

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное Государственное образовательное бюджетное
Учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный
технический университет»

На правах рукописи

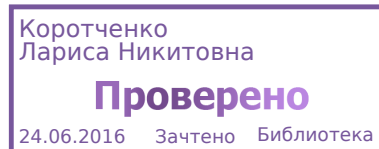
Бажин Владислав Игоревич

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ
ПРИ СВАРКЕ СУДОСТРОИТЕЛЬНЫХ
ГАБАРИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Кафедра «Машиностроение и металлургия»

Направление 15.04.01 – «Машиностроение»

АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ
на соискание академической степени магистра



2016

Работа выполнена на кафедре «Машиностроение и металлургия»

Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета.

Научный руководитель: Бахматов Павел Вячеславович

кандидат технических наук, доцент

Рецензент: Физулаков Роман Анатольевич

кандидат технических наук, доцент,

Начальник научно – производственной лаборатории

конструкционных материалов, научно производственного отдела

ПАО «Компания «Сухой» «Комсомольский-на-Амуре Авиацион-
ный завод имени Ю.А. Гагарина » г. Комсомольск-на-Амуре

Защита состоится «24» июня 2016г. в 9 часов на заседании государственной аттестационной комиссии в Комсомольском-на-Амуре государственном техническом университете по адресу: 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, КнАГТУ, ауд. 221-2.

С диссертацией можно ознакомиться на кафедре «Машиностроение и металлургия» КнАГТУ.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Во всем объеме технологических операций корпусостроения сварка занимает до 80% и является ответственным процессом обуславливающим качество и надежность судна, а так же его эстетичность - параметры конкурентоспособности судостроительного предприятия.

Сварка существенно сокращает время и упрощает процессы сборки судна, по отношению другим способами создания соединений (клепка, резьба, склеивание и т.п.), но не лишена недостатков, главным из которых является возникновение напряженного состояния в сварном соединении, приводящим к образованию деформаций.

На стадии стапельной сборки деформации собираемых секций существенно усложняет этот процесс ввиду необходимости подгонки, рихтовки, правки, нагрева и т.п., поэтому практически каждая секция подвергается исправлению механическими (виброудар, правка молотками) и термическими (малый нагрев) воздействиями, что не устраняет напряжения в сварных соединениях.

Идет борьба со следствием, а не с причиной, поэтому изыскание способа обеспечения геометрической точности и снижения остаточных напряжений сварных соединений является актуальной задачей.

Целью диссертационной работы является: обеспечение точности габаритов сварных конструкций и устранения структурных неоднородностей сварных соединений путем сопутствующей термообработки в условиях формообразования корня шва и программируемых параметров фазовых превращений при его кристаллизации.

Научную новизну работы составляют: обобщенный анализ дилатограмм и построение изотерм основного и присадочного материала, для установления механизма образования остаточных напряжений при сварке основных соединений;

Установленная закономерность изменения структуры и свойств сварных соединений при использовании подогрева и контролируемого охлаждения.

Обоснованность и достоверность полученных результатов и выводов основывается на использовании поверенного комплекса контрольно-измерительного оборудования для проведения экспериментальных исследований, использованием нормированных методик определения физико-механических свойств и макро, микроструктурных параметров, а также соответствием полученных результатов экспериментальных данных фундаментальным положениям механики деформируемого твердого тела и теплофизики.

Практическая ценность: предложена технология, включающая способ сварки и термообработки, позволяющая снизить остаточные напряжения, улучшить структуру сварных соединений (физико-механических свойств соединений); выявлена возможность увеличения скорости сварки, снижения мощности сварки, сварки без разделки кромок стыковых соединений большей толщины.

Апробация работы.

Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на научной студенческой конференции «Студенческая весна» (Комсомольск-на-Амуре, 2014 г.); Дальневосточной школе-семинаре «Фундаментальная механика в качестве основы совершенствования промышленных технологий, технических устройств и конструкций» 30 сентября – 3 октября 2014 г. ; Всероссийской научно-практической конференции, 14-16 октября 2014 г. Международной науч.-техн. конференции «Проблемы и достижения в инновационных материалах и технологиях машиностроения» Комсомольск-на-Амуре, 12-16 мая 2015 г.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных выводов, списка литературы (28 наименований) и 3 приложе-

ний. Общий объем работы – 83 страницы, в том числе 45 рисунков и 19 таблиц, включенных в текст.

Личный вклад автора: автор провел экспериментальные исследования; разработал методики и устройства для проведения экспериментальных исследований, обработал полученные результаты, а также сформулировал выводы.

Основные положения, выносимые на защиту:

- обобщенный анализ дилатограмм и изотерм, позволяющий отслеживать напряженное состояние и прогнозировать деформации;
- закономерности изменения структуры и свойств сварного соединения в зависимости от температуры предварительного нагрева и скорости охлаждения;
- технология автоматизированного сопутствующего подогрева и контролируемого охлаждения, позволяющая получить более качественное сварное соединение и устраняющая причины деформаций;

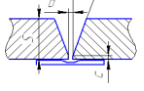
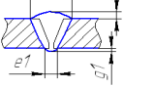
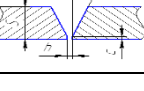
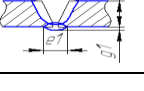
ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель, задачи, предмет и объект исследования, раскрыты научная новизна и практическая значимость, апробация результатов.

В **первой главе** произведен анализ существующей ситуации в образовании напряженного состояния в сварных соединениях.

На практике детали толщиной 12 мм свариваются односторонней однопроходной автоматической сваркой на весу по соединениям С18 или С21 по ГОСТ 8713-79. Расчетные площади основного и наплавленного металла в составе шва для этих соединений приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Площадь основного металла в составе шва и наплавленного металла.

Условное обозначение	Конструктивные элементы		Геометрический параметр шва, мм				Площадь мм ² (%)		
	Подготовка кромок	Сварной шов	S	e	g	c	Общая площадь	Основной металл в составе шва	Наплавленный металл
C18			8	18	1,5	2	63,5	7,9 (12,4)	55,6 (87,6)
			12	22	2	3	128,5	21,2 (16,5)	107,3 (83,5)
			30	30	2	5	430,2	26,3 (6,1)	403,9 (93,9)
C21			8	17	1,5	2	78,4	7,7 (9,8)	70,7 (90,2)
			12	20	2	2	134,2	17,1 (12,7)	117,1 (87,3)
			30	37	2,5	4	542,2	35,6 (6,6)	506,6 (93,4)

Объемы присадочного металла и основного металла в шве сварных соединений С18 и С21 по ГОСТ 8713-79 в зависимости от толщины свариваемых изделий представлены на рисунке 1, из которого видно, что количество основного металла не превышает 17 %.

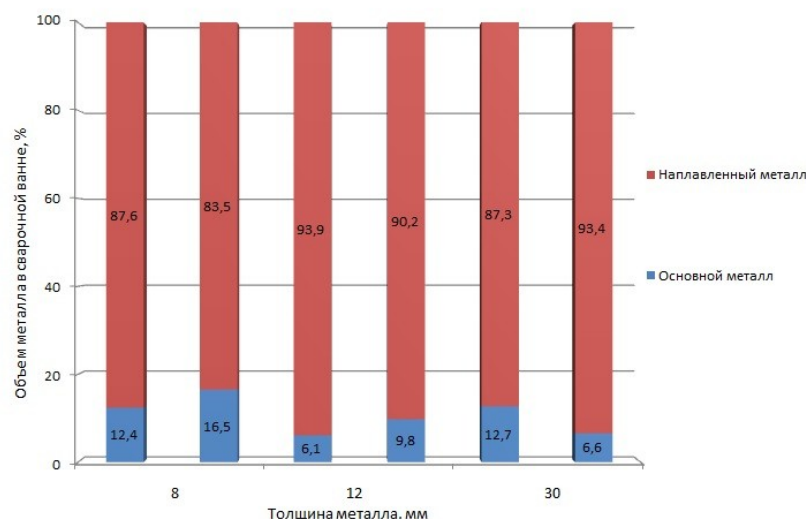


Рисунок 1 – Количество основного и присадочного металла в объеме сварочного шва

На рисунке 2 показан характер изменения объема основного металла в шве в зависимости от толщины свариваемого металла.

