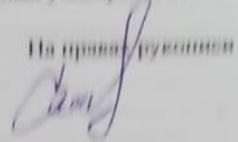


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Брянский государственный университет имени академика  
Б.П. Константинова»

На правах рукописи



Щеголев Алексей Васильевич

Разработка каталога тактических приемов аргонодуговой сварки  
неразъемных соединений, включенных в чемпионат worldskills russia

Направление подготовки  
13.04.01 – «Машиностроение»

АВТОРЕФЕРАТ  
МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

2024

Коротченко  
Лариса Никитовна

**Проверено**

18.06.2024 Зачтено Библиотека

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Комсомольском-на-Амуре государственном университете»

Научный руководитель:

Бахматов Павел Вячеславович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Технология сварочного и металлургического производства имени В.И. Муравьева» ФГБОУ ВО «Комсомольского-на-Амуре государственного университета»

Научный консультант:

Фролов Алексей Валерьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленная электроника»

Рецензент:

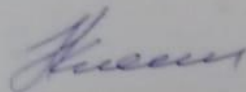
Жилин Сергей Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Лаборатории проблем создания и обработки материалов и изделий ИМиМ ДВО РАН, г. Комсомольск-на-Амуре

Защита состоится «14» июня 2024 г. в 14:00 ч. на заседании государственной аттестационной комиссии по направлению подготовки 15.04.01 «Машиностроение» в Комсомольском-на-Амуре государственном университете по адресу: 681013, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, проспект Ленина, д.27, учебный корпус 2, аудитория 221.

С диссертацией можно ознакомиться на сайте [www.knastu.ru](http://www.knastu.ru) и на кафедре «Технология сварочного и металлургического производства» ФГБОУ ВО «КНАГУ».

Автореферат разослан «7» июня 2024г.

Секретарь ГЭК  
к.т.н.



О.Н. Клешина

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** В практике крупных машиностроительных предприятий часто приходится сталкиваться с разнообразием подходов к технике выполнения сварщиками сварных соединений. Так, документом, регламентирующим операции и режимы выполнения шва на производстве является технологическая карта или спецификация процесса сварки, где приводятся основные параметры сварки и часто упускаются вопросы, связанные с манипулированием рабочим торцом электрода (горелкой), вид и диаметр сопла горелки, вылет электрода и угол наклона горелки относительно оси шва, часто упускается параметр - скорость сварки, особенно при многопроходной сварке. Кроме того, при сварке труб по большому зазору появляется возможность введения присадочной проволоки с обратной стороны соединения, а минимальный зазор требует большего тепловложения и, следовательно, форсированных режимов сварки. Минимизация величины притупления должна предусматривать обязательное введение присадочной проволоки при формировании корневого валика, а максимальный размер притупления дает возможность сварки корневого валика без присадочного материала.

**Цель работы:** Целью данной работы является демонстрация тактического приема сварки кольцевого шва трубных заготовок, учитывающего геометрические параметры конструктивных элементов подготовки кромок (толщину стенок заготовок, зазор между кромками, притупление), режимы процесса сварки и технику формирования каждого прохода для получения геометрических параметров сварных швов согласно нормативно-технической документации.

Усовершенствовать процесс операции выполнения швов аргонодуговой сваркой в среде защитных газов.

Для достижения цели работы поставлены и решены следующие **задачи**:

- 1 Определить основные технологические факторы, оказывающие влияние на качество сварных соединений
- 2 Разработать методические рекомендации с применением образцов полученных экспериментальным методом.

**Объект исследования** – технология выполнения сварного соединения.

**Предмет исследования** – стыковые соединения пластин, полученные тактическим приемом аргонодуговой сварки с использованием расчетных данных

**Научная новизна:**

- 1 Установлены технологические факторы (особенности и параметры режима аргонодуговой сварки) оказывающие влияние на геометрические параметры, дефектность и свойства сварных соединений;
- 2 Разработан алгоритм выполнения швов аргонодуговой сварки с применением математических расчетов угла наклона горелки, длина вылета электрода.

