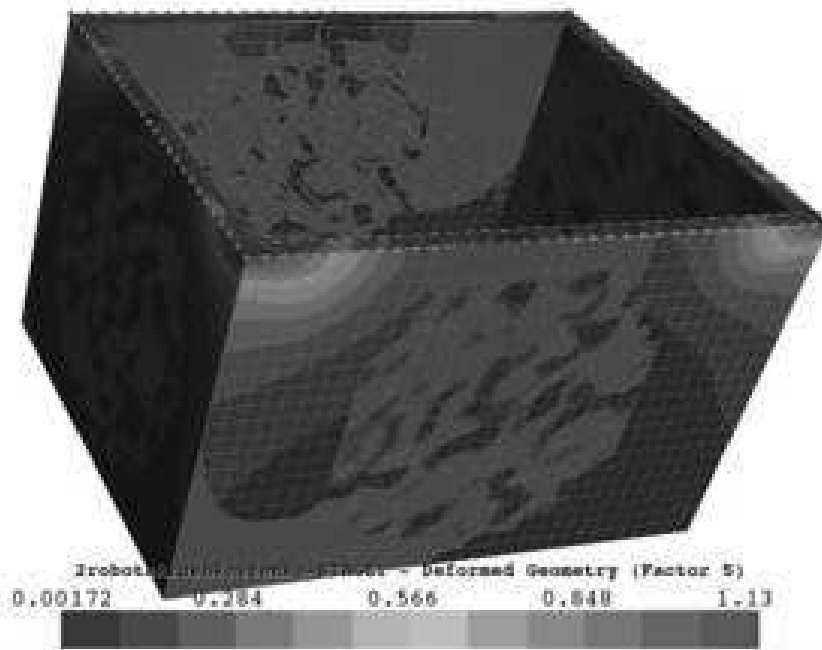


Рисунок 3.52 – Заводской вариант сварка двумя роботами с фиксацией крышки и центра

3.7 Результаты проведенных исследований

После полученных результатов эксперимента, был построен график зависимости коробления от суммы направлений сварки (рисунок 3.53).

