

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

На правах рукописи

Кравченко Александр Сергеевич

**Исследование возможности создания бездефектных сварных соединений  
элементов трубопроводных систем из нержавеющей сталей**

Направление подготовки  
15.04.01 «Машиностроение»

**АВТОРЕФЕРАТ  
МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ**

2018

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Комсомольском-на-Амуре государственном университете» и в филиале ПАО «Компания «Сухой» «КнААЗ» им. Ю.А. Гагарина».

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Машиностроение и металлургия» ФГБОУ ВО «Комсомольского-на-Амуре государственного университета» Бахматов Павел Вячеславович,

Рецензент: кандидат технических наук, инженер ЛЭС Амурского ЛПУМГ, ООО «ГАЗПРОМ ТРАНСГАЗ ТОМСК» Череповский Павел Викторович

Защита состоится «28» июня 2018 г. в 12:00 часов на заседании государственной аттестационной комиссии по направлению подготовки 15.04.01 «Машиностроение» в Комсомольском-на-Амуре государственном университете по адресу: Россия, 681013, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, проспект Ленина, 27, учебный корпус 2, аудитория 221.

Автореферат разослан 18 июня 2018 г.

Секретарь ГЭК  
к.т.н., доцент

А.В. Свиридов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Летательные аппараты (ЛА) являются наиболее сложными и совершенными машинами с конструктивной точки зрения – в них присутствует огромное число различных систем и агрегатов, поддерживающих работоспособность всей машины. При этом не малая часть этих систем включает в себя различного рода трубопроводы.

Трубопроводные системы присутствуют практически во всех системах ЛА и испытывают в процессе эксплуатации сложные и высокие нагрузки, поэтому от их надежности зависит работоспособность всей машин в целом.

В связи с этим к трубопроводным системам, а в особенности к присутствующим в них сварным соединениям, предъявляется ряд требований, которые регламентируются соответствующими нормативными документами. Как правило, нормативные документы регламентируют, уровень механических свойств сварного соединения и околошовной зоны, коррозионную стойкость соединения, его герметичность и геометрические характеристики, наличие, количество и размер допустимых внутренних дефектов.

С целью оценки эффективности технологического процесса сборки-сварки элементов трубопроводных систем из нержавеющей стали 12Х18Н10Т была составлена статистика дефектов по данным рентгенографической лаборатории филиала ПАО «Компания «Сухой» «КнААЗ» им. Ю.А. Гагарина» за период с 2013 по 2017 года. Общий процент брака достаточно низкий, однако, число стыков требующих исправления дефектов после первого предъявления составляет около 30%. Основную массу дефектов при изготовлении сварных стальных нержавеющей трубопроводов составляют непровары в корне шва (более 38 % от общего числа дефектов) и поры, как единичного, так и группового характера (более 34 % от общего числа дефектов). Доработка сварных соединений для исправления дефектов требует значительных трудовых и материальных затрат.

Практика показывает, что, несмотря на значительное количество научных работ российских и зарубежных исследователей в области сварки нержавеющей сталей таких, как Каховский Н.И., Патон Б.Е., Щербинский В.Г., Никифоров Г.Д., Редчиц В.В., Фролов В.А., Липпольд Д.С., Котеки Д.Д., а так же производственный опыт инженеров «КнААЗ», проблема улучшения качества сварных соединений нержавеющей стали является актуальной в условиях современного производства

**Цель работы:** Снижение уровня дефектности и достижения эксплуатационных требований, предъявляемых к сварным соединениям элементов трубопроводных систем ЛА из нержавеющей стали.

Реализация данной цели потребовала решения следующих задач:

- 1) Исследование влияния режимов ручной аргоно-дуговой сварки (АрДЭС) на структуру и свойства сварных соединений нержавеющей стали.
- 2) Разработка устройства для защиты корня шва от окисления, применяемое для сварки элементов трубопроводных систем (ЭТПС) ЛА, отличающегося минимальным расходом защитного газа.
- 3) Установление зависимости механических свойств от режима сварки.
- 4) Выработка технологических рекомендаций к технологическому процессу изготовления сварных ЭТПС из нержавеющей стали.

