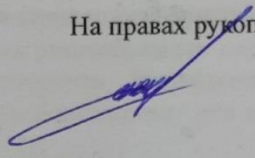


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

На правах рукописи

  
Арчаков Беслан Магомет-Баширович

**Влияние угла заточки и чистоты поверхности  
вольфрамового электрода на характеристики шва при  
автоматической аргонодуговой сварке**

Направление подготовки  
15.04.01 – «Машиностроение»

**АВТОРЕФЕРАТ  
МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ**

2024

Никитина  
Елена Николаевна

**Проверено**

03.07.2024 Зачтено Библиотека

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

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»

Рецензент:

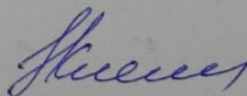
Жилин Сергей Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Лаборатории проблем создания и обработки материалов и изделий ИМиМ ДВО РАН, г. Комсомольск-на-Амуре

Защита состоится «14» июня 2024 г. в 15:00 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. Клешнина

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы:** Вольфрам и высокие температуры – понятия в современной технике неразделимые. Его главное свойство – чрезвычайно высокая тугоплавкость, что и определяет значение и место вольфрама в отраслях промышленности. Это значение трудно переоценить: появление вольфрама в качестве тугоплавкого компонента в самых разнообразных сплавах можно назвать настоящим промышленным переворотом. Вольфрамовый электрод с добавками или без них является лучшим помощником для варки самых проблемных или капризных металлов и сплавов.

Заточка вольфрамового электрода может осуществляться самыми разнообразными способами. Это может быть абразивный круг, химическая заточка, заточка с помощью специальной пасты или механическая заточка. Последнюю выполняют с помощью специальных приспособлений. Они могут быть как переносными, так и стационарными.

К переносным относится ручная машинка для заточки вольфрамовых электродов, а к стационарным – станок для заточки вольфрамовых электродов.

Форма заточки может быть сферической или конической. Сферическая форма больше подходит для сварки постоянным током, а коническая – для сварки переменным током.

От формы наконечника зависит правильное распределение энергии в направлении свариваемых деталей и величина давления дуги, что, в свою очередь, определит форму шва. Поэтому к заточке нужно подходить серьёзно и со знанием дела. Заточку можно проводить на электрическом наждаке вручную, но лучших результатов добиваются при использовании специальных устройств.

**Цель работы:** выявление влияния угла заточки вольфрамового электрода, как технологического параметра процедуры сварки, на характеристики (ширина шва, высота усиления с лицевой и обратной стороны) сварного шва тонкостенных труб из нержавеющей стали.

**Решение задачи:** использование в исследовании машинки для заточки вольфрамовых электродов, позволяющая добиваться точности угла заточки. Применение роботизированного комплекса, разработанного на кафедре ТСМП им. В.И. Муравьева позволяет выдерживать равномерные параметры режима сварки и дуговой зазор (длину дуги).

**Личный вклад автора.** Соискатель активно участвовал в постановке и проведении экспериментов: проводил микроструктурные исследования, механические испытания, обработку и анализ полученных результатов исследования, принимал активное участие в подготовке и написании научных публикаций.

**Публикации.** Основное содержание диссертационной работы отражено в 1 публикации в издании, входящем в список ВАК, и 2 публикациях в сборниках РИНЦ.

**Объем и структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных выводов, списка литературы. Диссертация содержит 63 страниц, 20 рисунков, 2 таблиц; список литературы, состоящий из 36 наименований. Во введении обоснована актуальность темы исследования, объект и предмет, сформулированы цели и задачи работы, используемые методы исследования, показана научная новизна.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована описано влияние использования вольфрамовых электродов при автоматической аргонодуговой сварке на современное машиностроение. Обоснована цель работы и задачи.

**В первой главе** представлен литературный обзор по теме диссертации. В этой главе изложено назначение и преимущества использования вольфрамовых электродов, область применения.

В этой главе описан принцип заточки вольфрамового электрода. Для заточки использовалась машинка для заточки вольфрамовых электродов КЕДР TIG-40. Эта машина является совершенным устройством, позволяющим сварщику легко и быстро заточить вольфрамовый электрод точно под требуемым углом. Регулируемая длина вылета затачиваемого электрода позволяет сократить расход вольфрама при заточке, 3 плоскости шлифования увеличивают ресурс работы шлифовальной шайбы. Заточка происходит в закрытой камере, исключая разлет вольфрамовой пыли. Надежный держатель электрода с цанговым зажимом исключают травмирование сварщика в процессе заточки электродов. На рисунке 1 показана машинка для заточки вольфрамовых электродов КЕДР TIG-40.