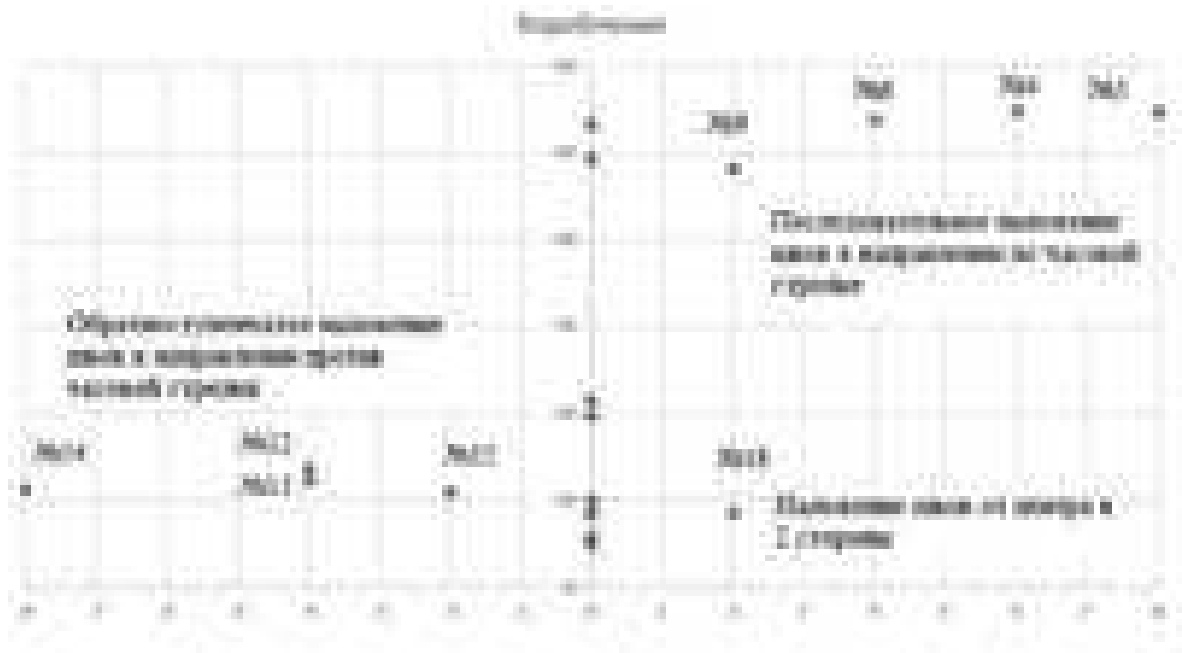


Рисунок 3.53 – График зависимости коробления от суммы направлений сварки

Далее приведены схемы наложения сварных швов, результаты моделирования и их описание. Фактор 5 – это величина коробления, показанная на рисунке серым, увеличенная в 5 раз.

1. Вариант порядка наложения сварных швов с завода, и результаты моделирования (рисунок 3.54–3.55).



Рисунок 3.54 – Схема порядка наложения швов

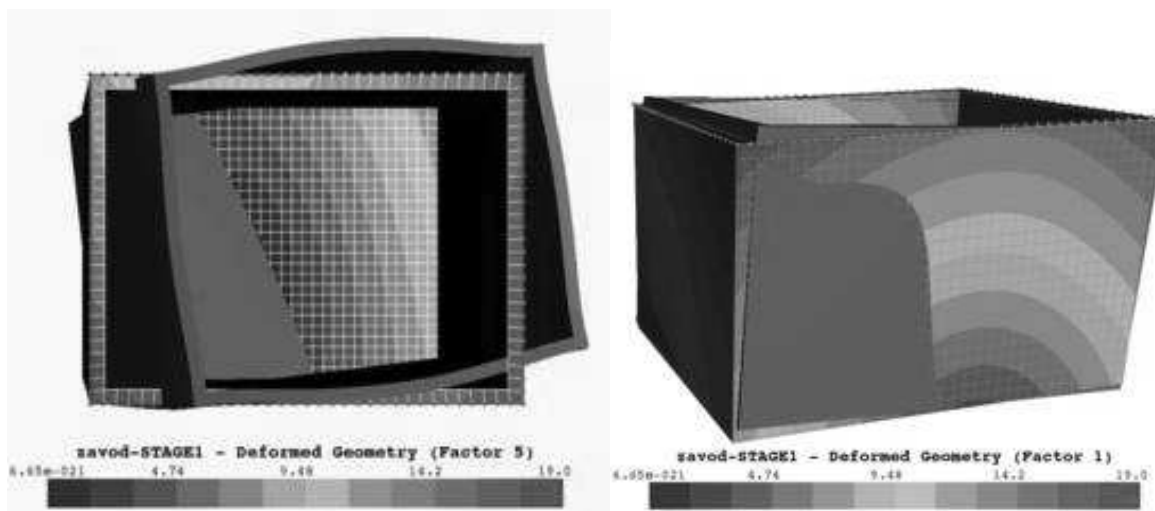


Рисунок 3.55 – Результат моделирования

Большая стенка принимает выпукло-вогнутый вид. 19,0 – значение коробления при сварке заводским способом наложения швов.

2. Опыт №1, последовательное направление порядка наложения швов против часовой стрелки (рисунок 3.56–3.57).