### **Научная новизна:**

- 1) Выявлено влияние режимов АДЭС на дефектность, структуру и механические свойства сварных соединений из нержавеющей стали.
- 2) Разработано устройство для защиты корня шва от окисления, отличающееся минимальным расходом защитного газа.
- 3) Получена линейная регрессионная модель, отражающая зависимость предела прочности сварных соединений от режима сварки АДЭС.

**Достоверность** экспериментальных результатов и обоснованность выводов обеспечиваются корректностью постановки задач исследования, комплексным подходом к их решению с использованием современных методов и методик, широким привлечением статистических методов обработки результатов, анализом литературных данных и критическим сопоставлением установленных в работе закономерностей фактам, полученным другими исследователями.

**Теоретическая и практическая значимость работы** заключается в следующем:

- выработаны рекомендации к технологическому процессу изготовления сварных ЭТПС ЛА из нержавеющей стали, обеспечивающие снижение уровня дефектности и достижение эксплуатационных требований;
- получено уравнение зависимости предела прочности сварного соединения от силы тока и скорости сварки, пользование которым облегчит работу исследователей, а так же заводских работников, занимающихся сваркой хромоникелевых аустенитных сталей в прогнозировании свойств швов;
- предложено устройство, обеспечивающее хорошую защиту корня шва от окисления при минимальном расходе инертного газа.

**Личный вклад** автора заключается в постановке цели и задач исследования, в оценке технологических возможностей изготовления бездефектных сварных соединений из нержавеющей стали, анализе литературных источников, в проведении экспериментов с последующим анализом и обработкой полученных данных; в проведении оптических, металлографических, физико-механических и других исследований.

### **Основные положения выносимые на защиту:**

- 1) Совокупность результатов исследований вероятности образования внутренних дефектов, механических свойств, химического и микроструктурного анализа сварных соединений из нержавеющей стали выполненных на разных режимах.
- 2) Зависимость вероятности образования внутренних дефектов, механических свойств, распределение легирующих элементов, микро- и макроструктуры сварных соединений из нержавеющей стали от параметров режима сварки.
- 3) Рекомендации к технологическому процессу, позволяющие снизить уровень дефектности и достичь эксплуатационные требования.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и получили одобрение на ежегодных научно – технических конференциях аспирантов и студентов ФГБОУ ВО «КнАГУ» (2017 - 2018) гг.

**Работа велась** в рамках договора №86-3/14 от 21.03.2014 на выполнение научно-исследовательской и технологической работы «Исследование влияния параметров технологического процесса сварки алюминиевого и нержавеющей трубопровода, с целью снижения уровня дефектности сварных соединений» с филиалом ПАО «КнААЗ» и «КнАГТУ».

**Публикации.** Результаты диссертационной работы опубликованы в статье журнала, входящем в Перечень, рекомендованный ВАК для публикации результатов диссертационных исследований, одним положительным решением о выдачи патента.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 4 глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Материалы работы изложены на страниц машинописного текста, содержат таблиц и иллюстрированы рисунками. Список литературы содержит наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** представлена статистика дефектов сварного трубопровода ЛА из нержавеющей сталей по данным рентгенографической лаборатории филиала ПАО «Компания «Сухой» «КнААЗ» им. Ю.А. Гагарина». Обосновывается актуальность темы и приводится общая характеристика работы.

**В первой главе**, являющейся обзорной, проведён анализ литературных данных, анализ технического уровня разработок в исследуемой области, а также основные виды дефектов, возникающих при сварке нержавеющей сталей и причины их возникновения. Обоснованы цель работы и задачи.