**Обоснованность и достоверность** полученных результатов основывается на использовании поверенного комплекса контрольно-измерительного

оборудования для проведения экспериментальных исследований, использованием нормированных методик определения физико-механических свойств и макро- и микроструктурных параметров, а также соответствием полученных результатов экспериментальных данных фундаментальным положениям.

### **Практическая значимость работы**

Технологическая особенность данного приема показывает упрощение в выборе нужных параметров при сварке, так как в современном исполнении отсутствует точное описание выполнения швов аргонодуговой сварки, с использованием расчетных параметров получения нужного пространственного положения горелки при сварке, таких как дуговой зазор, вылет электрода, угол наклона горелки, диаметр сопла, сила сварочного тока и напряжение на дуге.

**Личный вклад авторов** заключается в постановке цели и задач работы, непосредственном участии в процессе проектирования и изготовления исследуемых образцов и специального оборудования, проведении исследований, обработке и анализе результатов, формировании выводов, написании статей.

**Апробация результатов работы.** Основные результаты работы были доложены и обсуждены на Международной научно – практической конференции «Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению» Комсомольск-на-Амуре, 2022 г.; V Всероссийская национальная научная конференция молодых ученых «Молодёжь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований» Комсомольск-на-Амуре, 2022 г.; II Международная научно – практическая конференция молодых ученых «Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению» Комсомольск-на-Амуре, 2022 г.; VI Всероссийская национальная научная конференция молодых ученых «Молодёжь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований» Комсомольск-на-Амуре, 2023 г.;

**Объем и структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, трех глав, основных выводов, списка литературы. Диссертация содержит 84 страниц, 36 рисунков, 18 таблиц; список литературы состоит из 85 наименований.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** обоснована актуальность темы исследования, объект и предмет, поставлена цель и задачи ее реализации, используемые методы исследования, а также научная новизна. Обоснована цель работы и задачи.

В **первой главе** представлен литературный обзор по теме диссертации. В главе описаны основные составляющие устройства автоматизированных сварочных установок, их комплектующие и программное обеспечение.

Повышенная производительность процесса сварки и высокое качество сварных соединений, а также экономические показатели использования металла способствовали тому, что сварочное производство является одним из ведущих технологических процессов в машиностроении.

Для получения образцов аргонодуговой сварки используется сталь СтЗсп. Она характеризуется уникальной свариваемостью, что обеспечивает большой диапазон технических характеристик, которые можно улучшить при помощи легирующих добавок. Для проведения всех сварочных работ, что сталь данной марки легко сваривается без подготовительных мероприятий – специальной подготовки, и изделия не требуют обработки после сварки.

Сварку стали СтЗсп осуществляют с применением вольфрамового электрода w1-15, отличаются стабильностью, надежностью и просты в эксплуатации. сплав вольфрама с оксидом лантана (1,5%) из которого состоят электроды дает быстрый и легкий первоначальный запуск дуги, устойчивую дугу и низкую склонность к прожигам. Лантановые электроды более долговечный по сравнению с чисто вольфрамовыми и меньше загрязняют сварной шов. равномерное распределение оксида лантана по всей длине электрода позволяет сохранять первоначальную заточку электрода длительное время.

При выполнении исследовательской работы использовались различные виды керамических сопл для получения угла наклона газовой горелки согласно математическим параметрам, полученных эмпирическим путем.

Во **второй главе** изложено описание имеющегося оборудования предназначенного при выполнении швов аргонодуговой сварки в среде защитного газа.

Для выполнения TIG сварки применялся сварочный аппарат KEMPPi MasterTig MLS 3003 ACDC, многофункциональный источник питания для трехфазных сетей (с возможностью работы при различном напряжении питания - напряжение может составлять от 230 до 460 В) с максимальным током 300 А и с использованием горелки Kemppi TTC 220 4M



Рисунок 1 - Сварочный инвертор KEMPPi MasterTig MLS 3003 ACDC и Горелка Kemppi TTC 220 4M

В практике получения сварных соединений различных сталей и сплавов ручной аргонодуговой сваркой неплавящимся вольфрамовым электродом все чаще применима технология обкатки (опирания) керамическим соплом горелки свариваемой поверхности, получившая название «бабочка» или «американка»