Рисунок 3.56 – Схема порядка наложения швов

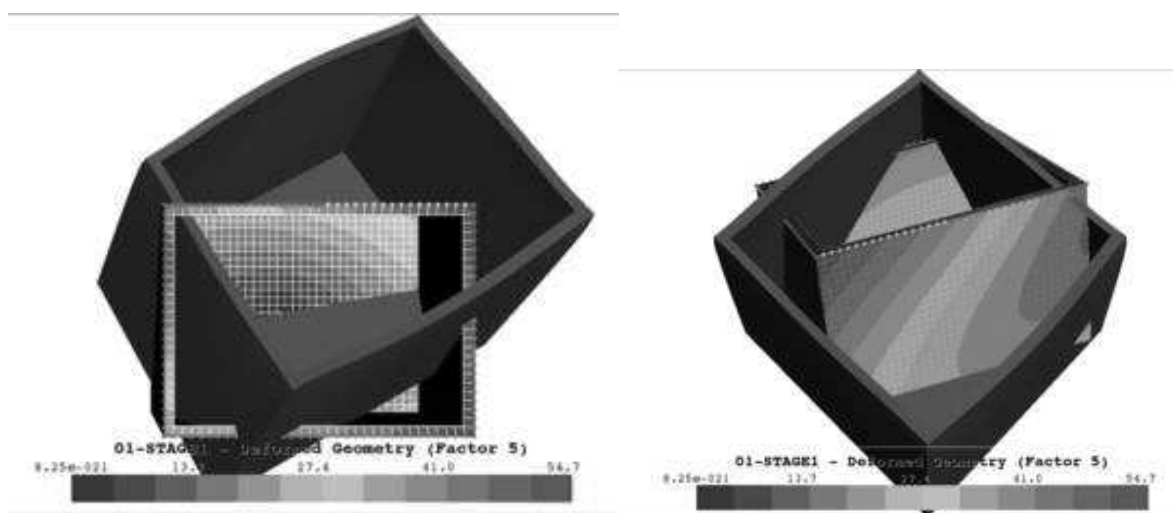


Рисунок 3.57 – Результат моделирования

Значение коробления равно 54,7 при последовательном наложении швов против часовой стрелки, короб сильно деформируется, коробление превышает заводской вариант порядка наложения швов в 2,5 раза.

3. Опыт №23, обратноступенчатое направление наложения швов против часовой стрелки (рисунок 3.58–3.59).



Рисунок 3.58 – Схема порядка наложения швов

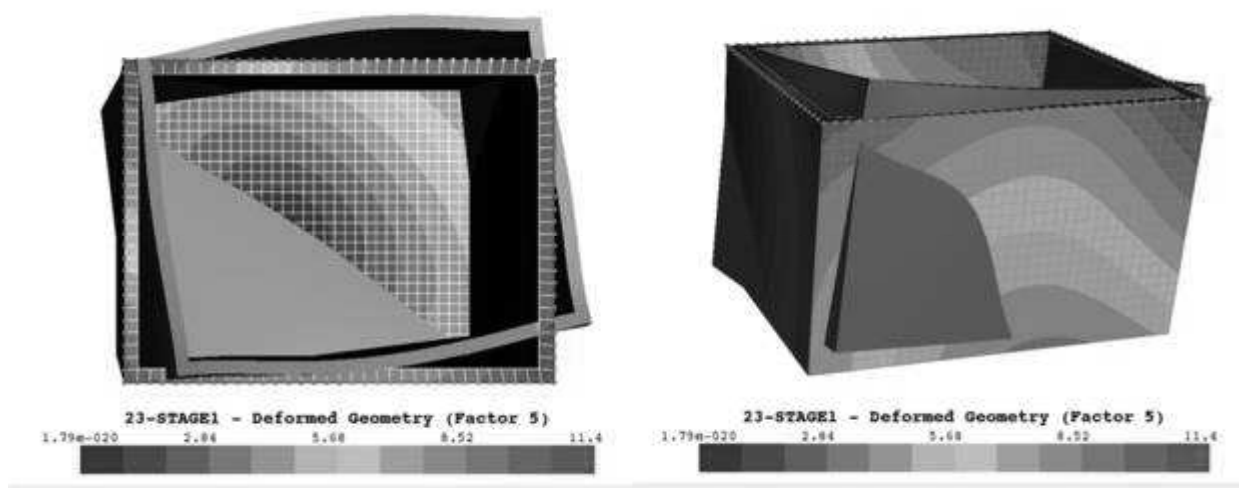


Рисунок 3.59 – Результат моделирования

Значение коробления равно 11,4 при обратноступенчатом наложении швов против часовой стрелки, полученный результат меньше заводского варианта в 1,5 раза. Большая стенка, так же принимает выпукло-вогнутый вид.

4. Опыт №13, порядок наложения сварных швов «друг от друга» (рисунок 3.60–3.61).