Рисунок 1 – Машинка для заточки вольфрамовых электродов КЕДР TIG-40

Так же в этой главе были представлены рекомендации по заточке электродов (рисунок 2).



### Рекомендации по заточке электродов



Рисунок 2 – Рекомендации по заточке электрода

**Во второй главе** описано влияние угла заточки W-электрода на стабильность глубины проплавления сварного шва.

В ходе исследований использовались электроды, изготовленные из вольфрамовых прутков марки ВЛ-10 диаметром 3,0 мм, рабочий участок выполняли в форме конуса с углами заточки 17, 22, 25, 30, 35, 45 и 60, с точностью  $\pm 1^\circ$ . Электроды устанавливались в горелку с вылетом из цанги, равном 25 мм.

В качестве анода использовали пластины из коррозионностойкой стали 12Х18Н10Т толщиной 4 мм. Режим сварки: сварочный ток – 120 А, скорость сварки – 10 м/час, был подобран таким образом, чтобы не достигать полного проплавления пластины – анода. Межелектродный промежуток выставлялся по шаблону и был равным 3 мм. Сварка проводилась в нижнем положении, при расходе аргона 6 л/мин.

Результаты статистической обработки данных показали, что глубина проплавления существенно зависит от угла заточки электрода, причем наблюдается выраженный максимум этого показателя при угле заточки 30 градусов (рисунок 4.1). Точками показаны значения медиан глубины проплавления для каждого угла заточки. Прямоугольники показывают значения выборки входящих в диапазон между квантилем 25% (Q25) и 75% (Q75), а горизонтальными засечками показан размах глубины проплавления. Угол заточки 30 градусов характеризуется и минимальным размахом глубины проплавления и, что наиболее интересно, наибольшей компактностью расположения основной части наблюдений около среднего значения.

В этой главе представлены результаты статистической обработки данных, которые показали, что глубина проплавления существенно зависит от угла заточки электрода, причем наблюдается выраженный максимум этого показателя при угле заточки 30 градусов (рисунок 3).

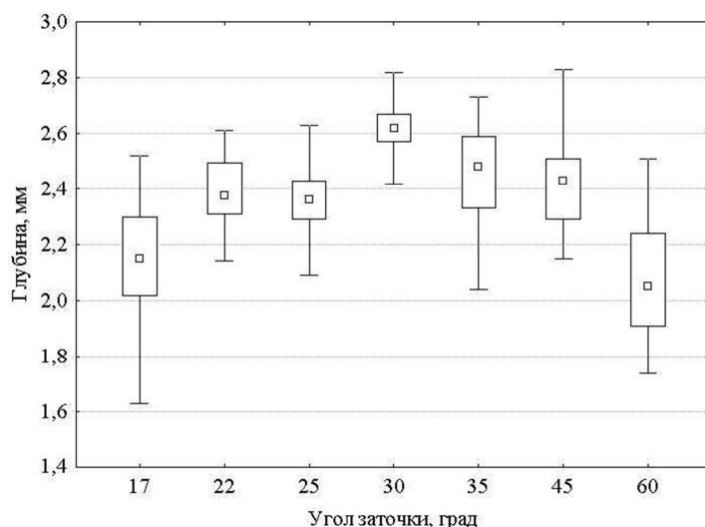


Рисунок 3— Диаграмма размаха глубины проплавления при различных углах заточки электрода диаметром 3 мм на токе 120 А

В качестве критерия стабильности использовали дисперсию глубины проплавления. Она характеризует степень компактности расположения «облака наблюдений» около своего центра тяжести (среднего значения).

Так же представлен рафик зависимости дисперсии глубины проплавления от угла заточки электрода, который показан на рисунке 4.