**Во второй главе** изложены общие вопросы методики исследований.

Объектом исследований являлись сварные швы и зона термического влияния трубных ( $\varnothing 50 \times 1$  мм) и плоских (150x80x1 мм) образцов из хромоникелевой стали 12X18H10T полученные ручной АрДЭС на сварочном инверторе Kemppi MasterTig AC/DC 3500W со сварочной горелкой ТТК 350W , присадочная проволока Св-06X19H9T диаметром 1.6 мм. Тип соединения С00001-1620 по ОСТ 1 02617-87. Сварка трубных образцов проводилась в 4 сегмента, плоских - без деления на сегменты.

В таблице 1 приведена программа проведения экспериментов.

Таблица 1 – Программа экспериментов

Трубные образцы			
Номер опыта	Сила сварочного тока, А	Угол заточки электрода, град	Защита корня шва
1	60	45	Нет
2	60	45	Продув аргоном
3	50	45	Продув аргоном
4	70	45	Продув аргоном
5	60	35	Продув аргоном
6	60	55	Продув аргоном
7	50	35	Продув аргоном
8	70	55	Продув аргоном
Плоские образцы			
Номер опыта	Сила сварочного тока, А	Скорость сварки, мм/мин	Защита корня шва
1	50	240	Продув аргоном
2	60	280	Продув аргоном
3	70	320	Продув аргоном
4	50	240	Продув аргоном
5	50	320	Продув аргоном
6	70	240	Продув аргоном
7	70	320	Продув аргоном

а)



б)



Рисунок 1 – Полученные образцы:  
а – трубные; б - плоские

Для защиты корня сварного шва (ЗКШ) от окисления было использовано устройство, которое включает в себя полый с радиальными отверстиями элемент подачи защитного газа, удерживаемый магнитным полем, создаваемым между одним магнитом с одной стороны свариваемого металла и другим магнитом с другой. Перемещение устройства осуществлялось вручную.

Измерение геометрических параметров сварных швов производились при помощи комплекта для визуально-измерительного контроля ВИК-1. Наличие внутренних дефектов определялось на рентгенотелевизионном комплексе FILIN-240/225.FP8.C-ARM в соответствии с требованиями инструкции ПИ 1.4.415-92 и ГОСТ 7512-82. Испытания на статическое растяжение сварных соединений проводили на универсальной испытательной машине INSTRON 3382 (США) по ГОСТ 6996-69, тип образцов XII. При подготовке образцов для микроструктурных исследований на инвертированном микроскопе NikonEclipse MA200 использовался шлифовально-полировальный станок BLUHLER EcoMet 250 Pro. Химический анализ сварных соединений был выполнен на растровом электронном микроскопе (РЭМ) Hitachi S 3400-N (Япония). Измерение микротвердости по Виккерсу различных зон сварного соединения осуществлялось на микротвердомере DuraScan EmcoTest согласно с ГОСТ 2999-75. Определение содержания ферритной фазы в металле шва сварных образцов проводилось при помощи ферритометра МФ-51НЦ в соответствии с ГОСТ Р 53686-2009. Регрессионный анализ в системе *Statistica 10* был проведен в модуле *Multiple regression* (Множественная регрессия).

**В третьей главе** представлены результаты исследований влияния силы сварочного тока, угла заточки вольфрамового электрода и защиты корня шва на геометрические характеристики, дефектность и механические свойства свойства кольцевых неповоротных сварных соединений нержавеющей стали.

Геометрические характеристики сварных соединений регламентируются П.И. 1.4.748-80. («Дуговая сварка трубопроводов из нержавеющей сталей в среде инертных газов»). Результаты визуально-измерительного контроля представлены в таблице 2. По результатам измерений было установлено: наиболее благоприятные режимы - 2, 5 и 8. Оценка наличия внутренних дефектов в сварных швах установила, что основными дефектами являются поры (различного вида) и непровары в корне шва. На основании результатов рентгенконтроля была построена гистограмма отражающая вероятность появления внутренних (рис. 2).