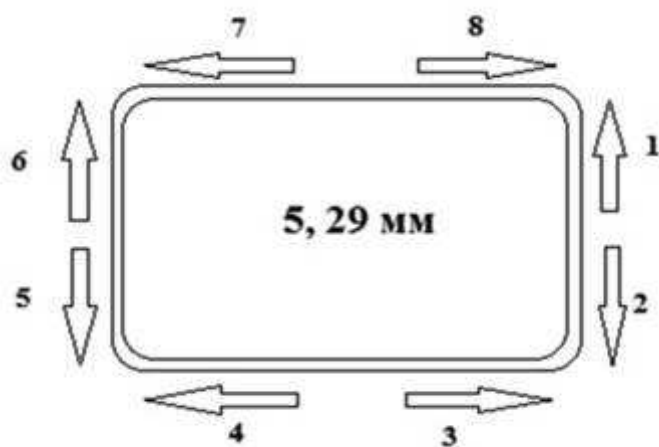


Рисунок 3.60 – Схема порядка наложения швов

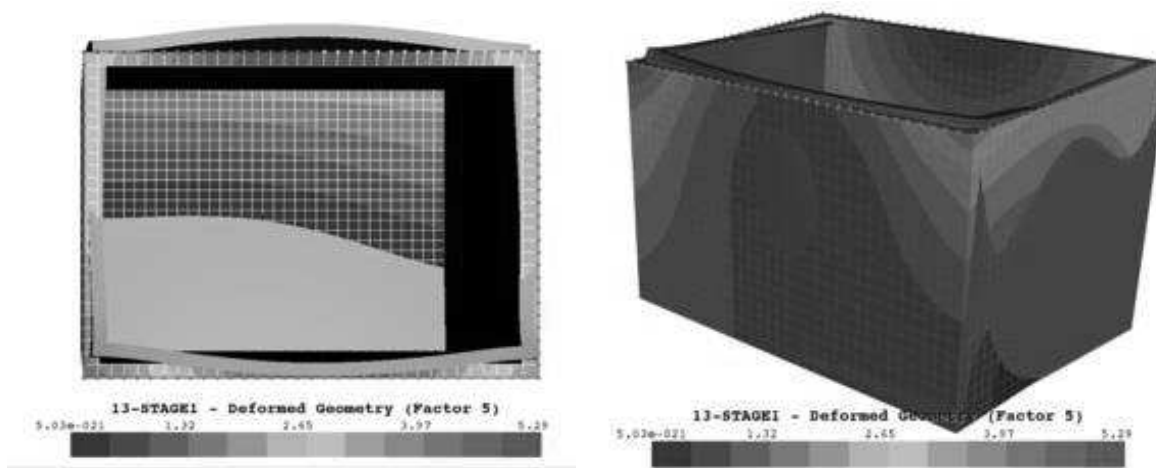


Рисунок 3.61 – Результат моделирования

Значение коробления равно 5,29 при наложении сварных швов «друг от друга», это меньше заводского варианта в 4 раза. Стенки принимают выпукловогнутый вид.

5. Опыт №10 , порядок наложения сварных швов «навстречу друг другу», с наименьшим короблением (рисунок 3.62–3.63).

