

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

На правах рукописи

Стробыкин Сергей Алексеевич

**Исследование влияния разделительных, подготовительных и  
сварных операций на качество сварных соединений.**

Кафедра «Машиностроение и металлургия»  
Направление 15.04.01 – «Машиностроение»

**АВТОРЕФЕРАТ**

Диссертации на соискание академической степени магистра

2018г.



Работа выполнена на кафедре «Машиностроение и металлургия»  
Комсомольского -на-Амуре государственного университета.

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент, Бахматов П.В

Рецензент: кандидат технических наук, инженер ЛЭС Амурское ЛПУМГ  
ООО «Газпромтранс газ Томск», Череповский П.В

Защита диссертации состоится «28» июня 2018г. в 12 часов на заседании государственной аттестационной комиссии в Комсомольском-на-Амуре техническом университете по адресу: 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, КНАГУ, корпус 2, ауд. 221.

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

Автореферат разослан 18 июня 2018г.

Секретарь комиссии

А.В. Свиридов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** При сварке сварных соединений выполненных дуговой сваркой возникают разного рода дефекты. Наиболее часто дефекты возникают по вине сварщика, но есть и такие дефекты которые зависят от качества сварочных материалов. Одним из таких дефектов является пористость сварного соединения. Пористость, является самым распространённым и опасным дефектом, существенно влияющим на конструкционную прочность и способным в несколько раз уменьшить работоспособность сварных конструкций. Из чего встает проблема предупреждения пористости швов, характерной для сварки плавлением.

Основным источником пор является водород в сварочной ванне, который поступает в нее по двум причинам. Первая связана с процессом перераспределения водорода, растворенного в основном металле, в процессе термодиффузии, изменяющий его содержание на разных участках сварочного соединения. Вторая причина, поверхностные загрязнения и адсорбированная влага на торцах кромок и электродной (присадочной) проволоке. Которые являются основными поставщиками продуктов химических реакций, развивающихся в сварочной ванне с выделением молекулярного водорода и оксида углерода, что способствует образованию пор за счет повышения скрытого давления этих газов и наличия твердых частиц в ванне, играющих роль стимуляторов зарождения газовых пузырьков.

Для того чтобы предотвратить дефекты необходимо использовать качественные материалы для сварки. Требования к качеству проволоки написаны в ГОСТ 2246-70, но данный стандарт не содержит четких критериев для оценки качества поверхности сварочной проволоки. Из за чего поверхность проволоки может содержать множество различных мелких дефектов и загрязнений, которые могут привести к образованию пор при сварке. Поэтому актуальным является разработка критериев оценки качества поверхности сварочной проволоки. Так же встает вопрос о создании методов устранения поверхностных дефектов проволоки.

**Целью работы** является уменьшение порообразование сварных соединений и улучшение качества поверхности стальной проволоки.

### **Задачи работы:**

- 1) провести литературный обзор причин порообразования и появления других дефектов;
- 2) произвести исследования влияния поверхности качества проволоки на порообразование;
- 3) анализ технологических операций подготовки сварочной проволоки;

- 4) разработать технологические рекомендации по улучшению поверхности сварочной проволоки.

#### **Научная новизна:**

- 1) разработан способ улучшения поверхности проволоки заключающийся в оплавлении сварочной проволоки лазером за счет оплавления поверхности и устранения поверхностных дефектов;
- 2) установлены несовершенства ГОСТ 2246-70 и предложен метод оценки качества поверхности с использованием растрового электронного микроскопа;
- 3) создан каталог для оценки качества поверхности сварочной проволоки.

#### **Практическая значимость:**

- 1) с помощью растрового электронного микроскопа изучена поверхность сварочной проволоки на «КнААЗ», квалифицирована по поверхностным дефектам по трем категориям (1 – хорошее, 2 – удовлетворительное, 3 – не удовлетворительное) в процентах;
- 2) предложенный метод оплавления позволит перевести сварочную проволоку с 3 категории в 1;
- 3) применение растрового электронного микроскопа в качестве одного из основных инструментов входного контроля позволит существенно повысить качество сварных конструкций в отношении порообразования сварных швов.

#### **На защиту выносятся:**

- 1) использование растрового электронного микроскопа;
- 2) влияние качества поверхности сварочной проволоки на порообразование;
- 3) классификатор оценки качества сварочной проволоки по результатам растрового электронного микроскопа;
- 4) способ улучшения поверхности сварочной проволоки.

#### **Апробация работы**

Основные положения и результаты диссертации докладывались и получили одобрение на ежегодной научно – технической конференции аспирантов и студентов ФГБОУ ВО «КнАГУ» 2018 г.