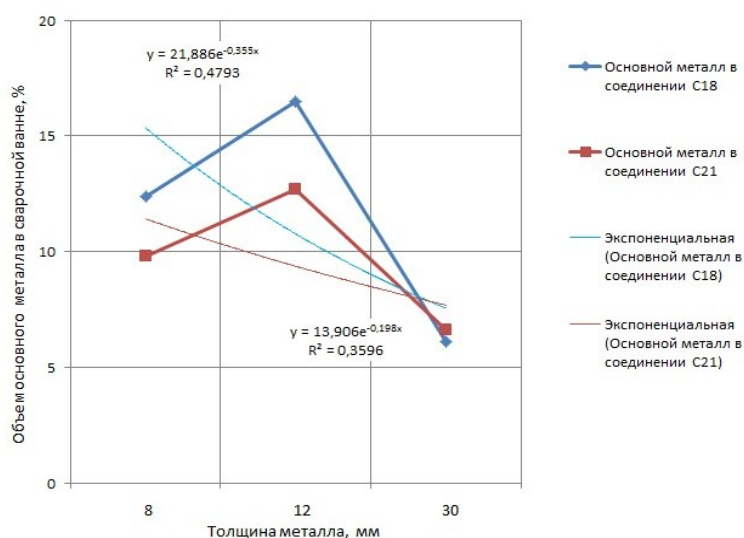


Рисунок 2 – Характер изменения объема основного металла в сварном шве

Как видно из рисунка 2, количество основного металла в сварном соединении C18 и C21 по ГОСТ 8713-79 во многом зависит от толщины свариваемых изделий и имеет максимум содержания основного металла в шве при толщине 12 мм, а при увеличении толщины до 30 мм его значение уменьшается вдвое и составляет не более 7 %.

С увеличением толщины свариваемого металла увеличивается общая площадь наплавленного металла, а из рисунка 2 видно, что чем больше тол-

щина металла, тем меньше основного металла в сварном соединении, поэтому свойства сварного соединения определяются свойствами наплавленного металла, а не свойствами основного металла. Производство сварочных материалов и основного металла обычно организовано на разных предприятиях. Основными приоритетами выбора сварочных материалов является соответствие механических свойств основного металла и металла шва.

В реальных условиях производства добиться идентичного процентного соотношения химических элементов в различных плавках стали неосуществимо, поэтому ГОСТами на сталь установлен диапазон значений содержания легирующих элементов, каждый из которых по-разному влияет на теплофизические свойства материала. Так в одной партии стального листа могут оказаться листы разных плавов, из которых впоследствии будет изготавливаться конструкция. Разность в теплофизических свойствах (температур начала и конца фазовых превращений) будет определять объем металла, претерпевающего превращения, тем самым степень остаточных напряжений и деформации. Этот процесс наглядно демонстрирует совокупный анализ дилатограмм (основного металла – рисунок 3 и наплавленного металла рисунки 4, 5) с изотермами (рисунок 6).

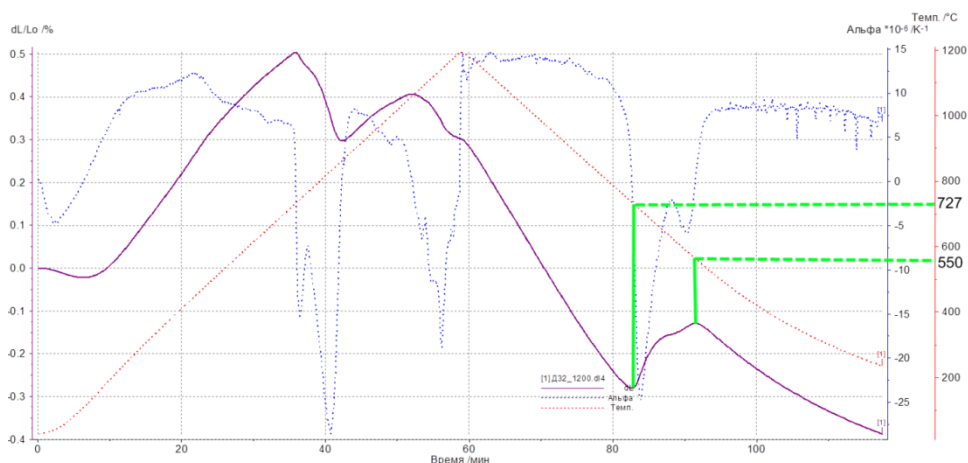


Рисунок 3 – Дилатограмма основного металла

Также представлены дилатограммы присадочных материалов, которыми производилась сварка образцов, проволоки Св-10ГНА (рисунок 4) и проволоки Св-08ГСНТ (рисунок 5).

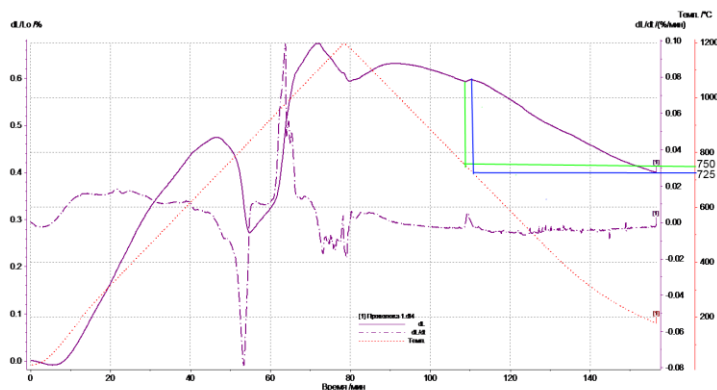


Рисунок 4 – Дилатограмма присадочного материала Св - 10ГНА

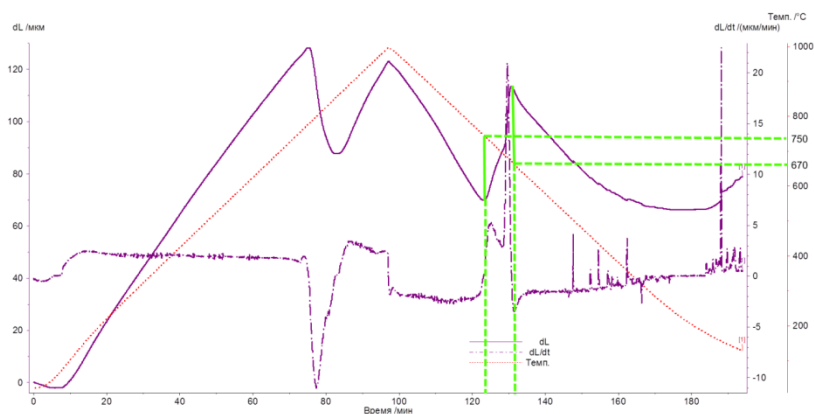


Рисунок 5 – Дилатограмма присадочного материала Св-08ГСНТ

При нагреве и охлаждении наплавленный металл проволокой Св-10ГНА и Св-08ГСНТ ведет себя отлично от стали Д36.

Фазовый переход наплавленного металла проволокой Св-10ГНА происходит при температурах 750...–725 °С, проволокой Св-08ГСНТ при температурах 750...670 °С. Тогда как в основном металле эта температура составляет 735...550°С.

По результатам дилатометрических данных построена изотерма (рисунок 6). Основной металл претерпевает фазовые превращения при температурах 735...550 °С. Фазовый переход присадочного металла при температурах 750...670 °С.

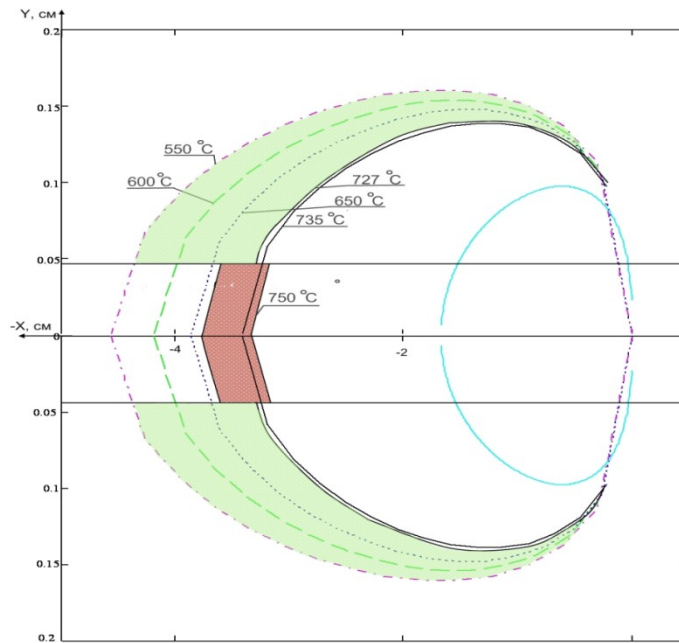


Рисунок 6 – График изотермы

Из-за разницы в объеме металла шва и основного металла, участвующего в полиморфном превращении, возникает вероятность образования структурной неоднородности (особенно в зоне сплавления), приводящая к возникновению значительных сжимающих напряжений. С движением сварочной ванны к указанной площади наплавляемого металла (рисунок 7), претерпевающего полиморфное превращение, прибавляется новая площадь металла шва с фазовым переходом.