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

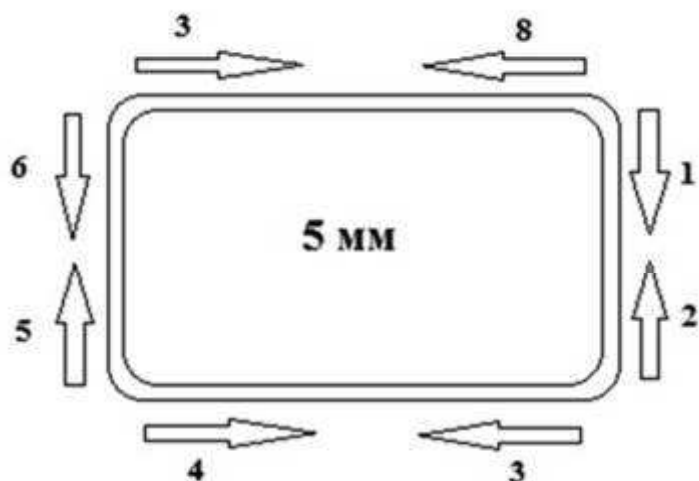


Рисунок 3.62 – Схема порядка наложения швов

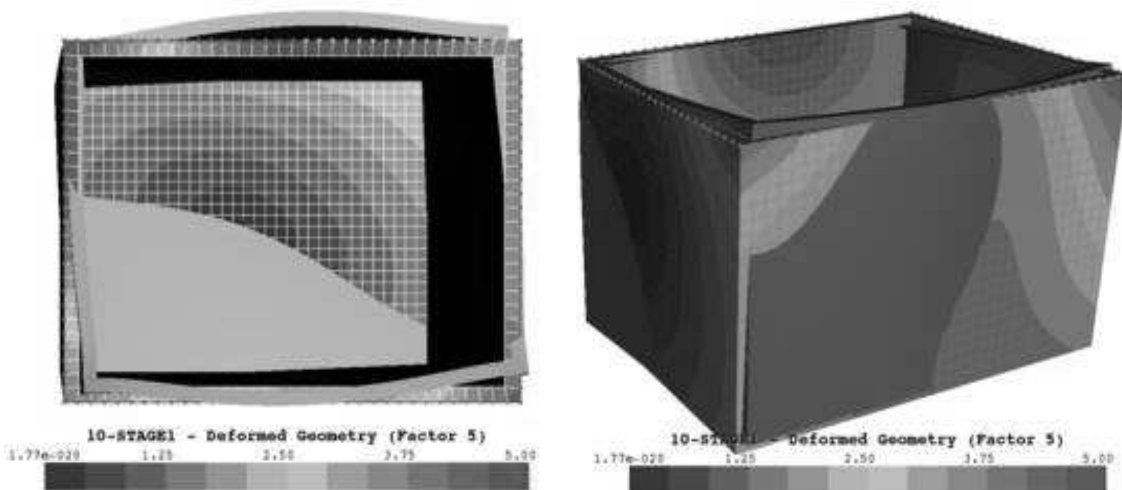


Рисунок 3.63 – Результат моделирования

Значение коробления равно 5,0. Сварка происходит в свободном положении. Стенки приняли выпукло вогнутый вид. На фото видно, что концентрация напряжений расположена сверху стенок с наибольшей длиной.

6. Заводской вариант порядка наложения швов с использованием двух роботов, (рисунок 3.64–3.65).