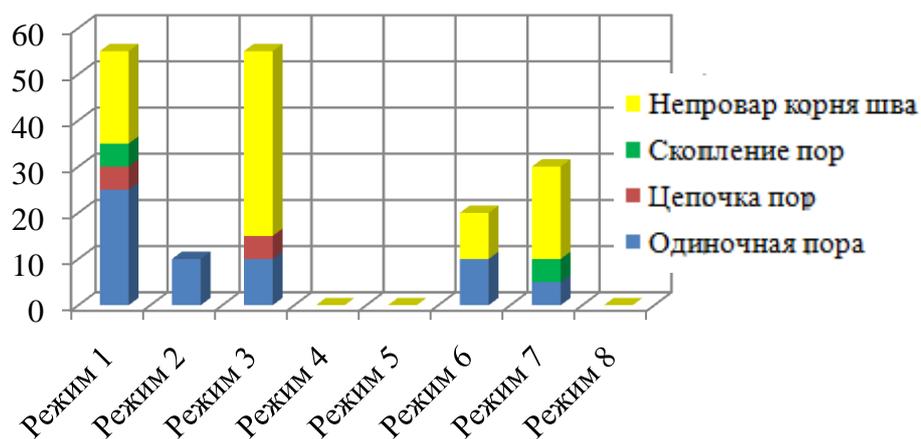


Рисунок 2 – Гистограмма вероятности возникновения дефектов

Из данных гистограммы видно, что оптимальными режимами сварки являются режимы с номерами 4, 5 и 8. С учетом данных визуально-измерительного контроля - режимы 5 и 8. Наиболее неблагоприятными режимами являются режимы под номерами 1, 3 и 7, для которых вероятность возникновения внутренних дефектов превышает 25%.

Оценка уровня механических свойств: удовлетворительным были признаны те режимы сварки, при которых разрушение образца произошло по основному металлу либо сварному соединению или околошовной зоне, при этом значения предела прочности должно быть ниже предела прочности основного металла на величину не более 10 %.

Таблица 2 – Результаты визуально-измерительного контроля

№ режима	Описание наружных дефектов (при наличии)	Заключение о результате визуального осмотра и измерений
1	Сильное окисление корня шва, неудовлетворительная шероховатость. Наплывы на внутренней поверхности трубы в области корня шва.	Наружных дефектов нет, однако поверхность корня шва сильно окислена и имеет неудовлетворительную шероховатость, режим можно считать не корректным
2	Нестабильные геометрические параметры сварного шва	Геометрические характеристики не стабильны, но попадают в допустимый диапазон варьирования, режим можно считать корректным
3	Непровар корня. Подрез. Нестабильные геометрические параметры.	Имеются наружные дефекты требующие доработки и исправления, режим можно считать не корректным
4	Отрицательное значение усиления корня шва, значительные колебания геометрических параметров.	Имеются наружные дефекты требующие доработки и исправления, режим можно считать не корректным
5	Отрицательное значение усиления корня шва, образование наплывов в корне шва	Геометрические характеристики не стабильны, но попадают в допустимый диапазон варьирования, режим можно считать корректным
6	Нестабильные геометрические параметры. Имеются участки где усиление сварного шва равно нулю или образуется вогнутость, что не допустимо	Геометрические параметры не стабильны, имеются участки, где усиление шва равно нулю или образуется вогнутость, что не допустимо, режим можно считать не корректным

Продолжение таблицы 2

7	Непровар геометрических параметров	корня. Отклонение	Имеются наружные дефекты, требующие доработки и исправления, режим можно считать не корректным
8	Незначительные геометрических параметров в зоне замка, не требующие исправления или доработки	колебания	Наружных дефектов, требующих исправления или доработки нет, режим можно считать корректным