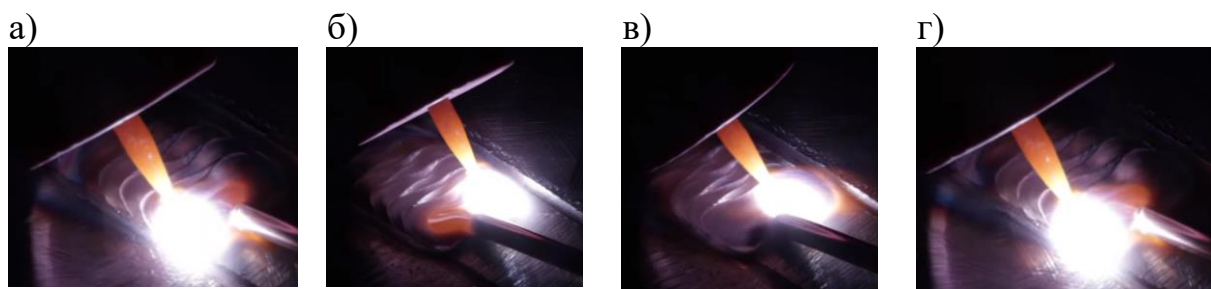


Рисунок 2 – Движения керамического сопла и дуги по технике «бабочка»  
 а - крайнее правое положение; б - крайнее левое положение; в - возврат в крайнее правое положение; г - повторное крайнее правое положение

Учитывая, что керамическое сопло (1) постоянно опирается на поверхность свариваемой детали (3), а угол между вольфрамовым электродом (2) и выходной плоскостью сопла прямой, для расчета тактических параметров следует принять за расчетную, схему прямоугольного треугольника (рисунок 1), где  $r$  - диаметр сопла,  $\alpha$  - угол наклона горелки,  $\ell$  - вылет вольфрамового электрода,  $e$  - дуговой зазор.

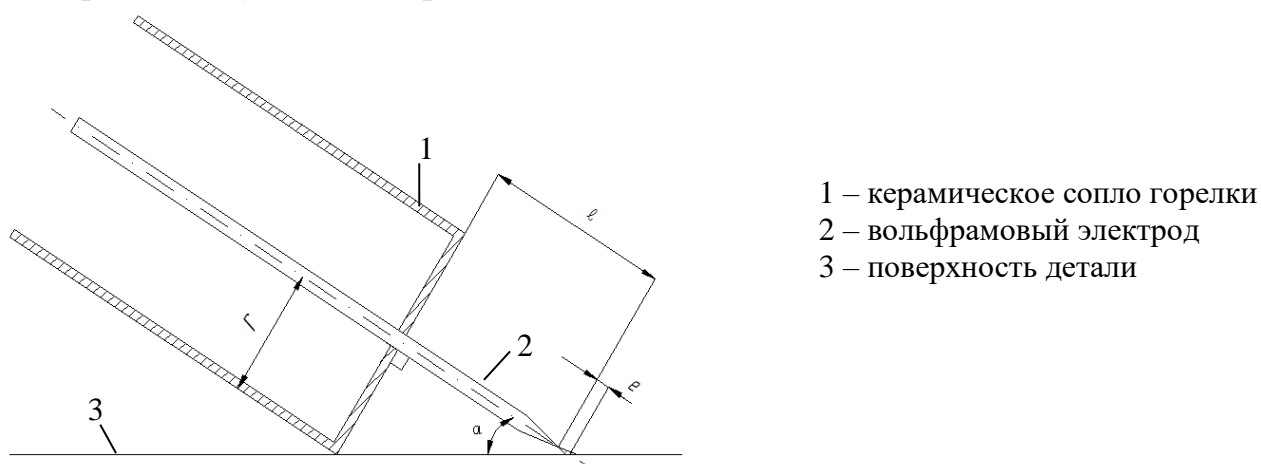


Рисунок 3 - Расчетная схема для определения величин тактических параметров аргодуговой сварки неплавящимся электродом

При математическом расчете вылета электрода данные угла наклона сварочной горелки  $\alpha$  (град) переведены в радианы, полученные значения переводим в  $\text{tg}(\alpha)$  и получаем формулу (1):

$$l = r / (\text{tg}(\alpha) - e) \quad (1)$$

Расчет данных параметров для получения неразъемных соединений позволит получить равномерную защиту сварочной ванны инертным газом, избежать наружных и внутренних дефектов, в том числе вольфрамовых включений, возникающих при касании электродом сварочной ванны.