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

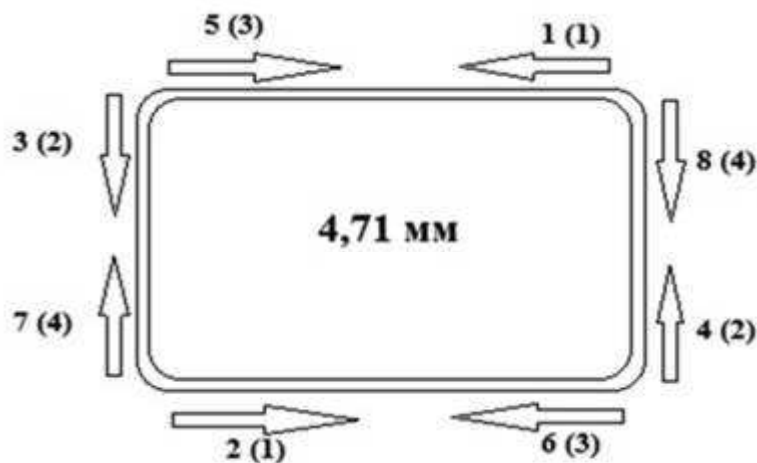


Рисунок 3.64 – Схема порядка наложения

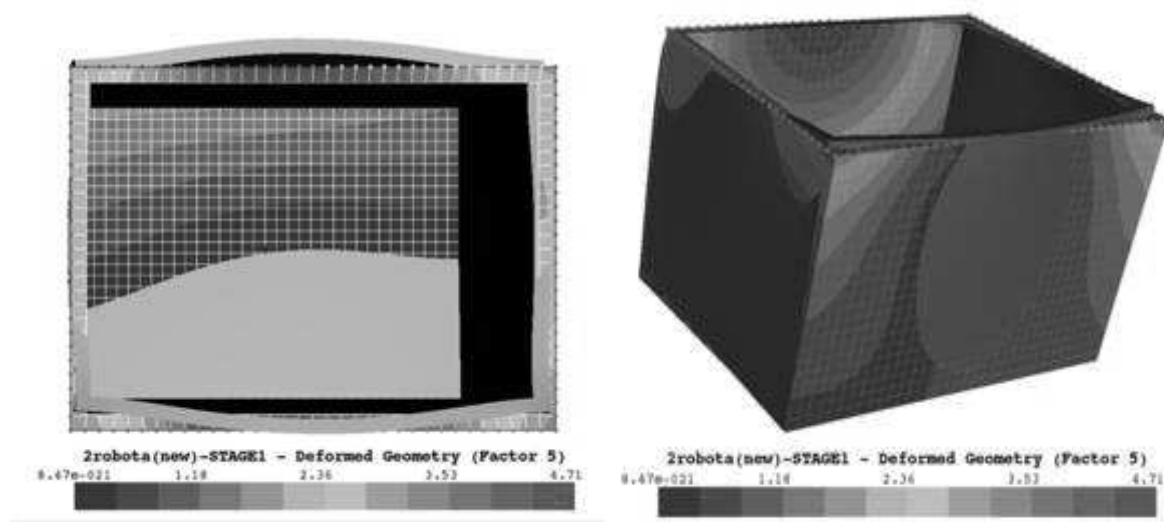


Рисунок 3.65 – Результат моделирования

Значение коробления равно 4,71. Сварка двумя роботами в свободном положении. Стенки приняли выпукло-вогнутый вид. Снижение коробления незначительное, при сравнении сварки с одним роботом, с порядком наложения швов опыт №10.

7. Опыт №10 с фиксацией длинных стенок по всем осям (рисунок 3.66).

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

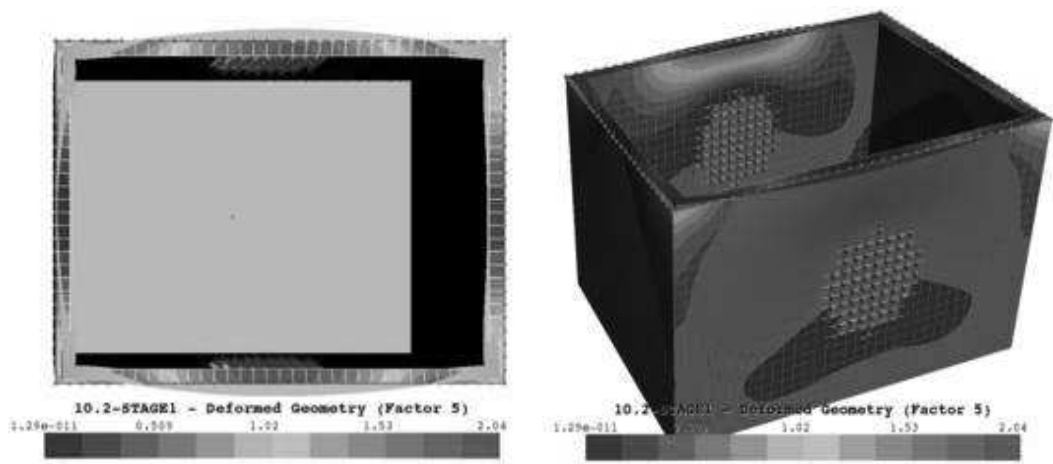


Рисунок 3.66 – Результат моделирования

Значение коробления равно 2,04. Наблюдается существенное снижение коробления, но оно выше допустимого. Требуется использовать жесткое закрепление всей конструкции, всех стенок.

8. Опыт №10 с использованием жесткого закрепления конструкции (рисунок 3.67).