**Работа выполнялась** согласно договору х/д № 86-3/14 «Исследование влияния параметров технологического процесса сварки алюминиевого и нержавеющей трубопровода с целью снижения уровня дефектности сварных соединений» с ОАО Компания “Сухой” “КнААЗ им. Ю.А. Гагарина”

## Публикации

По результатам выполненных исследований опубликована 1 статья ВАК РФ и 1 патент.

## Содержание работы

**Во введении** обосновывается актуальность темы применительно к контролю качества поверхности стальной сварочной проволоки и приведена общая характеристика работы.

**В первой главе** проведен анализ основных дефектов при дуговой сварке, рассмотрены основные причины порообразования, механизм образования пор при сварке и требования нормативной документации к качеству поверхности стальной сварочной проволоки.

**Во втором разделе** подробно описаны экспериментальные методики и оборудование, с помощью которых были проведены исследования.

Предоставлен перечень образцов исследуемой проволоки каждой марки, плавки и диаметра проволоки хранящиеся на складах «КнААЗ». Образцы стальной сварочной приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Образцы стальной сварочной проволоки

Марка проволоки	Диаметр	Партия
ЭП659-ВИ	1,2	97142В
	1,6	1/1313-1
	2	3/1314-2
06Х19Н9Т	0,8	7762-4,8365
	1	7356,8195-3, 9571
	1,2	11-5077
	1,6	11-5076
	2	5079,9357
07Х16Н6	2	-
18ХМА	2	1/1307-1,3/1291-4
18ХМА-ВИ	1,2	21375-4
	2	1/1173-3
ХН38ВТ	1,6	225
ХН60ВТ	1	3139
	1,6	53931
ЭИ334	2	Д80809-2
ЭП659А-ВИ	1,2	-
	2	1/1315-1,3/1317-1,3/1317-1
СПТ-2	1,6	712
	2	722

Исследования поверхности образцов были проведены на растровом электронном микроскопе Hitachi S 3400-N (Япония). Поверхность

исследуемой проволоки была предварительно очищена от загрязнений и обезжирена.

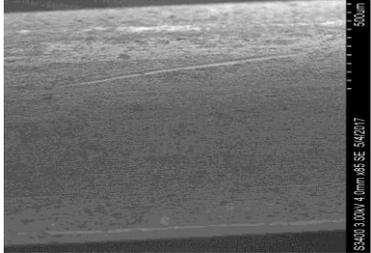
Для определения влияния операции опескоструивания на порообразование использовались образцы сварных соединений, получены автоматической сваркой в среде аргона неплавящимся электродом на установке УСК-1200. Образцами являлись патрубки внешним диаметром 70 мм и длиной 141 мм, из стали 12Х2НВФА, толщиной 4,4 мм, использована проволока Св-18ХМА диаметром 1,2 мм. Кромки первой группы патрубков зачищались металлической щеткой и при сварке использована проволока, очищенная механическим путем, вторая группа образцов опескоструена и сварена с применением опескоструенной проволоки. В каждой группе по 10 образцов.

После сварки группы образцов разделили следующим образом: одна часть из каждой группы образцов осталась без доработки, вторая подверглась закалке с последующим отпуском, после чего снова произведено опескоструивание. Опескоструивание и зачистка металлическими щетками относится как к кромкам, так и к проволоке. Далее были проведены испытания образцов на статическое растяжение, твердость, ударную вязкость и исследования микроструктуры.

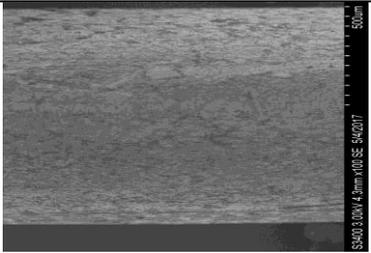
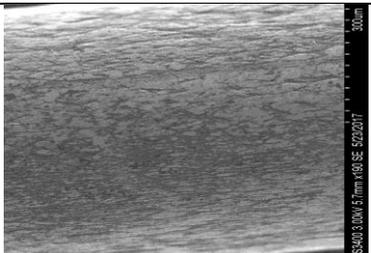
**В третьем разделе** по результатам исследования поверхности сварочной проволоки с помощью растрового электронного микроскопа (РЭМ) стало возможным классифицировать ее качество. Критерием классификации послужили следующие параметры, характеризующие качество поверхности: шероховатость, глубина рисок, которые наблюдаются на обычном изображении и изображения рельефа поверхности.