Таблица 3 – Результаты испытаний на статическое растяжение

Номер режима	Диапазон изменения предела прочности, МПа	Среднее значение предела прочности, МПа	Зона разрушения	Уровень прочности относительно ОМ, %	Заключение о результатах испытаний
1	605-634	620	ОШЗ	-17,3	Не удовлетворительный режим
2	701-718	710	ОМ	-5,33	Удовлетворительный режим
3	624-652	638	ОШЗ	-14,93	Не удовлетворительный режим
4	695-704	700	ОМ	-6,67	Удовлетворительный режим
5	715-738	727	ОМ	-3,07	Удовлетворительный режим
6	662-707	685	ОМ	-8,67	Удовлетворительный режим
7	633-684	659	ОМ	-12,13	Не удовлетворительный режим
8	754-783	767	ОМ	+2,27	Удовлетворительный режим

Из данных таблицы видно: неудовлетворительные режимы сварки - 1, 3 и 7. Прочность остальных образцов удовлетворительна, однако лишь два режима можно считать благоприятными – режимы 5 и 8. Результаты механических испытаний подтвердили результаты визуально-измерительного и рентгенконтроля.

**В четвертой главе** представлены данные исследования влияния термического цикла на эксплуатационные свойства стыковых соединений плоских образцов. Получено уравнение, отражающее зависимость прочности при статическом растяжении от силы тока и скорости сварки.

Визуально-измерительным контролем установлено, что геометрические параметры всех сварных образцов удовлетворяют требованиям ПИ 1.4.748-80. Внутренние дефекты не выявлены.

Объектом металлографических исследований являлись характерные зоны сварных соединений: сварной шов, зона сплавления, зона термического влияния (ЗТВ) и основной металл. По результатам замера площадей характерных зон, а также замера наибольшего зерна в зоне сплавления была составлена табл. 4 и рис. 3.

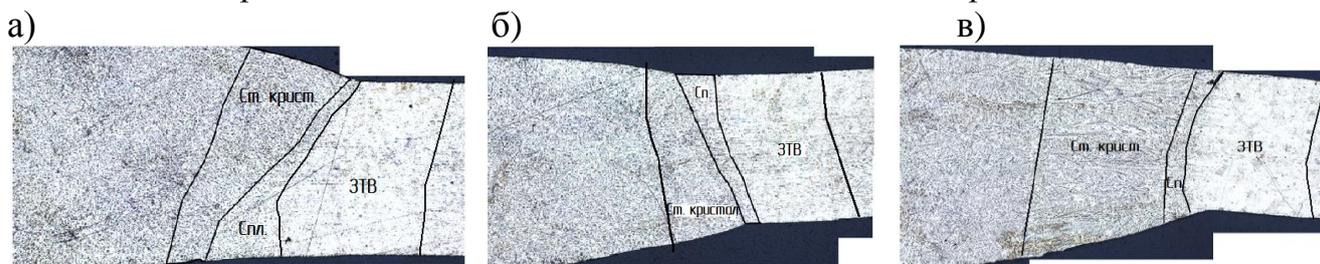


Рисунок 3 – Характерные зоны образцов:  
а – первого, б – второго, в - третьего

Таблица 4 – Результаты анализа микроструктуры сварных образцов

№ образца	Режим сварки		Площадь, мм <sup>2</sup>			Наибольший размер зерна в зоне сплавления, мм
			Зона столбчатого кристаллита	Зона сплавления	ЗТВ	
	I, А	v, мм/мин				
1	50	240	0,5	0,17	0,71	0,025
2	60	280	0,35	0,145	0,76	0,021
3	70	320	1,36	0,126	0,72	0,02

Из данных таблицы и рисунка видно, что образец 3 имеет более благоприятную структуру (наименьшие площади зон сплавления и термического влияния, а так же наименьший размер зерна в зоне сплавления).