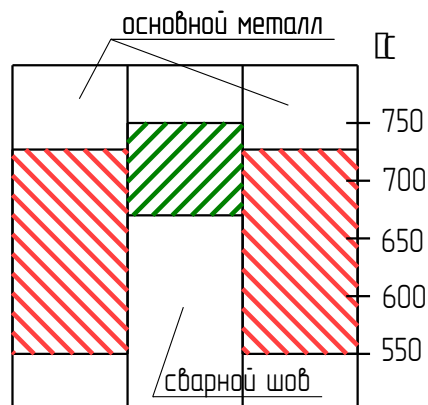


Рисунок 7 – Схема начала и окончания фазовых превращений основного и наплавленного металла в зависимости от температуры

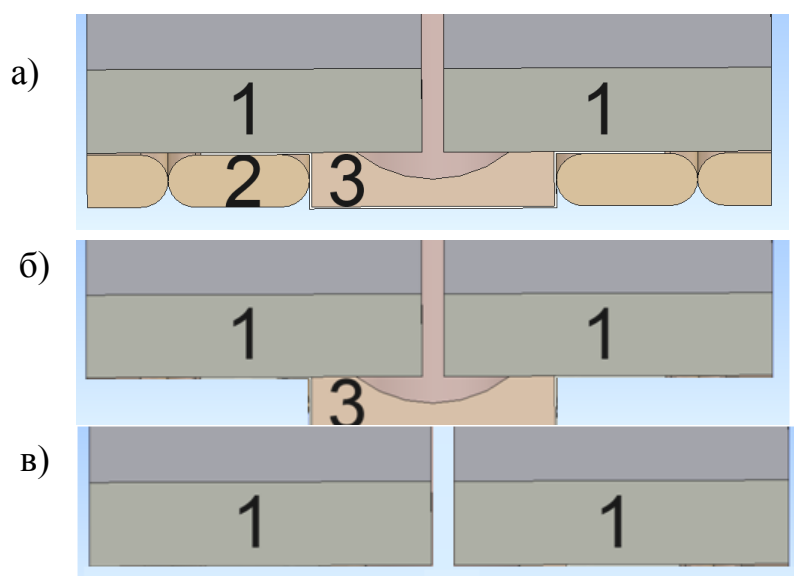
Как видно из рисунка 7, начало и конец фазовых превращений наплавленного металла происходит раньше, чем в основном. Объем основного металла, участвующего в фазовых превращениях в 4 раза больше, чем наплавленного. Наибольшая градиция в условиях протекания полиморфных механизмов наблюдается в зоне сплавления (зона соединения основного и присадочного материалов), что металлографически подтверждается структурной неоднородностью.

Обычно сварка полотнищ плоских секций идет навесу, без использования формирующего устройства, с неудовлетворительным формированием корня шва. Сварка автоматом осуществляется на проход, что влияет на качество сварной конструкции.

Эти и многие другие недостатки ведут к образованию дефектов после сварки, возникают: бухтины, хлопуны, домики, грибовидность, перекося, ромбовидность, выпучивание. Которые устраняют с помощью локального нагрева, но борьба идет только со следствием, а не с причинами. Так как убираются деформации до допустимых отклонений, а напряжения по вине которых образовались деформации – остаются. В связи с этим необходимо искать пути, методы уменьшения сварочных напряжений. Для борьбы со сварочными деформациями применяются конструктивные и технологические способы общая задача которых устранение видимых деформаций, а не снижение остаточных напряжений.

Во второй главе приведена методика экспериментальных исследований.

Для сравнения традиционной (двухсторонней на весу и односторонней односторонней без последующей термообработки) и разработанной (односторонней с программируемой термообработкой формируемого сварного шва) технологии автоматической сварки под слоем флюса и полуавтоматической (п/а) сваркой в среде CO₂ выполнены соединения (рисунок 8) из стали D36 по режимам указанным в таблице 2.



1 – сталь Д36; 2 – подогревающие коврики;
3 – керамические подкладки

Рисунок 8 – Соединение под сварку при подогреве:

а – соединение для односторонней сварки с подогревом; б – соединение для односторонней сварки без подогрева; в – соединение для двухсторонней сварки без подогрева на весу

Образцы 3, 4, 5 имели размер 400х250х6 мм, 1, 2 размер 400х250х12 образец № 6 имел толщину 4 мм,. Соединения собирались на технологических планках с проставлением двух коротких прихваток с обратной стороны шва. Сборка образцов 3 и 5 производилась по узлу С4 ГОСТ 8713-79 на плоских керамических подкладках. При сварке образца 3 использовались подогревательные керамические коврики (рисунок 9). Образцы 4 и 6 изготовлены по узлу С7 ГОСТ 8713-79. Сварка образцов 3, 4, 5, 6 выполнялась проволокой Св-10ГНА под флюсом АН-42 автоматом ESAB A2 multitrack с источником питания LAF 631.

Сборка образцов 1, 2 производилась по узлу С18 ГОСТ 14771-76 (таблица 3) на плоских керамических подкладках. Обратная сторона шва показана на рисунке 10. При сварке образца 1 использовались подогревательные керамические коврики. Образец 2 изготовлен по узлу С21 ГОСТ 14771-76. Сварка образцов выполнялась проволокой Св-08ГСНТ в среде CO_2 .

Таблица 2 – Режимы сварки образцов

№ образца	Вид сварки	Номер прохода	Сварочный ток, А	Напряжение, В	Скорость сварки, см/мин	Температура нагрева, °С	Режимы Источника нагрева, А (В)
Полуавтоматическая сварка							
Разработанная технология							
1	Одностороннее соединение с обратным формированием сварного шва на керамической подкладке (толщина 12 мм)	1	160	23	40	750	34 (54)
		2	200	24	42	750	34(54)
Традиционная технология							
2	Двухсторонний (толщина 12 мм)	1	210-230	23	38	-	-
		2	200-220	23	42	-	-
		3	190-200	22	38	-	-
Автоматическая сварка							
Разработанная технология							
3	С подогревом на подкладке (толщина 6 мм)		240-280	30-31	80-90	780	69 (60)
Традиционная технология							
4	Двухсторонний (толщина 6 мм)		210-230	29-29	90-88	-	-
5	Без подогрева на подкладке (толщина 6 мм)		230-290	30-31	85	-	-
6	Двухсторонний (толщина 4 мм)		190-180	26-28	58	-	-

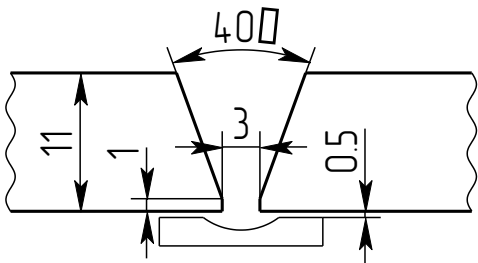
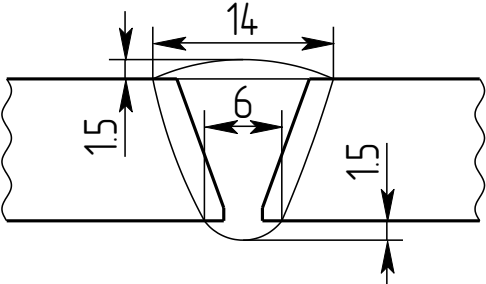
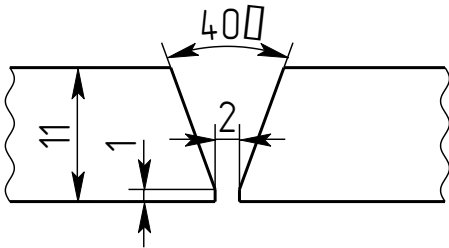
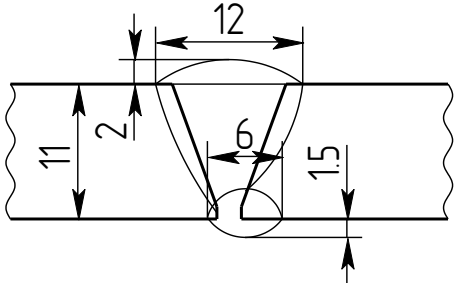


Рисунок 9 –Нагревательный коврик



Рисунок 10 – Сформированный на подкладках шов.