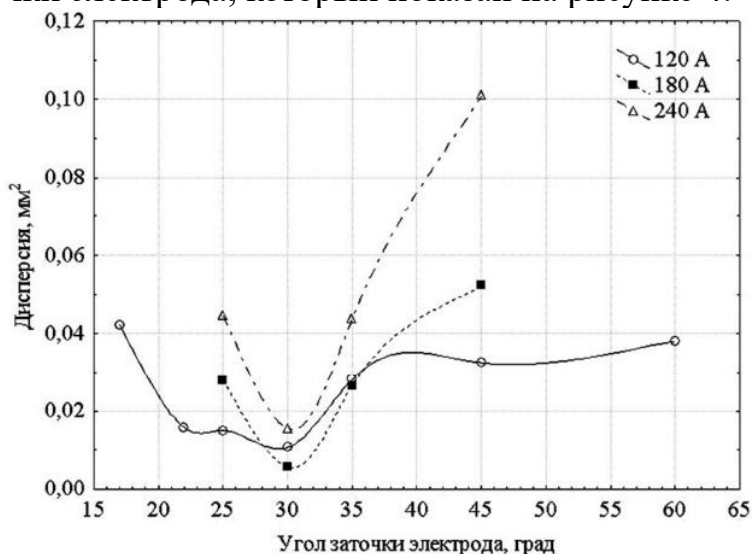


Рисунок 4 – График зависимости дисперсии глубины проплавления от угла заточки электрода

После обработки экспериментальных данных была построена поверхность, описывающая полученные взаимосвязи (рисунок 5).

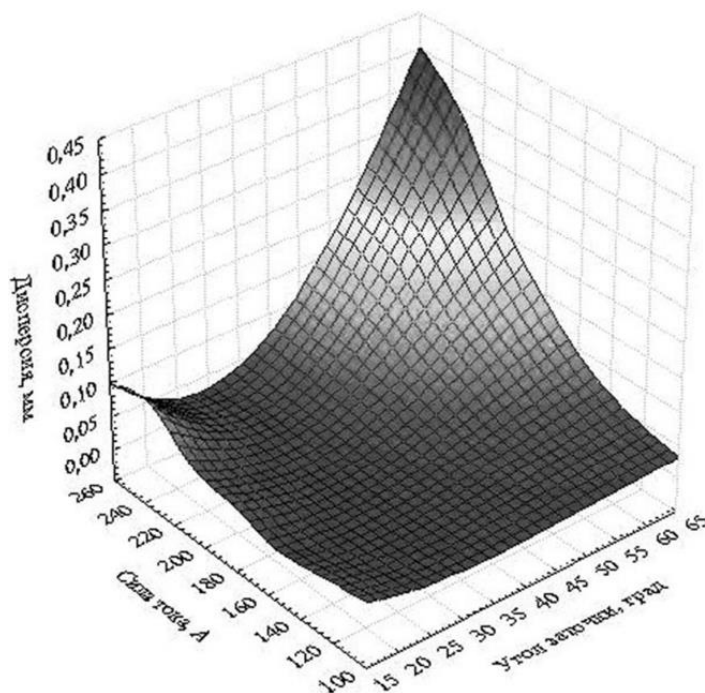


Рисунок 5 – Взаимосвязь дисперсии глубины проплавления, угла заточки и силы сварочного тока

**В третьей главе** детально описано оборудование для сварки и заточки электрода. Была представлена существующая маркировка вольфрамовых электродов по цвету и их цифробуквенное выражение.

Существующие аустенитные высоколегированные стали и сплавы различают по содержанию основных легирующих элементов - хрома и никеля и по составу основы сплава. Высоколегированными аустенитными сталями считают сплавы на основе железа, легированные различными элементами в количестве до 55%, в которых содержание основных легирующих элементов - хрома и никеля обычно не выше 15 и 7% соответственно. К аустенитным сплавам относят железоникелевые сплавы с содержанием железа и никеля более 65% при отношении никеля к железу 1:1,5 и никелевые сплавы с содержанием никеля не менее 55%. Аустенитные стали и сплавы классифицируют по системе легирования, структурному классу, свойствам и служебному назначению. Высоколегированные стали и сплавы являются важнейшими материалами, широко применяемыми в химическом, нефтяном, энергетическом машиностроении и других отраслях промышленности для изготовления конструкций, работающих в широком диапазоне температур. Благодаря высоким механическим свойствам при отрицательных температурах высоколегированные стали и сплавы применяют в ряде случаев и как хладостойкие. Соответствующий подбор легирующих элементов определяет свойства и основное служебное назначение этих сталей и сплавов. Характерным отличием коррозионностойких сталей является пониженное содержание углерода (не более 0,12%). При соответствующем легировании и термической обработке стали обладают высокой коррозионной стойкостью при 20° С и повышенной тем-

пературе как в газовой среде, так и в водных растворах кислот, щелочей и в жидкометаллических средах.