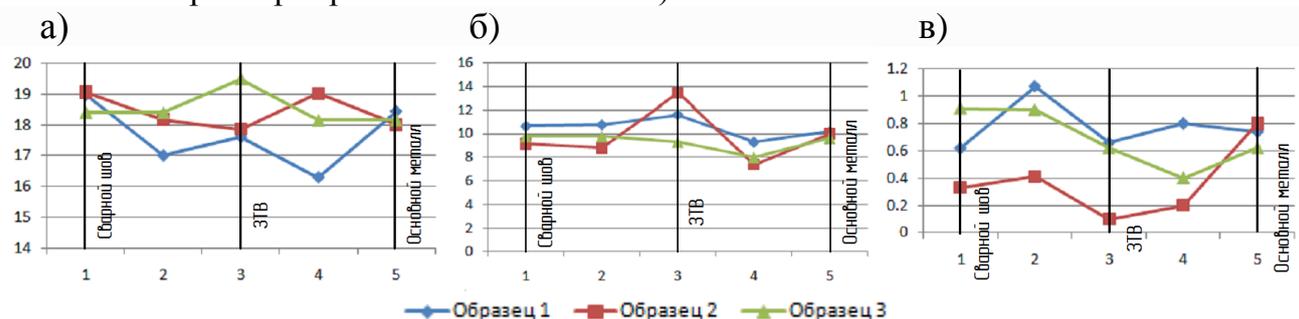


Рисунок 4 – Изменение содержания легирующих элементов:  
а - хрома; б - никеля; в - титана

На основании данных химического анализа образцов построены графики отражающие распределение основных легирующих элементов по сечению сварного шва.

Анализ графиков (рис. 4) показал следующее:

1. Среднее содержание легирующих элементов во всех сварных соединениях эквивалентно либо превосходит содержание этих элементов в основном металле. Это свидетельствует о том, что сварка была выполнена с хорошей защитой, как корня шва, так и лицевой поверхности.

2. Режим с большей силой тока и скоростью сварки обуславливает достаточно интенсивное протекание диффузионных процессов, что приводит к выравниванию химического состава и снижает ликвацию. Сварное соединение образца 3 имеет более равномерное распределение легирующих элементов по сечению шва.

Результаты измерения микротвердости в поперечном сечении сварных образцов, включающие различные зоны приведены на рис. 5.

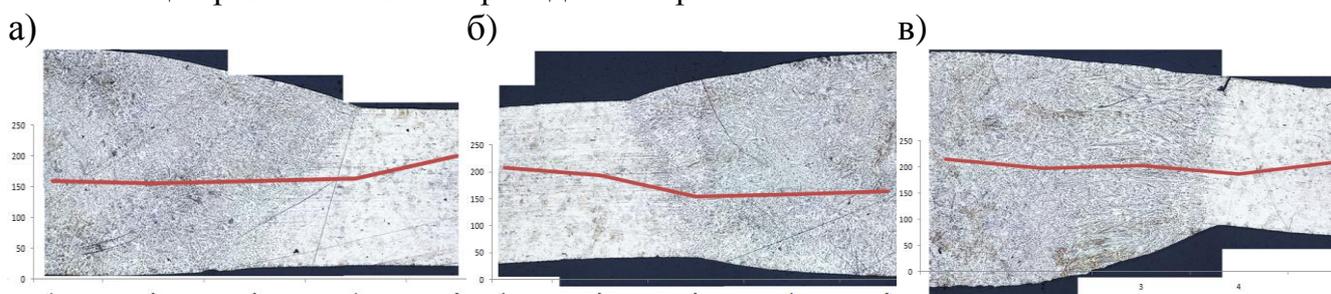


Рисунок 5 – Графики изменения микротвердости по сечению сварного шва:  
а – первого образца; б – второго образца; в – третьего образца

Из данных рисунка 5 следует, что образцам под номером 1 и 2 присуща прочностная неоднородность: механические свойства сварного шва, а так же зоны термического влияния ниже, чем основного металла. Образец 3 имеет как более высокие, так и более равномерные значения микротвердости по сечению сварного шва. Результаты замера микротвердости подтверждают результаты микроструктурного и химического анализа.