Для упрощения вычислений разработан калькулятор расчета тактических параметров при сварке, учитывающий: угол наклона горелки, вылет электрода, размер газового сопла, а также дуговой зазор при сварке (рисунок 4).

Для получения расчета принято постоянное положение горелки 45 градусов, дуговой зазор 2 мм, радиус рабочего сопла для корневого, заполняющего и облицовочного прохода. В ходе вычисления получаем размер вылета электрода при сварке (рисунок 4).



а)

ℓ, мм	3,000
г, мм	5
е, мм	2
α, град.	45



б)

ℓ, мм	6,000
г, мм	8
е, мм	2
α, град.	45



в)

ℓ, мм	8,000
г, мм	10
е, мм	2
α, град.	45



г)

ℓ, мм	10,000
г, мм	12
е, мм	2
α, град.	45



Рисунок 4 - Калькулятор расчета тактических параметров и его практическое применение для многопроходного шва

В таблице. 1 показаны образцы, полученные в ходе реализации эксперимента, путем установления параметров исходя из калькуляции расчётов. При изменении параметров наблюдается увеличение глубины проплавления при выполнении тактического приема.

Таблица 1- Влияние тактических параметров сварки на геометрические параметры сварных швов

№	Сварной образец	Тактические параметры сварки							Геометрические параметры шва	
		Наружный радиус сопла (номер сопла),	Сварочный ток, А	Вылет электрода, мм	Угол наклона электрода, град	Дуговой зазор, мм	Скорость сварки, мм/мин	Напряжение на дуге, В	Ширина, мм	Глубина проплавления, мм
1		8	100	10	45	2			10	1,9
2		8	120	10					10	2,0
3		10	100	12					10	2,3
4		10	120	12					10	2,9

В третьей главе представлены результаты исследования

При выполнении швов аргонодуговой сваркой с использованием математических расчетов получены образцы при следующих номерах газовых сопел №6,8,10 и определенным диапазоном сварочного тока. На полученных образцах можно наблюдать, что при повышении силы сварочного тока, увеличением диаметра сопла и увеличением наклона угла вольфрама электрода чешуйчатость шва становится меньше, тем самым увеличивает плотность формирования валика и концертирует глубину проплавления. Увеличение газового сопла повлияло на размер колебательного движения, плавное движение горелки вдоль оси сварного шва.



Газовое сопло № 6



Газовое сопло №8



Газовое сопло №10

Рисунок 5 - Результат получения экспериментального исследования ИКН — система измерения, регистрации и обработки данных диагностики напряжённно-деформированного состояния оборудования и конструкций с использованием метода магнитной памяти металла (рисунок6).



Рисунок 6 - Измерительный прибор ИКН 3М-12



На графиках, показанных в рисунке 6 наблюдается уменьшение напряжения с увеличением сопла и силы сварочного тока. Для снятия напряжений изделие нагревают до 600—650° С и после выдержки (из расчета 2—2,5 мин на 1 мм толщины металла, но не менее 30 мин) подвергают медленному охлаждению вместе с печью. Поскольку при этом металл нагревается до температуры, лежащей ниже критической, изменений структуры не происходит.