Для работы использовалась сварочная установка, показанная на рисунке 6. Установка сочетает в себе сварочный источник питания и различные элементы для подвода тока, защитного газа, флюса и присадочного материала в зону дуги и перемещения сварочной ванны по линии стыка.

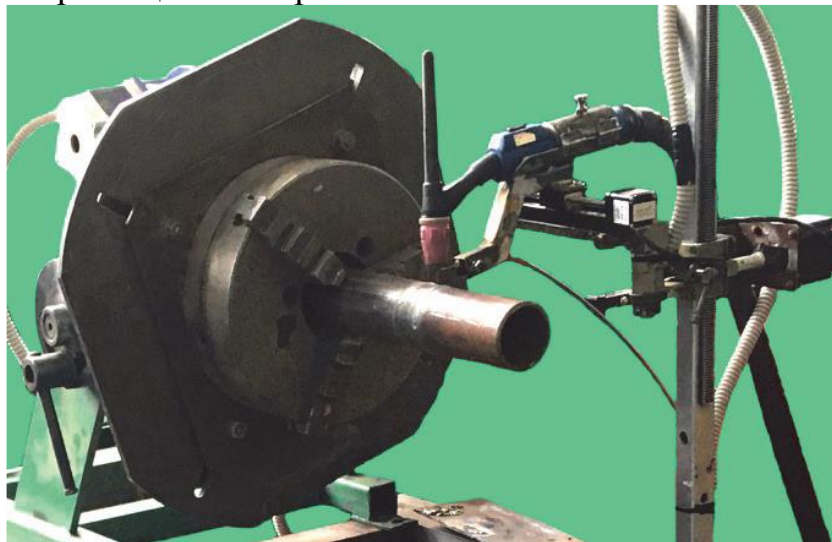


Рисунок 6 – Сварочный вращатель с механизмом перемещения сварочной горелки

Сварочный вращатель обеспечивает дискретное перемещение трубной заготовки в любом направлении с шагом  $0,00025^\circ$  ( $1''$ ) со скоростью до 1,8 об/мин.

Механизм поперечного перемещения сварочной горелки обеспечивает дискретное перемещение сварочной горелки с шагом 3 мкм и скоростью до 3000 мм/мин.

Механизм вертикального перемещения сварочной горелки обеспечивает дискретное перемещение сварочной горелки с шагом 0,05 мм и скоростью до 3000 мм/мин.

Система управления сварочным полуавтоматом позволяет включать и отключать полуавтомат, регулировать сварочный ток в диапазоне (30...200) А с шагом 1 А. Система управления позволяет работать в режиме «Minilog» – режиме переключения между двумя значениями сварочного тока.

Система подачи присадочной проволоки позволяет автономно регулировать скорость и направление вращения электродвигателя системы подачи проволоки, а также изменять алгоритм его работы по программе. Система позволяет подавать сварочную проволоку как в непрерывном режиме, так и в импульсном, как в одном направлении, так и с реверсом. Запуск работы системы синхронизируется с работой сварочного вращателя.

Портативный инструмент WEG выполняет воспроизводимую качественную заточку вольфрамовых электродов для дуговой сварки неплавящимся электродом в среде инертного газа TIG/WIG, для сварки плазменной дугой, а так же незаменим для головок орбитальной сварки.



**В четвертой главе** представлены результаты проведенного испытания.

В этой главе представлено изменение напряжения на дуге фиксировали мультиметром МУ-64 как разницу потенциалов между токоподводом горелки и деталью представлена в таблице 1.

При сварке TIG защитный газ применяется для предохранения расплавленной сварочной ванны от атмосферного загрязнения. Как правило, в качестве защитного газа используется аргон (Ar) с расходом примерно 8–15 л/мин, но расход может варьироваться в зависимости от силы сварочного тока и размера газового сопла.

На глубину шва и его ширину окажет влияние длина, на которую осуществляется заточка вольфрамового стержня. Она находится в зависимости от диаметра используемого электрода.

С увеличением длины заточки будет уменьшаться ширина шва, а при недостаточном значении длины заточки уменьшится глубина проплавления. На стабильность горения дуги окажет положительное влияние притупленная форма заточки.

В работе применялись постоянные и переменные данные. Постоянными данными являются;

- дуговой зазор между электродом и деталью 2 мм;
- угол установки 90°;
- диаметр электрода 2,4 мм
- марка электрода WP (ЭВЧ);
- вылет электрода 10 мм;
- защитный газ Аргон (Ar), расход газа 10л/мин.;
- сварочный ток 30А;
- газ поддува Азот (N), поддув 7 л/мин.;
- скорость сварки 150 мм/мин.;
- материал 12Х18Н10Т;
- диаметр трубы 50 мм, толщина 1 мм.