В результате получено 3 категории качества поверхности проволоки, критерии определения представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Критерии определения категорий качества

Категории	Критерии	Поверхность
1 категория – поверхность с незначительными дефектами	поверхность исследованной проволоки равномерная, с небольшими царапинами, относящимися к механическим повреждениям	

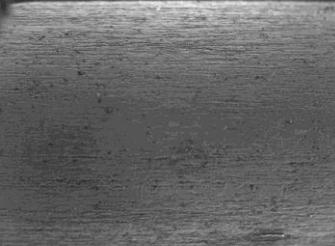
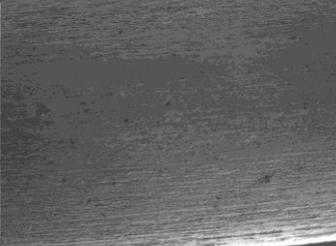
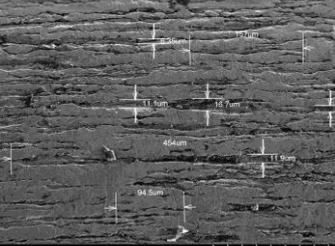
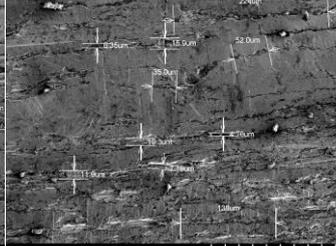
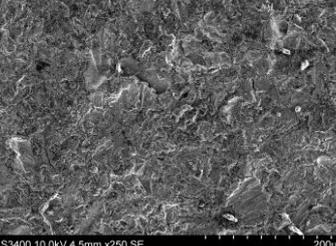
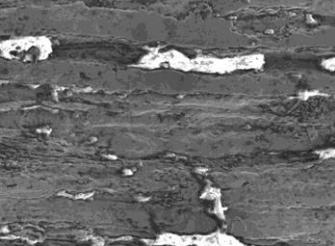
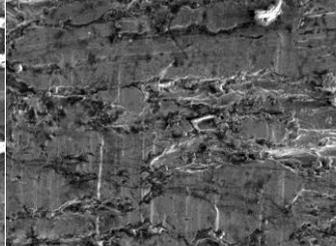
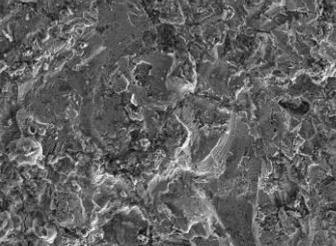
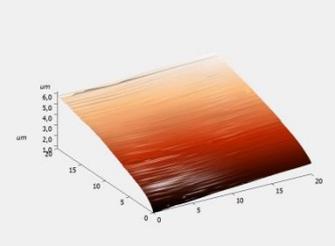
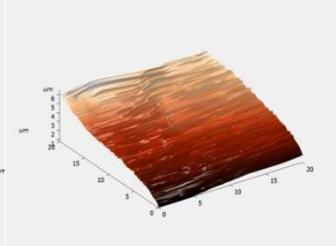
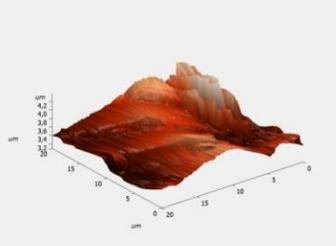
Продолжение таблицы 2

<p>2 категория- поверхность с дефектами</p>	<p>поверхность проволоки неравномерная, с небольшими многочисленными поверхностными дефектами</p>	
<p>3 категория – проволока не пригодная для сварки.</p>	<p>поверхность проволоки обладает большой шероховатостью, имеет множество глубоких трещин, царапин и протяжек крупного размера.</p>	

Исследовали 3 участка сварочной проволоки Св-18ХМА взятых из одной бухты, но в разной степени подготовленности: состояние поставки, промытая в мыльном растворе и опескоструенная.

На поверхности проволоки в исходном состоянии (таблица 3.3 ) имеются риски протяженностью от 45 до 15 мкм, шириной 1...20 мкм. В полостях рисок имеются органические загрязнения (светлые участки). Поверхностные дефекты проволоки после операции промывки в мыльном растворе не изменились, органических загрязнений не выявлено. Внешний вид проволоки, прошедшей опескоструивание электрокорундом 14А зернистостью 16Н по ГОСТ 28818-90 не имеет дефектов исходного состояния (протяженных борозд, загрязнений закатов и трещин), но характеризуется существенно проработанным рыхлым поверхностным слоем. Имеются места вырыва металла с поверхности частицами электрокорунда, микроцарапины, кроме того, обнаружены внедренные в этот слой частицы электрокорунда размером 4 мкм.