Таблица 3 – Фактические размеры соединений при п/а сварке

Условное обозначение	Конструктивные элементы ГОСТ 14771-79	
	Подготовка Кромки	Сварной шов
C18		
C21		

Для определения механических свойств сварных соединений проведены следующие испытания согласно ГОСТ6996-66:

- а) испытание металла различных участков сварного соединения и наплавленного металла на ударный изгиб (на надрезанных образцах);
- б) измерение твердости металла различных участков сварного соединения и наплавленного металла;
- в) испытание сварного соединения на статическое растяжение;

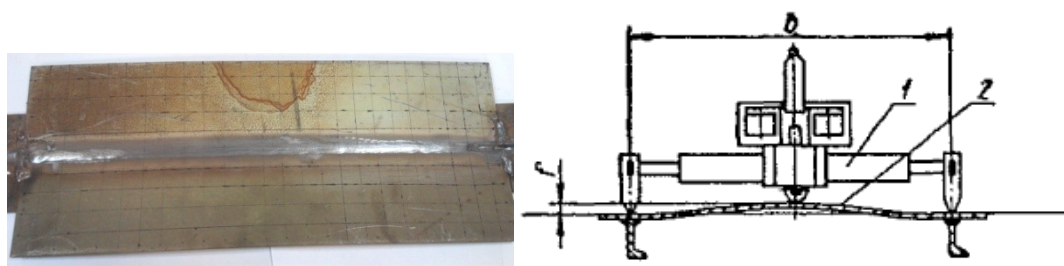
Для проведения механических испытаний из сварных соединений вырезаны образцы для статического растяжения тип XII плоский (поперек шва) и тип II круглый (вдоль шва) по ГОСТ 6996-66, размеры образцов автоматической сварки 18х250х6мм и 15х250х4мм., для п/а сварки размеры 10х250х15 мм.

Испытания на статическое растяжение выполнялись на универсальной электромеханической машине Instron 3382. При испытаниях на ударную вязкость использовался маятниковый копер марки JB-300В.

Испытание металла различных участков сварного соединения и наплавленного металла на ударный изгиб проводился на надрезанных образцах, соответствующих номеру VII по ГОСТ 6996-66. Запас потенциальной энергии маятника – 150Дж.

Для измерения твердости использовался твердомер HR-150А, точки расположены с лицевой и обратной стороны с шагом 1,5 мм и по сечению сварного шва.

Замер деформаций выполнялся только на соединениях, выполненных автоматической сваркой, бухтиномером БМ 3, принимая за базу - точку в углу сварного соединения. Для определения величины деформации на поверхности образцов была нанесена сетка с шагом 20 мм (рисунок 11).



1 – бухтиномер; 2 – реальная поверхность

Рисунок 11 – Общий вид образца и устройства измерения:

а – разметка сварного соединения

б – схема измерения стрелок прогиба бухтиномером

В третьей главе приведены результаты исследования влияния принудительного охлаждения на деформации сварных соединений выполненных полуавтоматической сваркой. Результаты испытаний на растяжение и ударную вязкость приведены в таблицах 4, 5 образцы после испытаний представлены на рисунке 12 и гистограммах 13, 14.

Таблица 4 – Результаты испытаний на ударную вязкость

Номер образца	Работа удара, Дж
1.1	143
1.2	129
1.3	130
1.4	115
2.1	115
2.2	120
2.3	112
2.4	98

Таблица 5– Результаты испытаний на растяжение

№ образца	Предел прочности, МПа	Предел текучести, МПа	Максимум деформации при растяжении, %
1	596.03	478.52	28.02
2	533.36	313.77	28.01
1.5	492.26	354.45	40.7
1.6	489.97	344.81	46.16
2.5	496.74	341.44	29.5
2.6	482.56	306.81	31.92
3	490-620	335	21

Примечание: 1, 2 – номера круглых образцов вдоль сварного соединения, 1.5, 1.6, 2.5, 2.6 – номера прямоугольных поперечных образцов, 3 – данные по ГОСТу 5521-93



Рисунок 12 – Образцы после испытаний на статическое растяжение

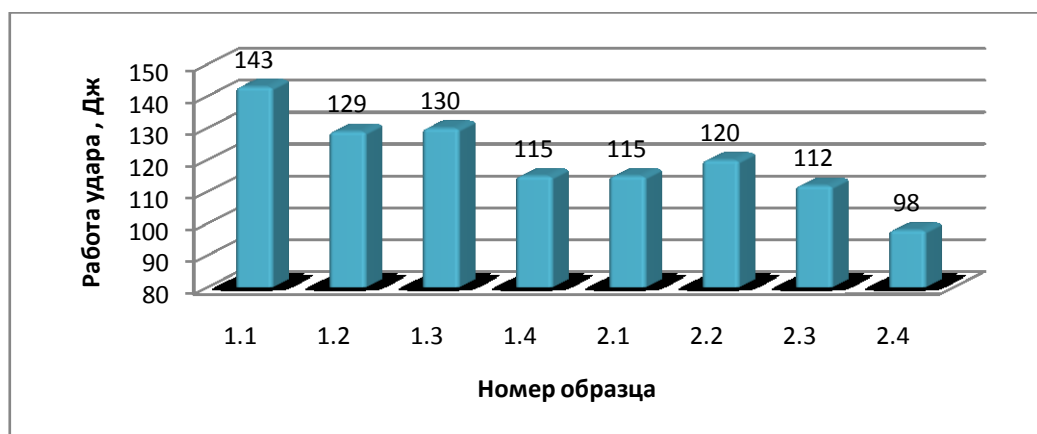


Рисунок 13 – Сравнительная гистограмма результатов работы удара

Образец № 1 имеет наивысший показатель ударной вязкости. Образец 2 показывает результаты удара меньше заявленных значений по ТУ.

Ударная вязкость сварных образцов, полученных по традиционной технологии ниже на 15% образцов, изготовленных по разработанной технологии.

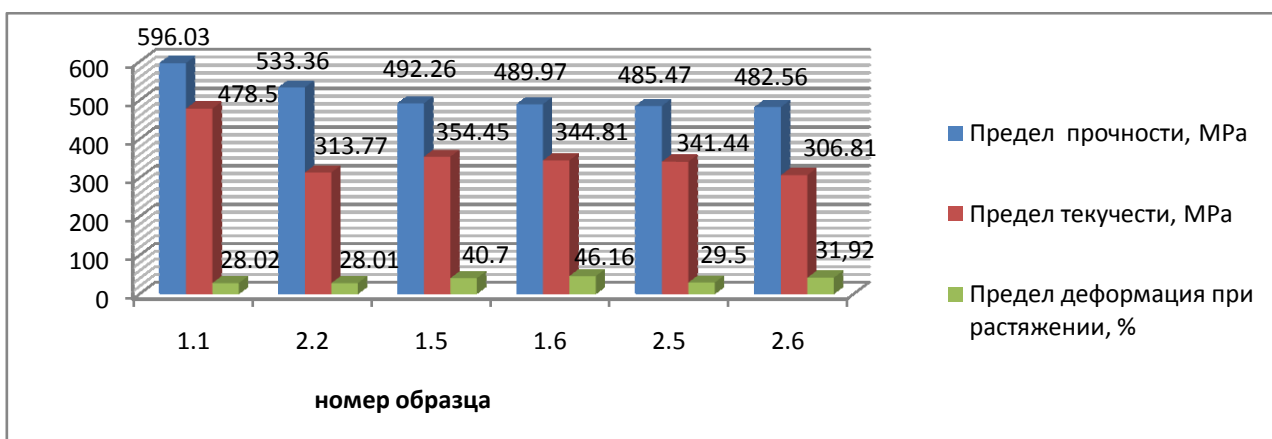


Рисунок 14 – Гистограмма распределения механических свойств

Из таблицы 5 видно, что как для традиционной так и для разработанной технологии значения относительного удлинения превышают значение по ГОСТу. Значения предела прочности и предела текучести входят в диапазон регламентированный ГОСТом.

На рисунке 15 представлен внешний вид изломов образцов после испытания на ударную вязкость.

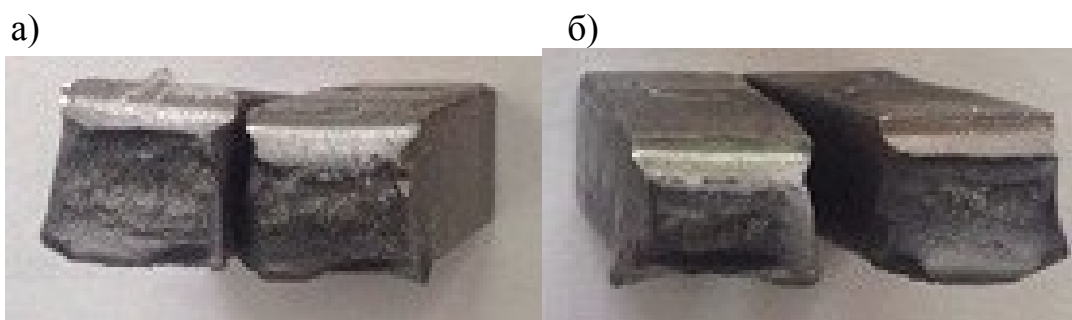


Рисунок 15 – Внешний вид изломов образцов после испытания на ударную вязкость:

а – образец по разработанной технологии;
б – образец по базовой технологии

Как видно из рисунка 15 количество вязкой составляющей в образце, полученном по разработанной технологии составляет 10%, а по традиционной технологии 90%, что свидетельствует о лучшем сопротивлении образованию трещины, наряду с более низким значением ударной вязкости.