Переменными данными являлись;

- угол заточки электрода;
- напряжение.

Таблица 1 – План эксперимента и результаты измерения напряжения на дуге

№ валика	Угол заточки электрода, град.	Примечание	Напряжение, В
3	15	Стабильный поджиг	7,3
1	30	Стабильный поджиг	7,9
2	45	Стабильный поджиг. Начало шва и половина периметра без поддува (наличие окисления с обратной стороны валика)	8,4
4	60	Стабильный поджиг	8,7
5	75	Тяжёлый поджиг	8,6
6	90	Тяжёлый поджиг	8,2
7	105	Тяжёлый поджиг	8,05

После проведения опытов получено 8 валиков (рисунок 7). Для проведения замеров ширины шва внутри трубы (корневая часть валика) труба распилена на четыре сегмента в продольном направлении перпендикулярно валикам. При этом в секторе 1 (рисунок 7б) наблюдаются точки начала шва. При определении ширины шва каждого валика они являлись начальной и конечной точкой измерения. Измерения ширины шва производились в направлении сварки с шагом 15 мм.

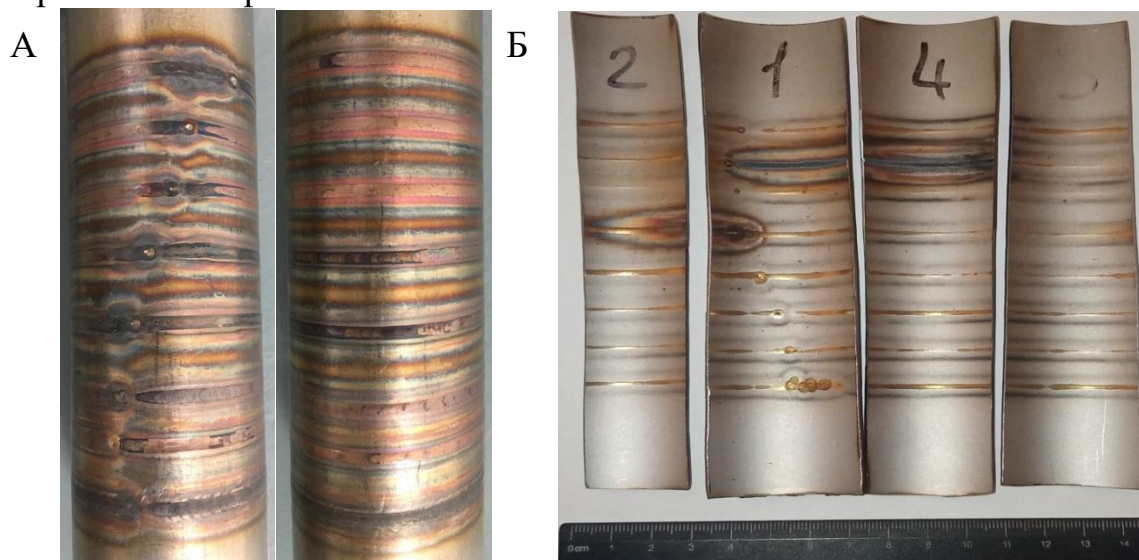


Рисунок 7 – Вид полученных валиков с лицевой (А) и обратной стороны (Б)

На рисунке 7.2 показано изменение ширины шва по всей длине окружности с лицевой и обратной стороны валиков.