Содержание ферритной фазы в металле шва аустенитной стали является индикатором характера кристаллизации металла шва и связанной с ним стойкостью к растрескиванию.

Результаты измерения содержания ферритной фазы в исследуемых сварных соединениях представлены в табл. 5.

Таблица 5 – Среднее содержание феррита в сварных образцах

Номер сварного соединения	Режим сварки		ССФ, %
	Сила тока, А	Скорость сварки, мм/мин	
1	50	240	2,58
2	70	240	2,52
3	50	320	3,00
4	70	320	2,7

Выявление влияния режимов сварки на содержание феррита в металле сварного соединения показало, что режимам с минимальной скоростью сварки соответствует большее содержание феррита, а влияние силы сварочного тока противоположно.

Такие результаты можно объяснить различной долей основного и присадочного металла в сварном соединении при использовании различных режимов сварки.

Результаты испытаний сварных образцов на статическое растяжение приведены в табл. 6.

Из табл. 6 видно, что с увеличением силы тока увеличивается как прочность, так и пластичность образцов, а влияние скорости сварки обратное.

Таблица 6 – Результаты испытаний на статическое растяжение

Номер образца	Режим сварки		Предел прочности, МПа	Среднее значение	Относительное удлинение, %	Среднее значение
	$I_{св}$ , А	$v$ , мм/мин				
1.1	50	240	450	515	12	19
1.2			540		21	
1.3			555		25	
2.1	50	320	499	500	14	16
2.2			481		16	
2.3			521		19	
3.1	70	240	556	573	20	26
3.2			548		21	
3.3			614		37	
4.1	70	320	492	564	21	25
4.2			610		29	
4.3			589		25	

Применение модуля *Множественная регрессия* в системе Statistica 10 показало сильную и достоверную корреляционную связь между пределом прочности и силой сварочного тока и скоростью сварки, которая описывается уравнением:

$$Y=397+3,05 \cdot X1-015 \cdot X2,$$

где  $X1$  – сила сварочного тока;

$X2$  – скорость сварки.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Для получения качественного сварного соединения обязательна организация защиты корня шва аргоном. При отсутствии защиты вероятность возникновения внутренних дефектов, даже при корректном значении других параметров процесса, составляет 55 %, что недопустимо. Прочность при статическом растяжении сварного шва, выполненного без защиты корня шва также не удовлетворительна и более чем на 17 % ниже, чем для основного металла.

2. При уменьшении угла заточки электрода увеличивается проплавливающая способность дуги, это связано с повышением степени концентрации дуги, и как следствие, повышением ее тепловой мощности, в результате существенно увеличиваются ширина и высота корня шва, ширина усиления практически не изменяется, высота усиления уменьшается. При уменьшении угла заточки снижается вероятность возникновения дефектов. Это объясняется увеличением проплавливающей способности дуги, а так же возрастанием давления дуги на сварочную ванну, что способствует более интенсивному ее перемешиванию и лучшей дегазации. На механические свойства, получаемого сварного соединения угол заточки электрода оказывает косвенное влияние за счет изменения характеристик дугового разряда (концентрация дуги, тепловая эффективность дуги).

3. С увеличением силы сварочного тока повышается вероятность получения сварного шва с нестабильной геометрией по длине. Это объясняется повышением влияния колебаний длины дуги. При увеличении  $I_{св}$  вероятность возникновения дефектов снижается. Это связано с повышением тепловой мощности дуги и увеличением срока существования сварочной ванны, что способствует ее дегазации. С увеличением силы сварочного тока одновременно со скоростью сварки, улучшаются механические свойства сварного соединения.