Таблица 3– Внешний вид поверхности проволоки

Вид подготовки поверхности	Состояние поставки	Промытая в мыльном растворе	Опескоструенная
x50			
x250			
x1000			
профиль граммы			

На рисунке 1 показано распределение химических элементов в поверхностном слое исследуемых проволок. В поверхностном слое проволоки до пескоструйной обработки распределение алюминия равномерное, а опескоструенной поверхности наблюдается локальное скопление частиц алюминия. Такое явление объясняется микролегирование мелкими частицами электрокорунда, неравномерно распределенными по дефектной структуре поверхности проволоки.

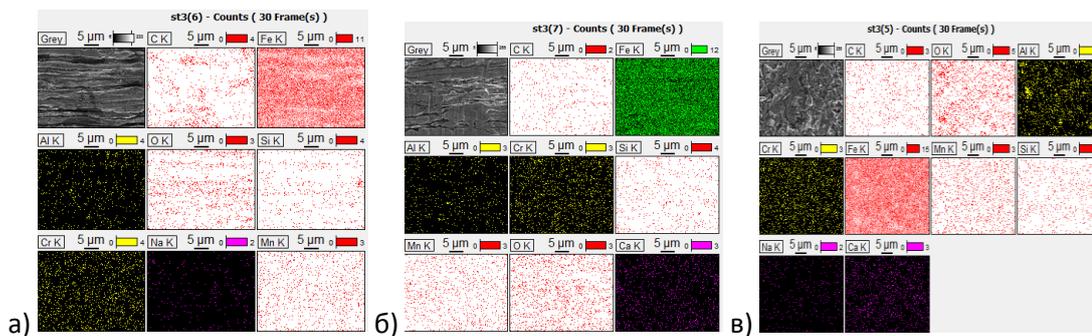


Рисунок 1 – Распределение химических элементов в поверхностном слое исследуемых проволок:

а – исходное состояние; б – после промывки; в – опескоструенная

По результатам анализа проволок из таблицы 3 и рисунка 1, можно сделать вывод о том, что очистка проволоки корундом создает рыхлый поверхностный слой, имеются места вырыва металла с поверхности частицами электрокорунда, микроцарапины с внедрением элементов абразивов.

В работе также предложен способ улучшения поверхности сварочной проволоки и устройство для его реализации.

Задача предлагаемого изобретения - подготовка поверхности сварочной проволоки из черных и цветных металлов, в том числе и исправление (улучшение) дефектной поверхности проволоки с гарантированным качеством сварного соединения.

Технический результат – повышение качества сварных соединений, вследствие лазерного оплавления поверхности сварочной проволоки, устраняющего дефекты волочения и поверхностные загрязнения.

Предлагаемый способ заключается в предварительной очистке поверхности от остатков волочильной смазки, термическом оплавлении поверхности проволоки не менее 0,01 мм под действием лазерного луча, проведении термообработки по режиму, обеспечивающему снятие остаточных напряжений. В отдельных случаях (при наличии значительной шероховатости проволоки, отдельных дефектов, превышающих допустимую величину на отклонения от диаметра) величина глубины оплавления может быть выбрана путем определения шероховатости или глубины единичных дефектов и существенно превышать значение 0,01. Но в любом случае, величина глубины оплавления должна обеспечивать полное оплавление всех поверхностных дефектов и выгорание органических и др. загрязнений, находящихся в них. Для обработки проволоки из цветных металлов необходимо использовать защитные газы, такие как аргон, азот, подаваемые в зону обработки. Предлагаемый способ подготовки поверхности, удаляя

вещества, приводящие к порообразованию, позволяет получить проволоку, использование которой значительно снижает вероятность порообразования.

Для реализации этого способа предлагается оборудование, состоящее из наматывающего устройства и устройства вращения лазерной головки. Наматывающее устройство представляет собой катушку 1, приводимую в движение электроприводом. Вращение лазерной головки обеспечивается электродвигателем, питаемым по скользящим контактам. Скорость движения наматывающей катушки и вращения лазерной головки подбирается в зависимости от диаметра проволоки. Вращение наматывающего устройства, и движение лазерной головки обуславливают обработку поверхности по спирали. Оплавление проволоки лазерным лучом создает поверхность, не имеющую дефектов характерных для волочения. При волочении проволока проходит через фильеры, при этом для улучшения проскальзывания используют смазывающие вещества, которые при возникновении такого дефекта как закат или трещина остаются в поверхностном слое и трудноудалимы. При оплавлении проволоки загрязнения испаряются и удаляются с поверхности, тем самым значительно снижается вероятность возникновения пор в сварном соединении. При импульсном типе лазера предлагаем следующую схему расчета скорости движения сварочной проволоки и лазерной головки:

Скорость движения сварочной проволоки может быть рассчитана по формуле (мм/с):

$$V_{\text{пр}} = \frac{z\gamma d}{\pi D}, \quad [1]$$

где  $z$  – расстояние между центрами соседних точек в витках, мм

$d=(r+0,2r)$  – условное расстояние между точками в витке, мм

$r$  – радиус точки, мм

$m$  – величина перекрытия соседней точки, мм

$D$  – диаметр проволоки, мм

$\gamma$  – частота импульса, Гц

$z$  необходимо подбирать так, чтобы перекрытие близлежащих точек было не менее 30%.

Скорость вращения лазерной головки (об/с):

$$V_r = \frac{2r\gamma d}{D}, \quad [2]$$

где  $r$  - расстояние от центра проволоки до сварочной головки, мм

Скорость необходимо подбирать по глубине измененного лазерным оплавлением слоя. Схема устройства для оплавления поверхности сварочной проволоки представлена на рисунке 2.

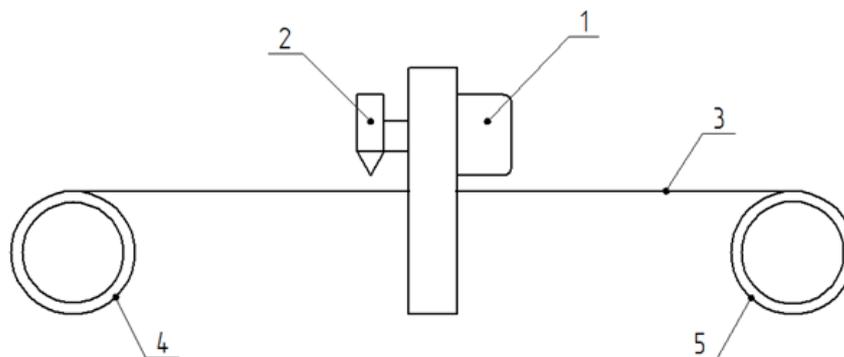


Рисунок 2 - Схема устройства для оплавления поверхности проволоки:  
1 – электродвигатель, 2 – лазерная головка, 3 – проволока, 4 – сматываемая катушка, 5 – наматываемая катушка.

### **Общие выводы**

1) Существующий ГОСТ 2246-70 не в полной мере обеспечивает критерии качества сварной проволоки и отсутствие порообразования в сварных швах. Поэтому разработана методика оценки сварочной проволоки по результатам ростового электронного микроскопа.

Определены категории качества поверхности сварочной проволоки, проведен контроль поверхности стальной сварочной проволоки и создан ее каталог для ПАО Филиал «Компания Сухой» «КнААЗ» конкретных партий, марок и диаметров проволоки.

2) Установлено, что операция опескоструивания сварочной проволоки, не эффективна и при этом достаточно затратна., т.к. создает рыхлый поверхностный слой, с местами вырывов металла с поверхности, приводящий к накоплению капиллярно-конденсированной влаги, которая во время сварки распадается на атомарный кислород и водород. При кристаллизации сварочной ванны выделяющийся водород не успевает полностью удаляться из металла шва. Это приводит к образованию в нем газовых пор. Опескоструивание сопровождается внедрением частиц электрокорунда на поверхности, температура плавления которого 2050 °С, что является причиной несплавлений и пор.

3) Установлено, что при плавлении торца сварочной проволоки не весь объем металла под действием сварочной дуги оплавляется, что дает

возможность попадания загрязнений, находящихся в поверхности сварочной проволоки, в сварочную ванну и при диссоциации их влечет вероятность порообразования в металле шва.

4) Разработана методика улучшения поверхности стальной проволоки путем лазерного оплавления, способствующей удалению (снижению) загрязнений с ее поверхности и исправлению дефектов проволоки при ее производстве.

### **Публикации по теме диссертации**

- 1) Стробыкин С.А. Исследование влияния качества сварной проволоки на дефектность сварных соединений / С.А. Стробыкин, П.В. Бахматов // Научно-техническое творчество аспирантов и студентов: материалы всероссийской научно-технической конференции аспирантов и студентов, Комсомольск-на-Амуре, 09-20 апреля 2018 г. - Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2018. – Ч. 1. – С.170-173
- 2) Заявка 2017111403/02(020173) Российская Федерация, Способ обработки поверхности сварочной проволоки / Муравьев В.И. Бахматов П.В. Кравченко А.С. Стробыкин С.А. Волжин С.А. ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «КнАГТУ»; заявл. 04.04.2017