По результатам фрактографии установлено, что в изломе образца 2 имеется большее значение вязкой, мелкозернистой фракции. Во всех образцах преобладает вязкое разрушение, характеризующееся ямочным рельефом.

Результаты замеров твердости представлены на рисунке 16.

В образце 1 более плавно распределено возрастание твердости от краёв соединения к центру, а в образце 2 сильный разброс (перепад значений в рядом расположенных точках).

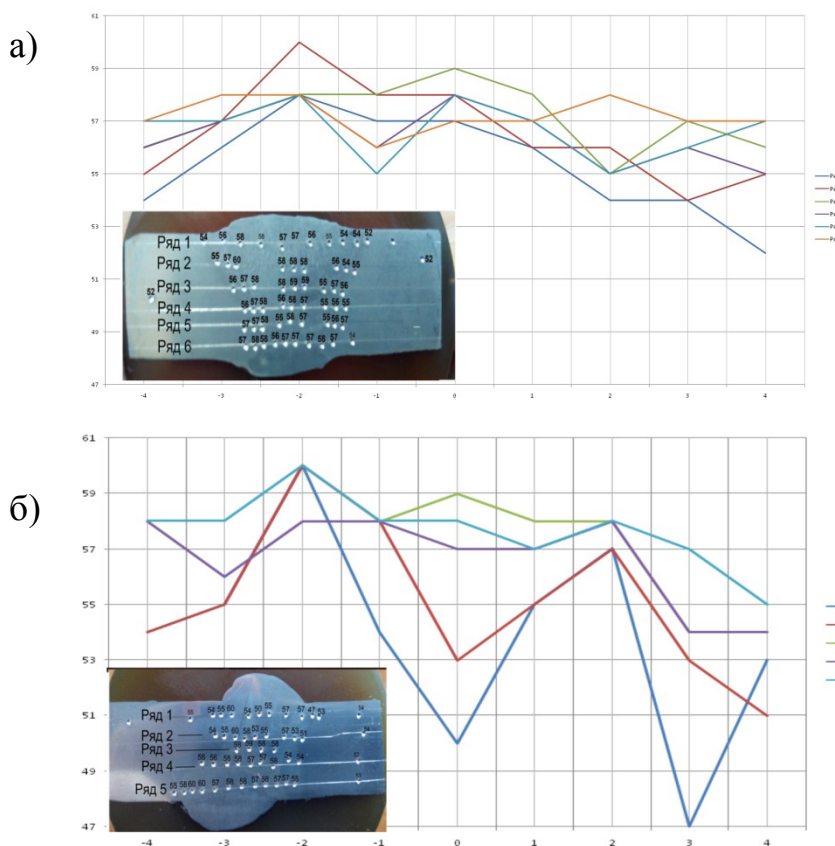


Рисунок 16– Распределение твердости по сечению сварного соединения
а –образец по разработанной технологии;
б – образец классической технологии.

При микроструктурном анализе (рисунок 17) установлено неудовлетворительное качество образца 2: наличие непровара и неудовлетворительное перекрытие валиков, неудовлетворительное формирование усиления и корня шва, видманшетовая структура. Кроме пограничных выделений избыточного феррита имеются игольчатые ориентированные выделения, хорошо видные на фоне темного перлита. В итоге феррит образует 2 структурные состав-

ляющие: непрерывную матрицу вдоль границ зерен перлита (бывшего аустенита) и игольчатые ориентированные включения, расположенные внутри перлитных включений.

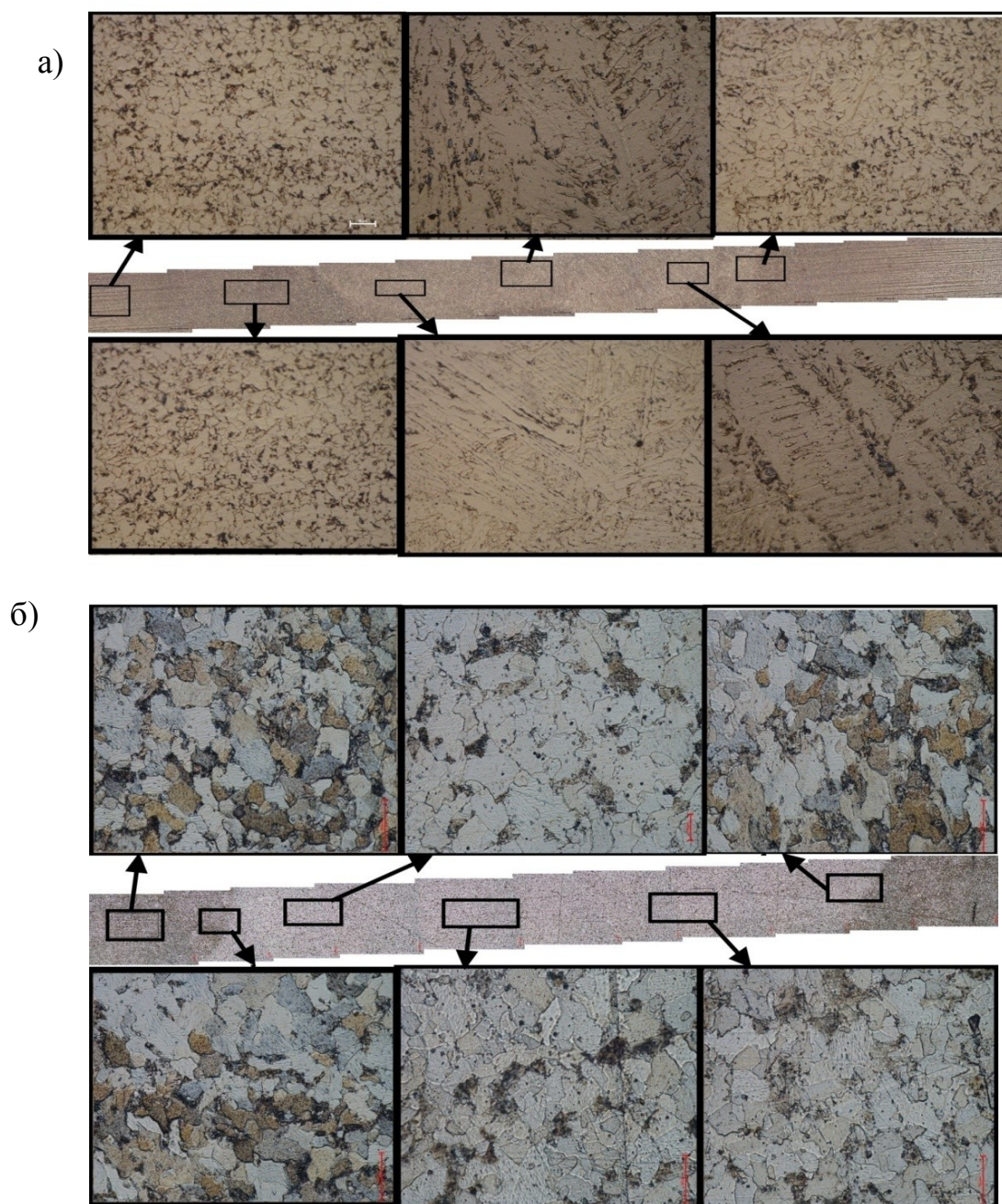


Рисунок 17 – представление результатов микрошлифа

а – классическая технология

б – разработанная технология

При исследовании микрошлифа образца 1, выполненный по разработанной технологии, дефекты не обнаружены, малая протяженность участка рекристаллизации, плавный переход дендридной структуры сварного шва по

линии сплавления, равноосные зерна. Результат собирательной рекристаллизация или нормального роста зерна.

Исследованиями фрактографии сварных образцов установлено, что образец, изготовленный по разработанной технологии имеет наиболее мелкозернистую структуру и вязкое разрушение, чем традиционные, разрушение которых так же вязкое. Исключение составляет образец 2 (разрабатываемая технология), имеющий крупнозернистый излом хрупкого разрушения.

Микроструктурными исследованиями сварных соединений образцов установлено, предварительный и последующий программируемый нагрев до температуры 750 °С и охлаждении, происходит существенное уменьшение зоны рекристаллизации, уравнивается структура в зоне сплавления.

В четвертой главе приведены результаты исследования влияния принудительного охлаждения на деформации сварных соединений, выполненных полуавтоматической сваркой.