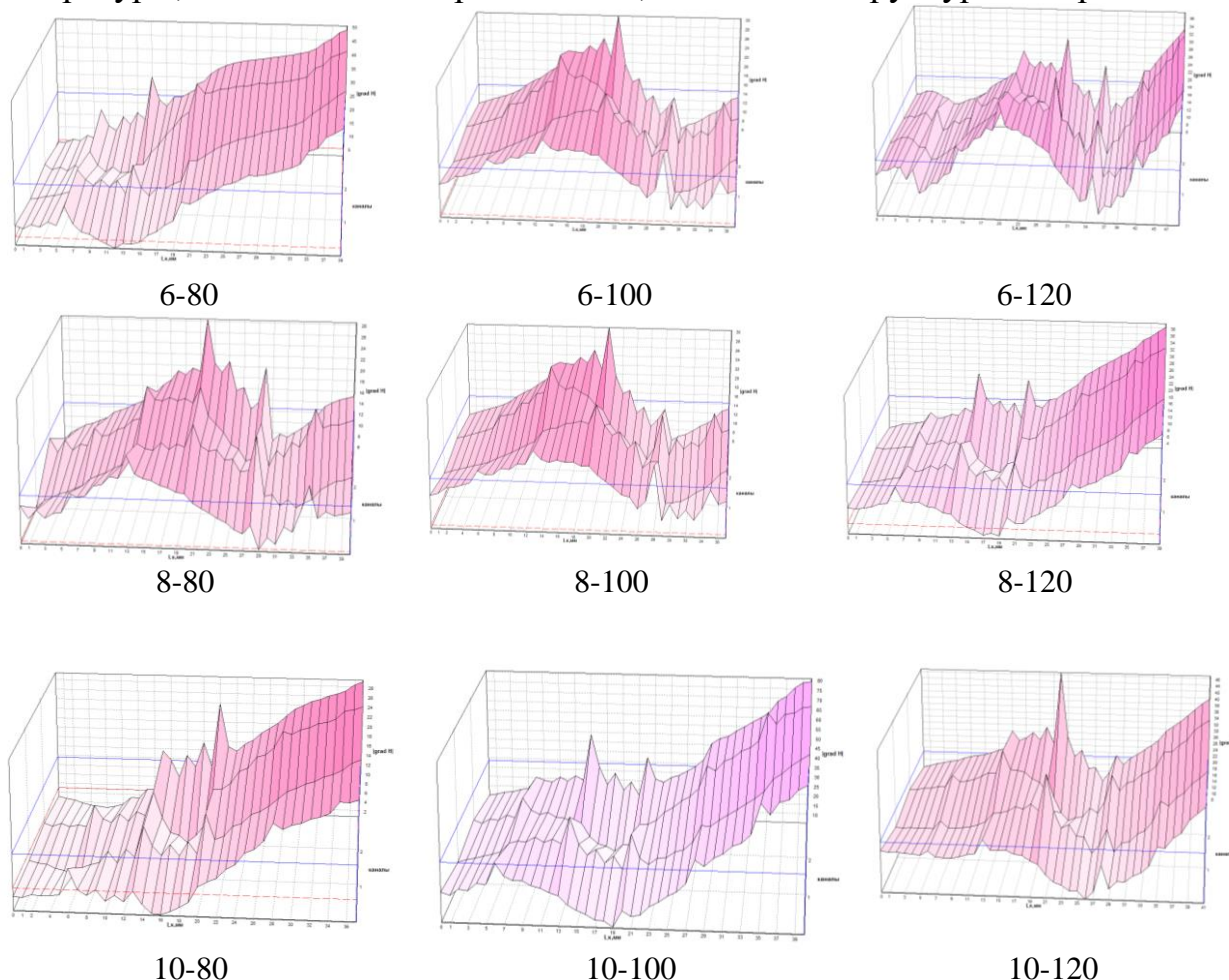


Рисунок 6 - Графики показаний внутренних напряжений

Образцы для испытаний вырезались из пластин марки Сталь 3сп на универсально – фрезерном станке. После вырезки обрабатывались на шлифовальном станке, в процессе шлифовки производилось охлаждение образцов в воде.

Подготовительные процессы в исследовании микроструктуры представляют собой доведение экспериментальных образцов до зеркального блеска. Перед проведением всех операций требуется вырезание сектора исследуемого участка с помощью ножовки по металлу и заливка образцов эпоксидным клеем, которые нужно оставить на 24 часа до полного затвердевания. После застывания образцы вынимаются из формочек и ставятся в шлифовально – полировальную машину (рисунок 7).