4. Результаты металлографических исследований влияния термического цикла сварки на микроструктуру, химический состав и микротвердость показали следующее:

- режим с большей силой тока и скоростью сварки, обеспечивает получение сварного шва с более благоприятной микроструктурой. В таком соединении зона термического влияния, зона сплавления, а так же размер зерен в этих зонах имеют наименьшую площадь;

- режим с большей силой тока и скоростью сварки обеспечивает получения сварного соединения с более равномерным распределением легирующих элементов;

- сварное соединение, полученное при максимальной силе сварочного тока и скорости сварки, имеет как более высокие, так и более равномерные значения микротвердости по сечению сварного шва.

5. Получена линейная регрессионная модель, отражающая зависимость предела прочности сварных соединений нержавеющей стали 12X18H10T толщиной 1 мм с присадочной проволокой 06X19H9T от силы сварочного тока и скорости сварки:

$$Y=397+3,05 \cdot X1-015 \cdot X2,$$

где  $X1$  – сила сварочного тока;

$X2$  – скорость сварки.

6. Определен наиболее благоприятный режим сварки: диаметр вольфрамового электрода 2 мм, диаметр присадочной проволоки 1,6 мм, сила сварочного тока 68 - 72 А; напряжение на дуге 12 - 14 В; скорость сварки 300 - 320 мм/мин; угол заточки вольфрамового электрода 55 °; расход защитного газа через горелку 8 - 10 л/мин; защита корня шва обязательна, при этом расход аргона для осуществления защиты должен составлять не менее 6 - 8 л/мин; сварку необходимо вести на постоянном токе прямой полярности. При данном значении параметров режима сварки сварное соединение: имеет стабильные геометрические характеристики на всей протяженности, не имеет внутренних дефектов; обладает прочностью при статическом растяжении эквивалентной основному металлу. Термический цикл сварки при этом режиме обеспечивает получение более благоприятной микроструктуры, химической и прочностной однородности.

7. По результатам исследований установлено, что такие параметры как скорость сварки и подачи присадочной проволоки являются значимыми в вопросах улучшения качества сварных соединений путем оптимизации режима. Одновременно они являются трудно контролируемыми и корректируемыми при ручном способе ведения процесса сварки. Автоматизация процесса позволила бы в большей мере управлять качеством сварных соединений тонкостенных конструкций из нержавеющей стали 12Х18Н10Т с присадочной проволокой 06Х19Н9Т.

8. Для снижения порообразования рекомендуется: использование кожаных перчаток сварщиков, для возможности их обезжиривания; светлая (белая) униформа сварщиков – как индикатор её загрязнения, с возможностью стирки после смены и выдачи свежей в начале смены; откусывание окисленного (оплавленного) конца проволоки перед каждым началом сварки; обезвоживание спиртом сварочной проволоки и кромок деталей непосредственно перед сваркой; оценка сварочной проволоки РЭМ на наличие поверхностных дефектов; использование шаберов для обработки кромок и торцов.

#### **Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах.**

1. Кравченко, А.С. Влияние режима сварки авиационных трубопроводов из нержавеющей стали на возникновение дефектов сварных швов / А. С. Кравченко, П. В. Бахматов, С. П. Мазур, В. С. Пицык // Учёные записки КнАГТУ. – 2017. - № IV-1 (32). – С.78 – 87.

2. Кравченко А.С. Научно-техническое творчество аспирантов и студентов: материалы 47-й научно-технической конференции студентов и аспирантов, Комсомольск-на-Амуре, 10-21 апреля 2017 г./ редкол.: Э.А. Дмитриев (отв. ред). - Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО "КнАГТУ", 2017. – С.580 – 582.

3. Положительное решение на выдачу патента по заявке № 2017111403/02 (020173) от 04.04.2017. Способ обработки поверхности сварочной проволоки / Муравьев В.И., Бахматов П.В., Кравченко А.С., Стробыкин С.А., Волжин С.А.