Результаты испытаний образцов на ударную вязкость приведены в таблице 6

Таблица 6 – Результаты испытаний на ударную вязкость

Номер образца	Дж/см ²
3	20.64
4	25.45
5	42.6
6	38.4

По результатам можем наблюдать, что образец № 5 имеет наивысший показатель.

Исследование результатов испытаний на растяжение приведены в таблице 7, образцы после испытаний представлены на рисунке 18, гистограмма приведена на рисунке 19.

Таблица 7 – Результаты испытаний на растяжение

№ образца	Диаметр, мм	Предел прочности, МПа	Предел текучести, МПа	Максимум деформации при растяжении, %	Автоматический Модуль Юнга, МПа	Модуль Юнга при растяжении 200 - 500 МПа
3.1	12	612.34	596.24	0.67	477064	409975.8
3.2	12	708.96	653.11	19	318275.9	331579.6
4.1	12	609.69	483.33	30.36	257124.6	276877.6
4.2	12	550.03	455.79	17.78	215122.5	207469.4
5.1	12	626.85	623.75	2.49	359225.3	402368.4
6.1	12	557.85	435.35	26.96	212635	228693.2
6.2	12	587.23	456.62	36.55	155878.8	157193.6

Испытаниями механических свойств сварных соединений установлена сходимость параметров предела прочности и текучести в образцах, полученных как по традиционной технологии, так и разрабатываемой и составляют в среднем соответственно 600 и 550 МПа, что соответствует прочности основного металла.

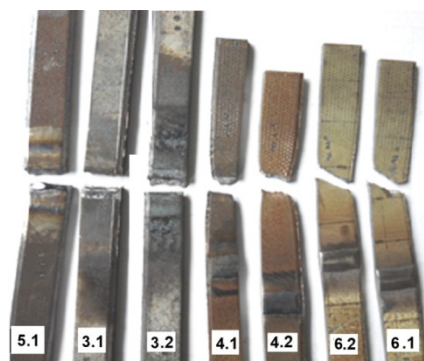


Рисунок 18 – Образцы после испытаний на статическое растяжение

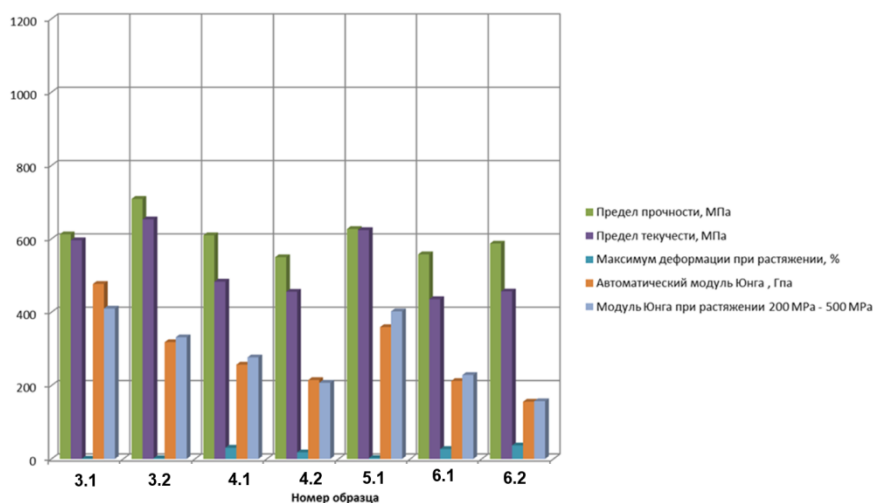


Рисунок 19 – Гистограмма распределения механических свойств

Как видно из рисунка 19 образцы 4.1, 4.2, 6.1, 6.2 разорвались не по сварному шву, в отличие от других. Результаты замеров твердости приведены в таблице 8 и на рисунке 20

Таблица 8 – Результаты замера твердости по поверхности сварного соединения с лицевой и обратной стороны шва

В HRA

Расстояние от центра шва, мм	Номер образца и сторона замера							
	3		4		5		6	
	Корень	Облицовка	Корень	Облицовка	Корень	Облицовка	Корень	Облицовка
+4	60	58	62	60	61	60	60	60
+3	59	56.6	68.9	65	62	60	60	64.5
+2	53	51	63	60	58	61	62	63
+1	58	54	60	58	60	61.5	59	61
0	59	56	58	61	68	61.5	62	60
-1	57	57	61	60	63	60	60	59
-2	61	59	62	60	61	60	59	60
-3	58	60	60	59	58	61	58	59.5
-4	59	59	60	60	62	60	60	61

По результатам замеров можем наблюдать, что у образца 3 твердость меньше, чем у остальных. В среднем, распределение твердости для всех сварных соединений как со стороны корня шва, так и со стороны облицовки равномерное, разброс составляет 5-10 единиц HRA.

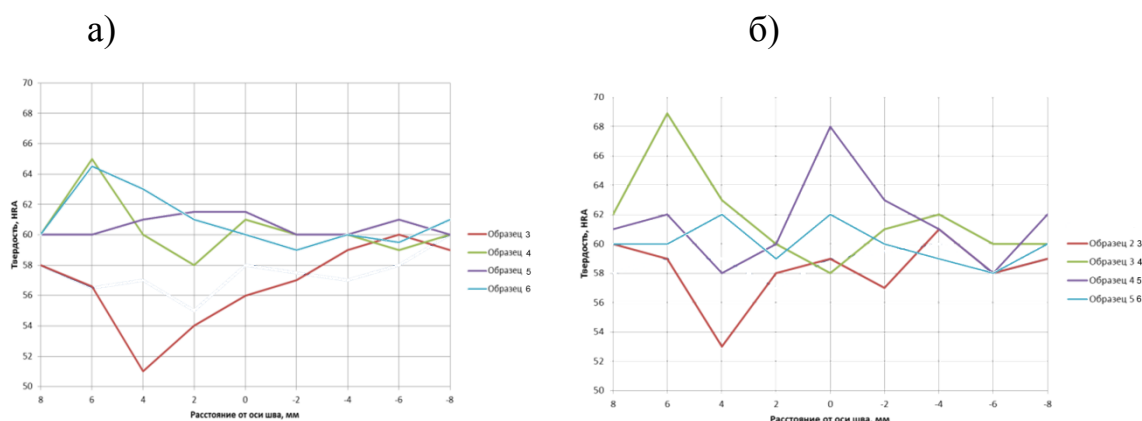


Рисунок 20– Распределение твердости по поверхности сварного соединения
а –с лицевой стороны; б – с обратной стороны

Измерение твердости по сечению шва. Данные замеров приведены в таблице 9 и на рисунке 21.

Таблица 9 – Результаты замеры твердости по сечению шва

В HRA

Место замера	Номер образца		
	3	4	5
+ 5 мм	56	61	59
+ 4 мм	54	60	59
+ 3 мм	58	59	60
+ 2 мм	58	60	59
+1 мм	55	55	61
Центр шва	54	57	53
-1 мм	56.5	57	60
-2 мм	58	59	61
-3 мм	60	60	55
-4 мм	59	59	57
-5 мм	59	61	60

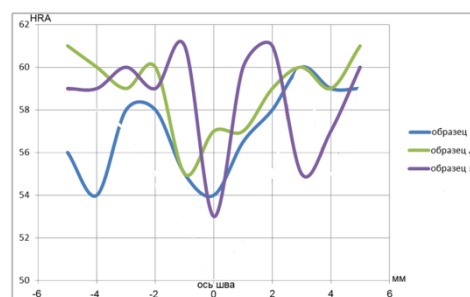


Рисунок 21 – Результаты измерения твердости по сечению сварных соединений

Распределение твердости как по сечению всех сварных образцов, так и по поверхности с лицевой и обратной стороны шва имеет достаточно равномерный характер и колеблется в пределах 10 единиц HRA, что косвенно характеризует стабильность механических свойств сварного соединения.

При микроструктурном анализе (рисунок 22) установлено неудовлетворительное качество сварных соединений всех образцов: наличие непровара и неудовлетворительное перекрытие валиков в двухсторонних швах, неудовлетворительное формирование усиления и корня шва в односторонних односторонних швах с подогревом. Исключение составляет образец 5 (сварка на керамических подкладках без подогрева) – дефекты не обнаружены.