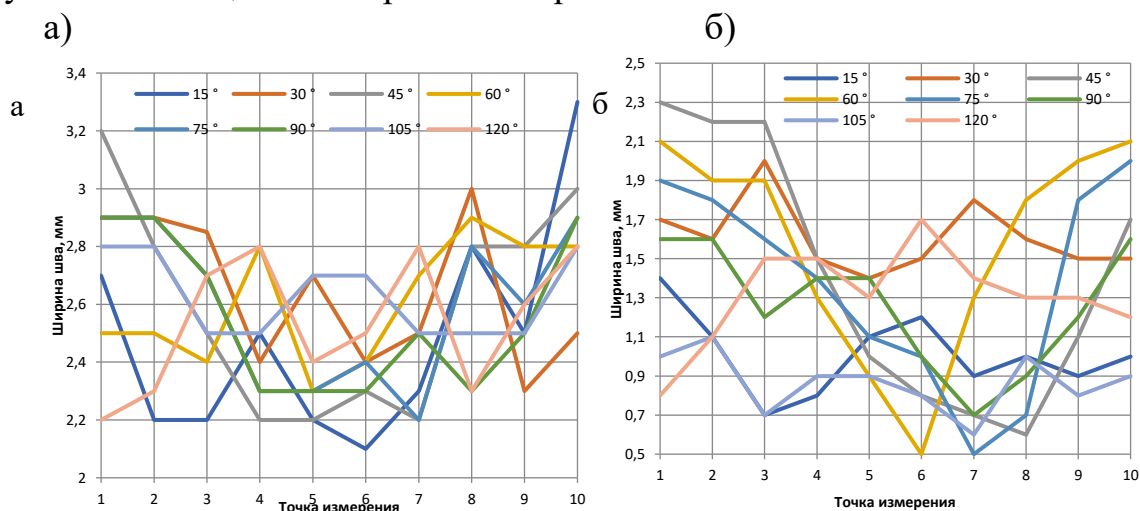


Рисунок 7.2 – Изменение ширины шва с лицевой (а) и обратной (б) стороны валика

**В заключении** сформулированы основные выводы проведенных исследований.

В результате испытаний выяснили, что при измерении ширины шва выявлено, что значения по всей длине неравномерные: как с лицевой, так и с обратной стороны валика наблюдается первоначальное и конечное возрастание ширины, в центре длины снижение. Такой эффект можно объяснить первоначальной задержкой робота на движение при дуговом воздействии источника для создания нужного размера сварочной ванны.

С увеличением длины угла заточки будет уменьшаться ширина шва, а при недостаточном значении длины заточки уменьшится глубина проплавления. На стабильность горения дуги окажет положительное влияние притупленная форма заточки.

## **ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ**

Угол заточки вольфрамового электрода является одним из основных параметров режима аргонодуговой сварки, влияющий на геометрические параметры сварного шва (ширину шва, глубину проплавления).

Кроме обеспечения точности образуемого заточкой угла необходимо обеспечить и определенную структуру (величину шероховатости и направленность рисок) обработанной поверхности. Наличие отклонения заточенного торца электрода от оси шва влияет на смещение дуги на одну из кромок и больший ее прогрев, что может служить причиной несплавления металла шва с соседней кромкой. Наличие грубой шероховатости поверхности также искажает действие дуги, а направление рисок заточек (продольные или концентрические) вызывают отклонение дуги от оси электрода, ее блуждание по прогреваемым кромкам и общую нестабильность ее горения.

В работе показано, что независимо от угла заточки среднее значение ширины лицевой части шва составило 2,6 мм, а для обратной части валика минимальное значение  $15^\circ$  и  $105^\circ$  (0,9...1,0 мм), среднее  $45^\circ$ ,  $75^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $120^\circ$  (1,3...1,4 мм), максимальное  $30^\circ$  и  $60^\circ$  (1,6 мм). Наиболее стабильные параметры ширины шва с обеих сторон, дает применение угла заточки рабочего торца электрода  $30^\circ$ .

Для лицевой стороны валика установлена независимость ширина шва от угла заточки электрода и для диаметра 2,4 мм она составляет 2,6 мм. Наибольшее влияние угол заточки оказывает на ширину корневой части валика, а, следовательно, на форму сварочной ванны (острая, округлая, бочкообразная) и на процессы кристаллизации с взаимным расположением кристаллитов относительно линий сплавления и величину остаточных напряжений связанных с этим явлением.

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

**Статьи и материалы конференций по материалам диссертационной работы:**

1. Арчаков Б.М.-Б., Бахматов П.В., Григорьев В.В. Влияние угла заточки вольфрамового электрода на характеристики шва// Молодежь и наука: акту-

альные проблемы фундаментальных и прикладных исследований. Материалы V Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. 2022. 3 с.

2. Бахматов П.В., Григорьев В.В., Арчаков Б.М-Б. Влияние угла заточки вольфрамовых электродов на геометрические параметры шва и свойства сварных соединений, выполненных аргонодуговой сваркой// Сборник докладов 6-й Дальневосточной конференции с международным участием «Фундаментальные и прикладные задачи механики деформируемого твердого тела и прогрессивные технологии в металлургии и машиностроении». 2023. 8 с.