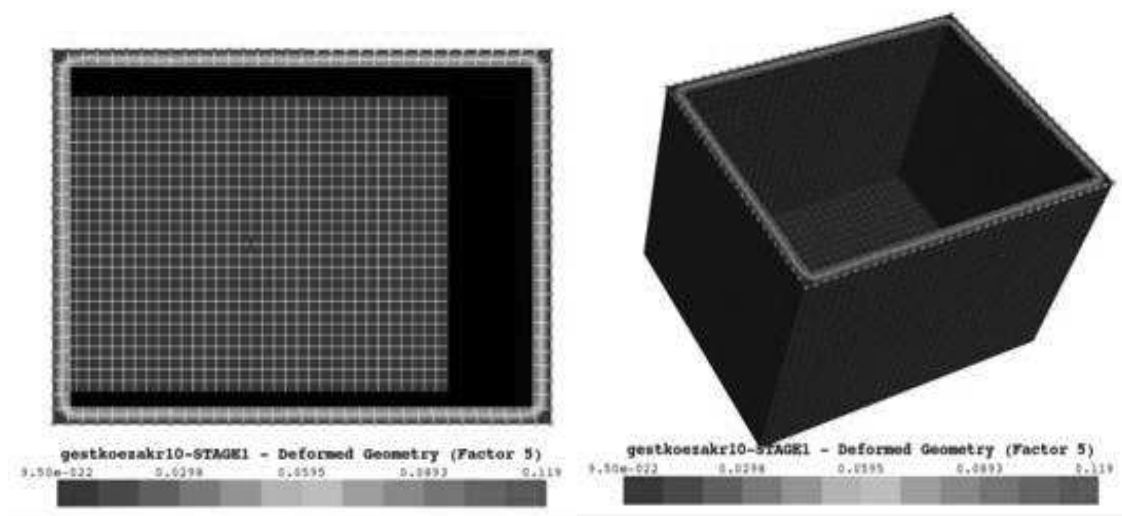


Рисунок 3.67 – Результат моделирования.

Значение коробления равно 0,12. Этот опыт доказывает, что конструкции необходимо жесткое закрепление по всем стенкам. При таком способе выполняется требование по плоскостности изделия.

В случае появления дефекта требуется провести термическую правку. Термическая правка основана на создании путем нагрева усадки металла в тех зонах, сокращение которых приводит к устранению остаточных деформаций конструкции.

Нагрев ведется с выпуклой стороны пятнами или полосами, начиная от основания выгиба, и последовательно перенося полосы к его вершине. Число нагреваемых полос назначают поэтапно с замерами на каждом этапе остаточной величины деформации после полного остывания металла и снятия нагрузки[19].

3.8 Выводы по разделу

Выводы по проделанному эксперименту:

1. При сварке в свободном состоянии максимальные напряжения находятся в верхней части крышки и в продольной стенке.
2. Минимальные размеры коробления в свободном положении показали варианты сварки стенки от центра и к центру, они равны 5,29 мм и 5 мм соответственно. Заводской вариант показал в 4 раза больше коробление равное 19 мм.
3. Сварка одновременно двумя роботами по заводскому варианту наложения сварных швов к центру и по диагоналям дает минимальный вариант при сварке в свободном положении, коробление равно 4,71 мм.
4. Жесткость крышки недостаточна для сдерживания и перераспределения напряжений. Поэтому необходимо ее закрепить. После закрепления, коробление снизилось в 2 раза, и стало равным 2,65мм. При закреплении стенок напряжение снизилось еще в 2 раза, значение коробления 1,13 мм.
5. При закреплении и крышки, и корпуса разницы в порядке наложения швов не имеется.
6. При сварке 2 роботами с закреплением стенок и крышки результат не изменился. Он равен 1,13.

Рекомендации по уменьшению коробления:

- Использовать жесткое закрепление для фиксации корпуса и крышки.
- Применить схему с определенной последовательностью наложения швов, в данной работе эта схема №10, которая дала наименьшее значение коробления.

					15.04.01.2018.213.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

- Применить термическую правку после сварки, в случае появления дефектов, нагревать с выпуклой стороны полосами, параллельными одна другой и направленными вдоль большего основания выпуклости.
- Снизить погонную энергию на 10 – 15 %.

					15.04.01.2018.213.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения дипломной работы был проведен эксперимент, по поиску порядка наложения сварных швов, в программе Weld Planner, для решения задачи по обеспечению требования по плоскостности для алюминиевого корпуса коробчатого типа.

Смоделирован процесс сварки корпуса в Weld Planner с различными последовательностями наложения сварных швов, режимами.

После выполнения эксперимента были сформулированы выводы о результатах проделанной работы и составлены рекомендаций по уменьшению коробления корпуса при сварке, такие как, использование жесткого закрепления для фиксации корпуса и крышки с применением схемы с определенной последовательностью наложения швов, применение термической правки после сварки и снижения погонной энергии.