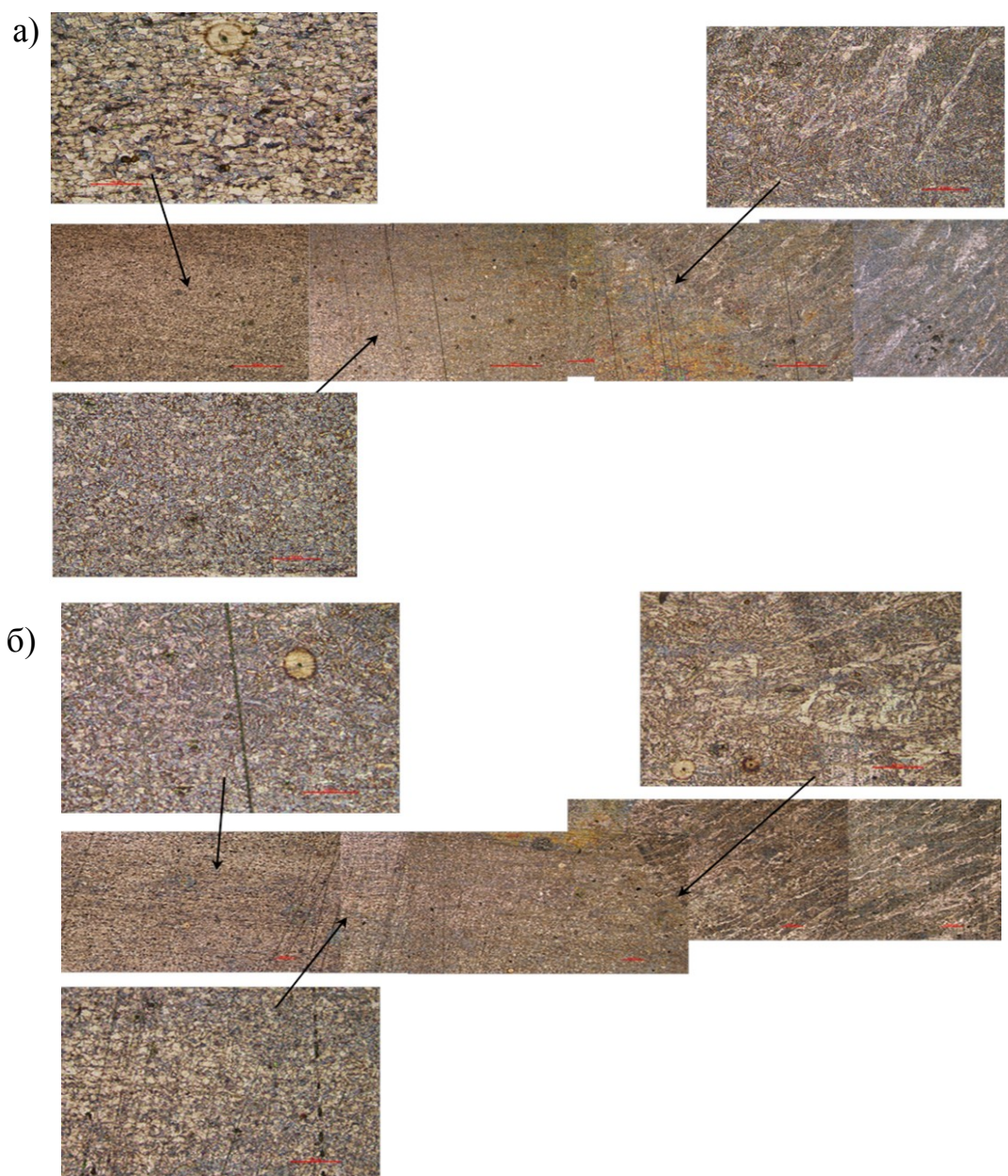


Рисунок 22 – Микроструктура образцов
а – традиционной технологии; б – разработанной технологии

При исследовании образца 3 обнаружена малая протяженность участка рекристаллизации, плавный переход дендридной структуры сварного шва по линии сплавления. Микроструктурными исследованиями сварных соединений установлено, что предварительный и последующий программируемый нагрев до температуры 500 °С и охлаждении со скоростью 100 °С/ч происходит уменьшение зоны рекристаллизации, уравнивается структура в зоне сплавления, в то время как увеличение температуры подогрева до 780 °С (температуры на 50 °С превышающей температуру полиморфного префращения) и последующее программируемое охлаждение со скоростью 100 °С/ч, увеличивает зернистость зоны сплавления и основного шва, а также размер зоны рекристаллизации.

В пятой главе приведено устройство для предварительной термической обработки заготовок и окончательной термической обработки сварного шва (рисунок 23, 24), которое содержит: сварочный трансформатор (Тр), электронный коммутатор (ЭК), байпасный коммутатор (БК), коммутатор тока керамического нагревателя (К), программный регулятор (Р), пульт управления (ПУ), керамический нагреватель (КН), термоэлектрический преобразователь (ТП). Конструктивно БК и ЭК размещаются в непосредственной близости от сварочного трансформатора. Керамический нагреватель размещается непосредственно на сварочных заготовках. Термоэлектрический преобразователь закрепляется на сварочных заготовках в непосредственной близости от сварного шва.

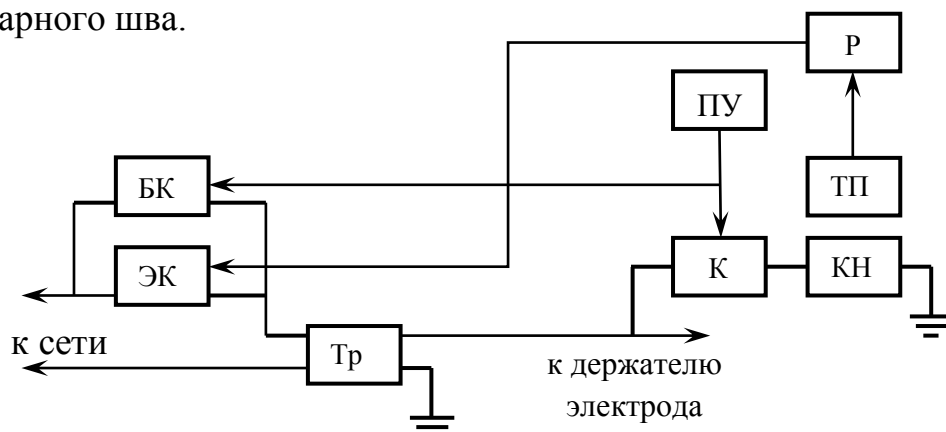


Рисунок 23 – Устройство для предварительной термической обработки заготовок и окончательной термической обработки сварного шва

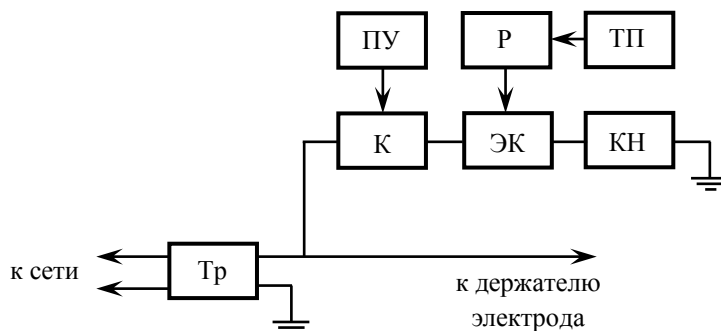


Рисунок 24 – Устройство для предварительной термической обработки заготовок и окончательной термической обработки сварного шва (вариант 2)

Пульт управления, коммутатор К и регулятор Р размещаются в отдельном корпусе вблизи сварочного поста.

Технологический процесс сварки осуществляется следующим образом. После включения оборудования органы управления ПУ переводятся в положение «ТО» (термическая обработка). ПУ отключает байпасный коммутатор БК и подключает керамические нагреватели КН через коммутатор К. Регулятор Р управляет работой коммутатора ЭК по алгоритму ПИД регулирования, обеспечивая нагрев заготовок до требуемой температуры по требуемому алгоритму. Информация о температуре заготовок поступает на регулятор от термоэлектрического преобразователя ТП. После подогрева заготовок до требуемой температуры программа регулятора Р останавливается, органы управления ПУ переводятся в режим «С» (сварка). ПУ отключает коммутатор К и включает байпасный коммутатор БК. В этом режиме производится сварка. По окончании сварки органы управления ПУ переводятся в режим «ТО», а регулятор Р переводится в работу по программе 2 – термическая обработка сварного шва. После чего коммутатор БК отключается, а коммутатор К включается. Регулятор Р осуществляет управление нагревом керамического подогревателя через регулятор ЭК и контролирует температуру металла с помощью термоэлектрического преобразователя.

Принципиальная электрическая схема установки представлена на рисунке 25.