Рисунок 7 – Шлифовально-полировальный станок марки EcoMet 250 с полуавтоматической насадкой AutoMet 250

После удачного травления, данные образцы осматриваются на микроструктуру сварного шва при помощи электронного микроскопа Nikon Eclipse MA200 (рисунок 21), позволяющего осматривать зону металла от 100 до 1500 крат. Но, последнее значения увеличения возможно при идеально ровной поверхности.



Рисунок 21 – Металлографический микроскоп Nikon MA200



Околошовная зона



Структура сварного шва



Основной материал



Обратная сторона валика

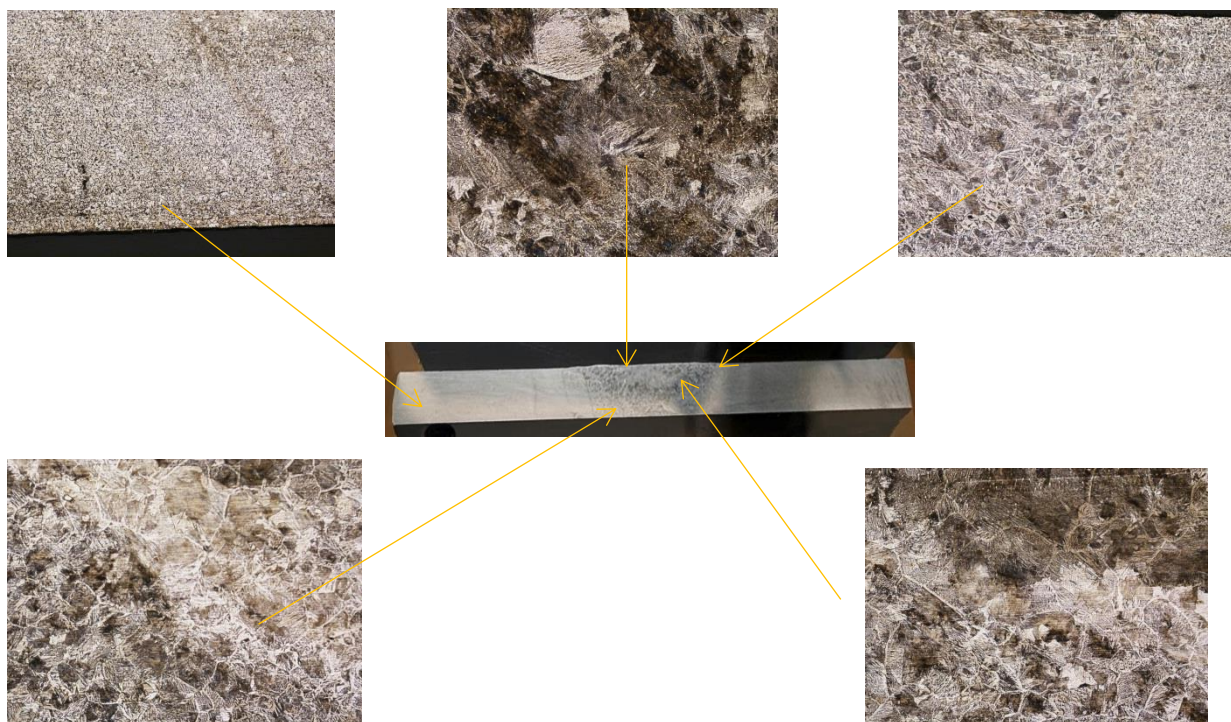


Зона термического влияния

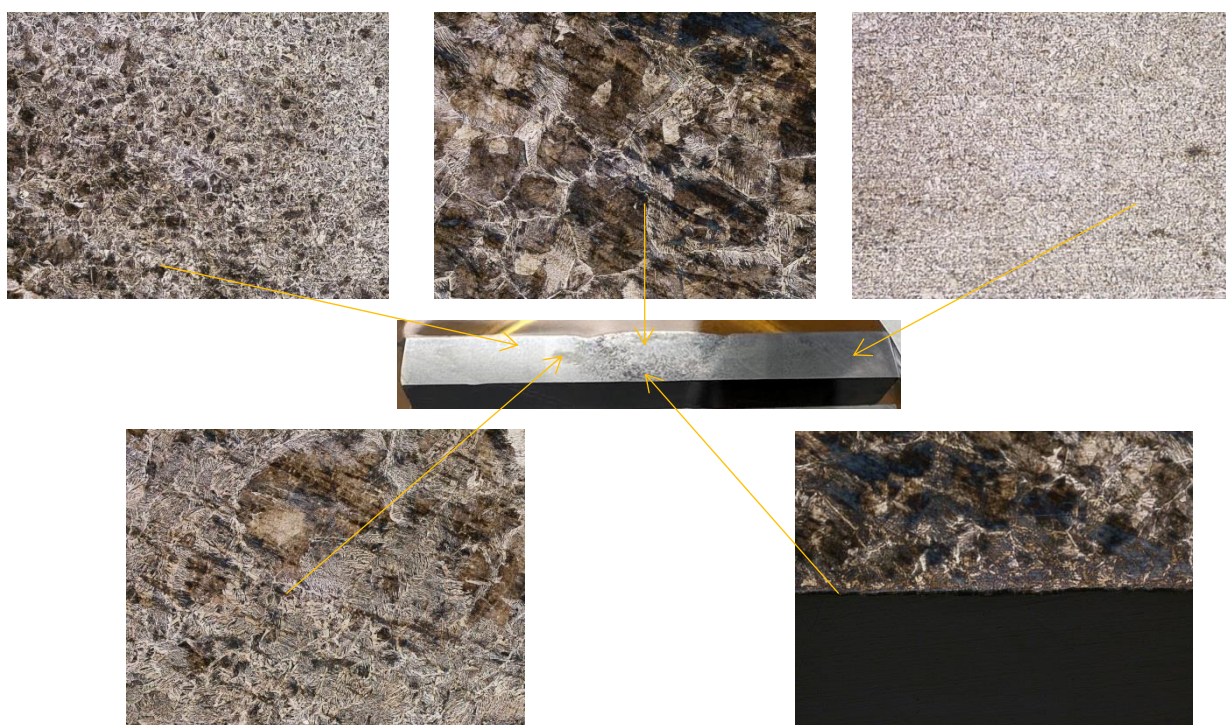


Сварной шов с использованием газового сопла №8, сила сварочного тока 80А





Сварной шов с использованием газового сопла №8, сила сварочного тока 100А



Сварной шов с использованием газового сопла №8, сила сварочного тока 120А

Рисунок 8 - Микроструктура образцов, полученных тактическим способом.

После выявления микроструктуры образцов заметно изменение геометрических параметров. На рисунке 8 показано изменение глубины проплавления с увеличением силы сварочного тока, что повлияло на структуру формирования зерен, рост зерна стал больше, увеличился объем изменения от основного материала к сварному шву.

## **ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ**

1) Проведённый анализ получения сварных соединений эмпирическим путем, с использованием математических расчетов, показал изменение структуры сварного соединения, геометрических параметров сварных швов. Определено внутреннее напряжение, в результате которого показано, что с увеличением размера сопла горелки и силы сварочного тока происходит снижение внутренних напряжений. Полученная микроструктура позволило определить структурную составляющую кристаллической решетки сварных швов при выполнении аргонодуговой сварки.

2) Эмпирическим путем подобраны режимы аргонодуговой сварки при применении которых получено сварное соединение, по геометрическим параметрам удовлетворяющее требованиям ПИ 1.4.748. Режимы сварки и определенные номера сопел позволяют определить геометрические параметры сварных швов. Данная технология поможет определить формирование сварного шва согласно нормативно-технической документации. Такое сочетание позволяет осуществлять дозированное введение энергии и формировать сварочную ванну при максимальном значении сварки, а при минимальном производить локальную термообработку этой точки и предварительный подогрев места следующей.

### **Список основных работ, опубликованных по теме диссертации**

1. Шиляев, А. В. Тактические приемы выполнения швов аргонодуговой сварки / А. В. Шиляев, П. В. Бахматов // Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению : Материалы II Международной научно-практической конференции молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре, 14–18 ноября 2022 года / Редколлегия: А.В. Космынин (отв. ред.) [и др.]. Том Часть 2. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2022. – С. 188-192.