					15.04.01.2018.213.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		62

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Распределение остаточных напряжений стыковых соединений полученных стационарным и импульсным режимами сварки. Дмитриев В.В., Голиков Н.И., Сараев Ю.Н. В сборнике: Труды VI Евразийского симпозиума по проблемам прочности материалов и машин для регионов холодного климата EURASTRENCOLD-2013 2013. С. 92-94.
2. Создание модели и расчет режимов для устройства импульсно-дуговой сварки. Крампит М.А., Зернин Е.А. В сборнике: Металлургия: технологии, управление, инновации, качество труда XVIII Всероссийской научно-практической конференции. под ред. Е.В. Протопопова. 2014. С. 326-332.
3. Теплофизические особенности импульсно-дуговой сварки неплавящимся электродом в защитных газах (обзор). Сливинский А.А., Жданов Л.А., Коротенко В.В. Автоматическая сварка. 2015. № 11. С. 32-38.
4. Сварка в среде защитных газов плавящимся и неплавящимся электродом / В.Я. Кононенко. - Киев, ТОВ «Ника-Принт», 2007. – 266 с.
5. Мероприятия по уменьшению деформаций при сварке. – <http://www.drevniymir.ru/zan075.html/>
6. Сравнительный анализ свойств сварных соединений алюминиево - магниевых сплавов, выполненных неплавящимся и плавящимся электродом / Зыков С.А., Павлова В.И., Осокин Е.П. Новости материаловедения. Наука и техника. 2014. № 5. С. 2.
7. Визуальный контроль сварных швов. – <http://elsvarkin.ru/tehnologiya/tehnologiya-vizualno-izmeritelnyx-metodov-ispytaniya-svarnyx-shvov/>
8. Инструменты для контроля прямолинейности и плоскостности. – <http://pereosnastka.ru/articles/instrumenty-dlya-kontrolya-pryamolineinosti-i-ploskostnosti>
9. Особенности сварки алюминия (обзор) / Ольшанская Т.В., Некрасова С.Ю.

					15.04.01.2018.213.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

10. Особенности технологии и работы сварочного оборудования при сварке алюминия / Фролов В.А., Загунов А.В. - Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2010. № 5. С. 89а-93.

11. Импульсно-дуговая сварка алюминиевых сплавов в аргоне/ Лапчинский В.Ф., Потапьевский А.Г. Стебловский Б.А. Вайнерман А.Е. «Автоматическая сварка» №7, 1966. 50-53 с.

12. Особенности сварки изделий атомной техники из алюминиевых сплавов/ Табакин Е.М., Мирошниченко Г.В., Каплин А.В., Андреев С.А. В сборнике: Теплофизические и технологические аспекты повышения эффективности машиностроительного производства Труды IV международной научно-технической конференции (Резниковские чтения). Редакционная коллегия: А.В. Гордеев, В.И. Малышев, Л.А. Резников, А.С. Селиванов. 2015. С. 146-153.

13. Теория сварочных напряжений и деформаций / К.М. Гатовский. - Ленинград: ЛКИ, 1980. – 331 с.

14. Импульсные технологические процессы сварки и наплавки / Ю.Н. Сарав. – Новосибирск: ВО «Наука». Сибирская издательская фирма, 1994. – 108 с.

15. Сварочные деформации и напряжения / Г.Б. Талыпов. – Л.: Машиностроение, 1973. – 280 с.

16. Сварочные деформации и напряжения / В.А. Винокуров.–М.: Машиностроение, 1968. – 236 с.

17. Сварные конструкции. Прочность сварных соединений и деформации конструкций / Г.А. Николаев, С.А. Куркин, В.А. Винокуров.– М.: Высшая школа, 1982. – 272с.

18. Pat. 6026687 USA, IC G 01 H 9/00. Stress testing and relieving method and apparatus. / Brent Felix Juri. – Publ. 22.02.2000.

19. Pat. 5242512 USA, IC C 21 D 11/00. Method and apparatus for relieving residual stresses. / W. H. Bagley, J.R. Rosbe, D.G. Wilson. – Publ. 07.09.93.

20. Прогнозирование параметров режима при импульсно-дуговой сварке алюминиевых сплавов. Зайцев О.И. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Тула, 2003

					15.04.01.2018.213.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

21. Правка деформаций в сварных конструкциях. – <http://studopedia.ru/1-95257.html>

					15.04.01.2018.213.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65