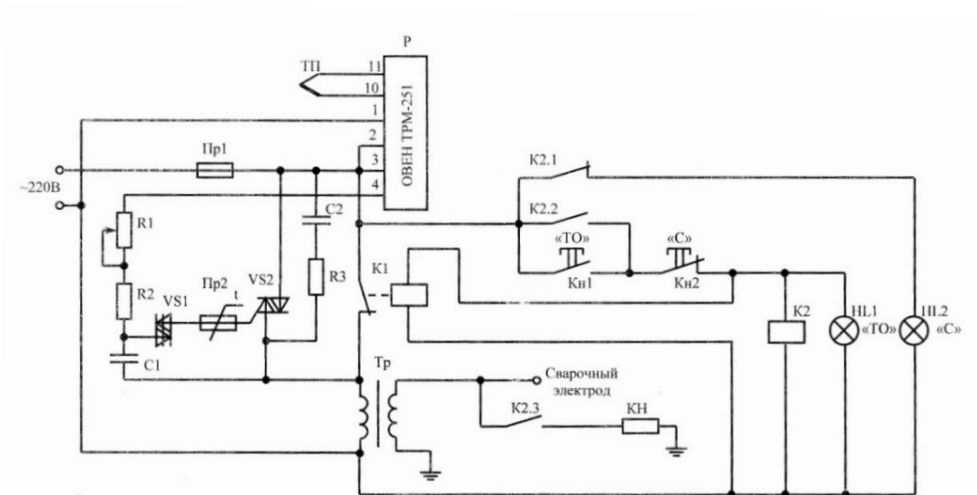


Рисунок 25 – Принципиальная электрическая схема установки

Электронный коммутатор выполнен по схеме симисторного регулятора мощности на элементах R1-R3, C1-C2, VS1-VS2, Пр1-Пр2. Переменный резистор R1 регулирует максимальную мощность нагрева. Фильтрующая цепочка R3-C2 предотвращает пробой симистора VS2 от бросков сетевого напряжения. Размещенный на радиаторе симистора VS2 термopедохранитель Пр защищает симистр от перегрева.

В качестве байпасного коммутатора применен контактор K1.

В качестве программного регулятора использован ПИД регулятор ОВЕН ТРМ251 (рисунок 26)



Пульт управления выполнен на контакторе K2 и кнопках Kn1 – Kn2 по схеме с самодержанием. Индикаторные лампы HL1 – HL2 отображают режим работы устройства.

В схеме использованы следующие элементы:

- конденсаторы: C1=МБМ-0,1 мкФ- 150 В;
C2=МБМ – 0,1 мкФ – 500 В;

Рисунок 26 – ПИД регулятор ОВЕН ТРМ251

- плавкий предохранитель Пр1=ПР2-60;
- термопредохранитель Пр2=TZD-084;
- резисторы: R1=СПЗ-4ВМ – 0,5 – 220 кОм; R2=МЛТ – 0,125 – 6,8 кОм; R3=МЛТ – 1 – 68 Ом;
- диностор VS1=DB3;
- симистр VS2=ВТА40-600;
- трансформатор Тр
- контакторы: К1; К2;
- кнопки Кн1, Кн2;
- индикаторные лампы HL1, HL2;
- керамический нагреватель КН;
- программный регулятор: Р = ОВЕН ТРМ251.

Сварка на керамической подкладке - нагревателе осуществляется следующим образом: с обратной стороны корня шва с минимальным зазором располагается керамическая подкладка нагреватель, состоящая из последовательно соединенных друг с другом посредством нихромовой проволоки керамических элементов со сквозными отверстиями. В центральной части собранного таким образом коврика располагаются элементы с пазом, соответствующим ГОСТу, устанавливающему геометрические параметры сварного соединения (в частности корня шва), формы, создающие линию.

На расстоянии 20-25 мм от одной из свариваемых кромок между керамическим ковриком и деталью устанавливают термодатчик для контроля температуры. Поверхность лицевой стороны и корня шва изолируют термоизоляционным материалом. Путем электроконтактного нагрева нихромовой нити, расположенной внутри керамических элементов происходит нагревание металла соединяемых деталей до необходимой температуры. При достижении нужного значения осуществляется сварка. В период бездействия сварочной дуги устройство регулирования температуры нагрева производит анализ соответствия заданной температуры реальному значению и при необходимости производится подогрев стыкуемых кромок. Закончив процесс сварки,

сварщик незамедлительно переводит нагревательное устройство в режим термообработки и производит, при необходимости, дополнительную теплоизоляцию.

При сварке протяженных стыковых соединений листовых конструкций необходимо использовать несколько источников питания, снабженных устройством регулирования температуры. В этом случае стыки разбиваются на несколько участков, количество которых зависит от протяженности стыка и сварка ведется одновременно несколько сварщиков по схеме обратноступенчатого метода. Начало и конец процесса предварительного подогрева, сварки и термообработки должен осуществляться всеми сварщиками синхронно.

При проведении термообработки устройство регулирования температуры (УРТ) контролирует и стабилизирует скорость нагрева и охлаждения сварного соединения, а также температуру и время выдержки. После выполнения операции ТО УРТ отключается автоматически. Сварное соединение может быть передано для контроля качества.

Способ может быть осуществлен как в цеховых условиях, так и на монтажных площадках, как при сварке сталей и сплавов, а так же и цветных металлов.

Как стыковых соединений листовых конструкций, так и трубных заготовок. Как прямолинейных, так и криволинейных конструкций. Может применяться как в авто-, судо-, авиа-, ракетостроении, при производстве объектов нефтеперерабатывающего комплекса, и строительстве, так и на железнодорожном транспорте как в совокупности технологических операций, так и для проведения исключительно подогрева и термообработки.

Основные выводы

1 С увеличением толщины свариваемого металла, увеличивается общая площадь наплавленного металла. Свойства сварочного соединения в основном определяются свойствами наплавленного металла, а не свойствами основного металла.

2 Основной металл при сварке разных деталей может быть разной плавки. Процесс производства металлопроката происходит отдельно от места изготовления сварочных материалов, поэтому от плавки к плавке разные интервалы фазовых превращений, это приводит к созданию определенных напряжений из-за различий теплофизических свойств, которые создают разные объемы деформации.

3 Современные методы снятия сварочных напряжений либо малоэффективны в крупногабаритных конструкциях, либо борются не с причиной а с образовавшейся деформацией.

4 Анализ картины деформирования сварных соединений при сварке показал существенное снижение уровня деформаций при односторонней односторонней сварке на подогреваемых керамических подкладках относительно двухсторонних сварных соединений на весу. Разработанная технология сварки с управлением термическим циклом нагрева и последующего незамедлительного отпуска, способствующая получению сварного соединения, лишенного закалочных структур, напряженного состояния и, следовательно, геометрических искажений. Данный метод позволяет форсировать скорость сварки, ликвидировать необходимость разделки кромок при сохранении механических свойств как по традиционной технологии.

Публикации по теме диссертации

Статьи в журналах рекомендованных ВАК:

1. Бажин, В.И.. Исследование влияния подогрева и контролируемого режима охлаждения при сварке стальных корпусных конструкций на структуру и свойства сварных соединений / В.И. Бажин, П.В. Бахматов, Е.Е. Тишкова // Сварка и диагностика. – 2015 №6 – С. 50-53
2. Бажин, В.И.. Структура и свойства сварных соединений в процессе сварки стальных конструкций / В.И. Бажин, П.В. Бахматов, Е.Е. Тишкова // Металлургия машиностроения. – 2016 №2 – С. 34-36
3. Бажин, В.И.. К вопросу оценки напряженного состояния сварных соединений / В.И. Бажин, П.В. Бахматов, Е.Е. Тишкова // Контроль. Диагностика. – 2016 № 3 – С. 009-013

В других изданиях:

- 4 Бажин, В.И. Исследование эффективности процесса непосредственной термообработки при сварке стыковых соединений / Научная студенческая конференция «Студенческая весна» (Комсомольск-на-Амуре, 2014 г.) ;
- 5 Бажин, В.И. «Оценка напряженного состояния сварных соединений» и «Исследование механизма образования напряжений в сварных соединениях» / В.И. Бажин, Е.Е. Тишкова // Дальневосточная школа-семинар «Фундаментальная механика в качестве основы совершенствования промышленных технологий, технических устройств и конструкций» 30 сентября – 3 октября 2014 г.
- 6 «Исследование влияния подогрева и непосредственной термообработки при сварке стальных корпусных конструкций на структуру и свойства сварных соединений» / В.И. Бажин // Металлургия: технологии, управление, инновации и качество : труды Всероссийской научно-практической конференции, 14-16 октября 2014 г. / Сибирский. государственный. индустриальный университет ;
- 7 Бажин, В. И. «Структура и свойства сварных соединений при подогреве и контролируемом режиме охлаждения в процессе сварки стальных

корпусных конструкций», «Оценка напряженного состояния сварных соединений» / В.И. Бажин, П.В. Бахматов // Международная науч.-техн. конференции «Проблемы и достижения в инновационных материалах и технологиях машиностроения» технологиях машиностроения» Комсомольск-на-Амуре, 12-16 мая 2015 г.